

НАУКОВІ ОСНОВИ СКЛАДАННЯ МАШИН

Навчальний посібник





Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

НАУКОВІ ОСНОВИ СКЛАДАННЯ МАШИН

Навчальний посібник

За загальною редакцією А. В. Євтухова

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми
Сумський державний університет
2023

УДК 621.717(075.8)

Н 34

Рецензенти:

В. Б. Тарельник – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету;

В. О. Іванов – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету

*Рекомендовано до видання
вченою радою Сумського державного університету
як навчальний посібник
(протокол № 2 від 8 вересня 2022 року)*

Савчук В. І.

Наукові основи складання машин : навчальний посібник /
Н 34 В. І. Савчук, О. В. Івченко, А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов ;
за загальною редакцією А. В. Євтухова. – Суми : Сумський
державний університет, 2023. – 277 с.
ISBN 978-966-657-951-8

Навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування». Він також буде корисним студентам інших освітніх програм спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 133 «Галузеве машинобудування», аспірантам та інженерам, дослідження й робота яких пов'язані з розробленням, удосконаленням та реалізацією технологічних процесів складання виробів в умовах різних типів виробництва.

Видання складається з п'яти теоретичних розділів і практичної частини, що містить приклади з розроблення окремих етапів проектування технологічних процесів складання виробів. Зокрема, наведено велику кількість прикладів щодо аналізування складальних розмірних ланцюгів із застосуванням різних методів досягнення точності замикальної ланки.

УДК 621.717(075.8)

© Сумський державний університет, 2023

© Савчук В. І., Івченко О. В., Євтухов А. В.,
Дегтярьов І. М., 2023

ISBN 978-966-657-951-8

ЗМІСТ

	С.
Вступ	6
1 Проектування технологічних процесів складання виробів.....	8
1.1 Службове призначення виробу та опис його роботи.....	8
1.2 Аналіз або укладання технічних вимог і норм точності на виріб.....	19
1.3 Вибір та обґрунтування методу досягнення потрібної норми точності виробу.....	41
1.4 Тип виробництва й організаційні форми виробничого процесу складання виробів.....	59
1.5 Розроблення послідовності складання, технологічних схем складання виробу	69
1.6 Вибір засобів покращання праці та збільшення її продуктивності	80
1.7 Нормування, визначення трудомісткості складання	82
1.8 Критерії оцінювання техніко-економічної ефективності різних варіантів складання	93
Питання для самоперевірки до розділу 1	100
2 Методи й засоби контролю якості виробів.....	102
2.1 Похибки технологічних процесів складання.....	102
2.2 Види контролю	110
2.3 Методи контролю точності виробів та їх вузлів	117
2.4 Випробування складених виробів.....	120
2.5 Фарбування виробів	123
2.6 Сушіння лакофарбових поверхонь виробів	125
Питання для самоперевірки до розділу 2.....	127
3 Особливості досягнення потрібної точності типових вузлів машин	128
3.1 Монтаж валів	128
3.2 Монтаж зубчастих передач	145
Питання для самоперевірки до розділу 3.....	157

4	Технологія балансування	158
4.1	Одиниці вимірювання дисбалансів та основні поняття технології балансування (ДСТУ ISO 19499:2017)	158
4.2	Структура технологічного процесу балансування.....	159
4.3	Пристрої та верстати для балансування.....	161
4.4	Способи усунення дисбалансів ротора	167
4.5	Точність балансування.....	168
	Питання для самоперевірки до розділу 4.....	170
5	Автоматичне складання виробів.....	172
5.1	Теоретичні положення автоматичного складання	172
5.2	Автоматичне складання з використанням складальних машин.....	177
5.3	Автоматичне складання з використанням промислових роботів.....	181
	Питання для самоперевірки до розділу 5.....	183
6	Приклади розроблення окремих етапів технологічного процесу складання виробів	184
6.1	Розроблення технологічного процесу складання ротора	184
6.2	Аналіз складального розмірного ланцюга двоходового крана	208
6.3	Розроблення технологічного процесу складання механізму перемикання швидкості.....	227
6.4	Аналіз складального розмірного ланцюга шестеренного насоса	248
6.5	Аналіз складального розмірного ланцюга розсувної призми	256
	Список літератури.....	266
	Додаток А (обов'язковий) Насос шестеренний 39.000 СК (складальне креслення).....	269
	Додаток Б (обов'язковий) Насос шестеренний 39.000 СК (специфікація)	271

Додаток В (обов'язковий) Призма розсувна МЧ00.07.00.00 СК (складальне креслення)	273
Додаток Г (обов'язковий) Призма розсувна МЧ00.07.00.00 СК (специфікація)	275

ВСТУП

Складання є кінцевим і найбільш відповідальним етапом виробництва, під час якого інтегруються результати всіх попередніх його етапів і формуються основні показники виробів. За результатами аналізу вивчення технологічних процесів у різних видах виробництв, процеси складання становлять до 80 % від усього обсягу виробництва. Часто складальні роботи виконують вручну, вони є мало механізованими й автоматизованими і займають значний відсоток у загальній структурі трудомісткості виробництва машин (25–40 %) та приладів (40–70 %). Трудомісткість складальних робіт на виробництвах машино- й приладобудування здебільшого значно вища, ніж трудомісткість механічного оброблення різанням або методів виготовлення заготовок.

Удосконалення процесів складання є найбільш перспективним напрямком розвитку машино- та приладобудування. Його здійснюють за допомогою підвищення технологічності конструкцій виробів, рівня автоматизації, застосування нових методів і засобів складання тощо.

Виконувати ці завдання повністю покликана дисципліна «Наукові основи складання машин», що є основою підготовки фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Технології машинобудування». Мета її викладання полягає в здобутті теоретичних знань та набутті практичних навичок із проектування передової технології складання виробів, вивчення сучасних методик і розрахунків, пов'язаних із вимогами до їх точності та обсягів випуску. Дисципліна забезпечує підготовку кваліфікованих спеціалістів і є основним курсом, знання якого дає змогу вирішувати питання, пов'язані із собівартістю виготовлення машин та витратами праці.

У результаті вивчення дисципліни «Наукові основи складання машин» студенти повинні вміти визначати службове

призначення машини; розуміти зв'язки, за якими машина повинна виконувати заданий процес; виявляти механізм дії зв'язків машини й уміти проєктувати оптимальний технологічний процес складання.

Перелік питань, викладений в робочій програмі дисципліни, варто розглядати за наявності навчальної, наукової та методичної літератури. Аналіз літератури визначив неузгодженість або відсутність матеріалу згідно зі змістом робочої програми. Зокрема немає літератури, у якій подано методика виявлення й аналізу технічних вимог і 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 посібник повинен виконати поставлені завдання, об'єднати комплекс навчальних матеріалів, потрібних для технологічної підготовки студентів машинобудівних спеціальностей у сфері складання машин та механізмів.

Отже, метою запропонованого посібника є формування в студентів-технологів знань і вмінь, необхідних для розроблення сучасних технологічних процесів складання машин та виробів.

Посібник буде корисним під час розроблення й проєктування курсових і кваліфікаційних робіт за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування».

1 ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

1.1 Службове призначення виробу та опис його роботи

Складання є одним із завершальних етапів виготовлення виробу (машини), у якому виявляються результати виконаної роботи конструкторами й технологами. Якість виробу та 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) та як ці засоби реалізуються в технологіях виготовлення машини [1–5].

У технологічному процесі (ТП) виготовлення машини складанню відводять основну роль. Технологічні процеси виготовлення деталей часто виявляються підпорядкованими технології складання машини. Тому спочатку розробляють технологію складання. Цьому повинні передувати вивчення службового призначення машини (виробу) та аналіз її (його) відповідності технічним вимогам (ТВ) і нормам точності.

Кожна машина призначена для задоволення вимог людини. Ця вимога відображається в її службовому призначенні. Службове призначення машини повинно містити вичерпні дані про продукцію, що вона виробляє: вид, кількість, якість. Тому, перш ніж почати створення машини, необхідно виявити й чітко сформулювати її службове призначення.

Під службовим призначенням машини розуміють максимально уточнене та чітко сформульоване завдання, для виконання якого вона призначена [2].

Службове призначення машини повинно містити перелік умов, за яких вона функціонуватиме, виготовляючи продукцію потрібної якості в необхідній кількості. Перелік умов беруть з опису ТП виготовлення продукції. До цього переліку належать:

- *комплекс показників якості продукції з допустимими відхиленнями;*
- *споживана енергія;*
- *режим роботи машини (виробу);*
- *стан довкілля.*

До службового призначення машини (виробу) як складова частина можуть входити:

- *показники економічної ефективності;*
- *показники надійності;*
- *показники продуктивності;*
- *додаткові вимоги під час проєктування виробу (вигляд зовні, безпека праці, зручність і простота обслуговування, керування, рівень ККД та ін.).*

Аналіз ТП дає змогу виявити основні закономірності його проходження, межі зміни чинників, що впливають на його стан. У цьому полягає складність аналізу, адже ТП виготовлення виробу не може бути спроектований ідеально. Його проєктують для визначених умов з урахуванням меж зміни якості вихідного продукту, виду й меж зміни кількості споживаної енергії, змін зовнішніх умов (температури, вологості, запилення повітря та ін.). Отже, щоб машина (виріб) змогла нормально виконати свої функції, реалізувати службове призначення, потрібно встановити граничні межі чинників, що впливають на стан процесу.

Щоб краще усвідомити конкретні кроки встановлення потрібних чинників службового призначення, наведемо приклад. Припустимо, необхідно сформулювати службове призначення верстата для оброблення окремої поверхні в партії деталей із заданими показниками. Форма поверхні повинна мати відхилення від площинності, не більше ніж 0,03 мм, розмір, що з'єднує оброблювальну й вимірювальну поверхні, А (0; -0,12) мм, кількість виготовлених деталей за рік – 25 000 штук, матеріал заготовки – чавун марки СЧ 15, шорсткість поверхні за критерієм $R_a - 2,5$ мкм, твердість верхнього шару поверхні НВ 185–210.

Згідно з результатами аналізу вихідних показників деталі для виконання завдання потрібно додати ще низку показників:

1) методи оброблення поверхонь (оброблення тиском, різанням, термічне оброблення, методи нанесення матеріалів на деталь фізико-хімічними методами, методи зміцнення тощо);

2) ступінь автоматизації, продуктивність і режими оброблення верстата, схеми базування для оброблення з мінімальною похибкою, граничні відхилення припуску, температурний режим, жорсткість технологічної системи (верстат–пристрій–інструмент–заготовка);

3) різальний інструмент (матеріал, тип інструмента, температурний режим його роботи, період стійкості тощо), щоб забезпечити потрібні вимоги креслення деталі.

4) перелік інструкцій з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях для визначеного типу верстата;

Наведену кількість показників можна, а за певних умов потрібно, збільшувати, уточнювати, розширювати межу дії чинників. Чим більше їх запропоновано, тим якісніше буде відповідати службове призначення верстата необхідним показникам деталі. У прикладі за допомогою літературних джерел службове призначення було уточнене, що дало результати, наведені в таблиці 1.1.

На підставі даних таблиці 1.1 можна сформулювати службове призначення верстата в першому наближенні.

Горизонтально-фрезерний півавтомат призначений для фрезерування поверхні в партії деталей. Матеріал деталі – чавун СЧ 15 ДСТУ 8833:2019. Заготовка – виливок, одержуваний литтям у кокіль.

Верстат забезпечує точність розміру номіналом А з полем допуску 0,12 мм; перпендикулярність поверхні щодо іншої – у межах 0,05/300 мм; площинність поверхні – не більше ніж 0,03 мм; шорсткість поверхні за критерієм R_a – 2,5 мкм.

Таблиця 1.1 – Результати уточнення службового призначення верстата

Джерело інформації	Показник, що уточнює службове призначення	Уточнення службового призначення конструкції верстата
1	2	3
Креслення деталі	Розміри деталі та оброблюваної поверхні, точність розмірів оброблення. Відхилення від перпендикулярності поверхні 0,05/300 мм, площинності – 0,03 мм, матеріал деталі – СЧ 15 ДСТУ 8833:2019	Розміри та геометрична точність верстата, пристрою, інструмента (фрези)
Технологічний процес виготовлення	Тип верстата – горизонтально-фрезерний півавтомат. Режими оброблення поверхні: швидкість 50 м/хв; подача 0,015 мм/зуб. Такт випуску деталей за двозмінної роботи верстата – 58 с/деталь	Кінематика й конструкція верстата для фрезерування
	Заготовка – вилівок, одержуваний литтям у кокіль. Коливання припуску в партії заготовок – 0,5–1,2 мм, коливання твердості НВ 180–220	Жорсткість Т-системи, потужність двигуна
	Температура заготовки (20 ± 10) °С	Система для стабілізації температури під час оброблення
	Схема базування й точність базових поверхонь	Конструкція пристрою для встановлення заготовки
	Допустима похибка верстата (його окремих вузлів)	Точність пристрою

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Технологічний процес виготовлення	Допустиме розмірне спрацювання фрези – 0,1 мм за 10 робочих змін	Матеріал і конструкція фрези
	Допустимі температурні деформації технологічної системи – 0,03 мм	Пристрій для компенсації температурних деформацій
Обсяг випуску деталей	Довговічність верстата – 8 років	Матеріал та точність деталей, що зношуються за час роботи верстата
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Рівень шуму не перевищує 40 дБ. Частина верстата, що рухаються під час його роботи	Точність деталей (складальних одиниць) верстата

Діапазон швидкості й подач верстата дає змогу реалізувати потрібний режим різання (швидкість – 50 м/хв; подача – 0,015 мм/зуб) та випуск деталей (17 деталей за годину).

Точність розмірів деталі й продуктивність верстата забезпечуються в разі коливання припуску на оброблення 0,5–1,2 мм, коливання твердості заготовки НВ 180–220, за температури заготовки (20 ± 10) °С, температури повітря в цеху (20 ± 5) °С, наявності в повітрі цеху гранично допустимої концентрації небезпечних речовин 4 мг/м³, під напругою електричної мережі 350 (+50; –70) В.

Допустима похибка встановлення заготовки – 0,04 мм.

Допустиме зміщення середнього значення відстані А через температурні деформації технологічної системи – не більше ніж 0,03 мм; рівномірне спрацювання фрези – не більше ніж 0,1 мм упродовж 10 робочих змін.

Термін роботи верстата становить 8 років за умови ремонтних або регламентних робіт через кожних 10 000 годин його роботи.

Рівень шуму за номінальних режимів – не більше ніж 40 дБ; частини верстата, що рухаються під час його роботи, повинні закриватися захисними щитами; на підлозі під ногами верстатника повинна знаходитися дерев'яна решітка.

Наведені дані є вихідними для подальшої роботи конструкторів і технологів під час проектування верстатних пристрійів, різального інструменту, створення або вдосконалення окремих систем верстата для його експлуатації. Лише маючи ці дані, можна виконати поставлене завдання.

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 та стан машини.

Приклад. Поставлене завдання: виконати оброблення ступінчастих валиків середніх розмірів діаметром $d = 35\text{--}60$ мм, довжиною $L = 150\text{--}600$ мм із сталі 45 ДСТУ 7809:2015.

Для виконання цього завдання необхідно створити токарний верстат.

Поставлене завдання недостатньо уточнює й 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, немає програми випуску цих деталей.

По-третє, не наведений режим оброблення деталей, тип заготовок, умови, в яких буде функціонувати верстат (похибки

температури навколишнього середовища, вологість, запиленість повітря, рівень шуму тощо).

Можна запропонувати більш точне формулювання службового призначення верстата.

1. Верстат повинен забезпечувати оброблення ступінчастих валиків діаметром $d = 35\text{--}60$ мм, довжиною $L = 150\text{--}600$ мм із сталі 45 ДСТУ 7809:2015; твердість заготовки НВ 229–241.

2. Точність діаметральних розмірів – не нижче за сьомий квалітет точності; відхилення лінійних розмірів – не більше ніж 0,1 мм; похибки форми поверхонь валика – в межах 0,5 допуску на розмір, шорсткість поверхонь – $R_a = 6,3\text{--}3,2$ мкм.

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

4. Відхилення припуску заготовок – у межах 0,5–1,5 мм, матеріал різального інструменту – титановольфрамкові 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 й кобальту). Потрібно передбачити швидкісний діапазон роботи верстата, що внаслідок наростування, вібрації.

Проте і наведене формулювання є недостатньо розгорнутим, щоб створити та випустити верстат, що відповідає своєму службовому призначенню. Більш докладна методика складання службового призначення виробів наведена в методичних працях [2, 6].

Досвід машинобудування показує, що помилки, допущені під час виявлення й уточнення службового призначення машини (виробу), призводять до створення неякісної машини, додаткових витрат праці на виготовлення та експлуатацію, подовжують терміни її опанування.

Варто зазначити, службове призначення кожної машини (виробу) обумовлене низкою поверхонь або їх сполучень, що називають виконавчими поверхнями.

Виконавчі поверхні – це поверхні або їх сполучення, за допомогою яких деталі виконують своє службове призначення безпосередньо [4, 5].

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 й різцетримача, за допомогою яких верстат виконує своє службове призначення (див. рис. 1.4, 1.5, 1.6).

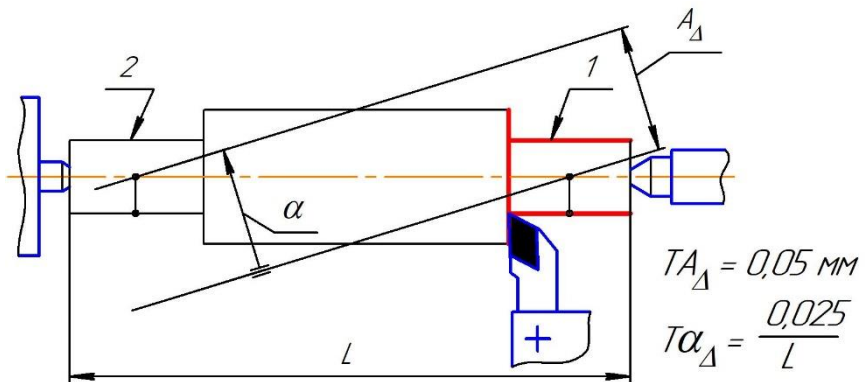


Рисунок 1.1 – Обробка вала в центрах:

A_{Δ} – відхилення від співвісності двох ступенів вала 1 і 2;
 α_{Δ} – відхилення від паралельності

Дійсно, на рисунку 1.4 кінчна поверхня ВП₁ шпинделя, отвір у пінолі задньої бабки ВП₂ і поверхні різцетримача ВП₃ визначають положення оброблюваного вала в центрах. Це є комплексом виконавчих поверхонь, що виконують технічні вимоги креслення (див. рис. 1.1).

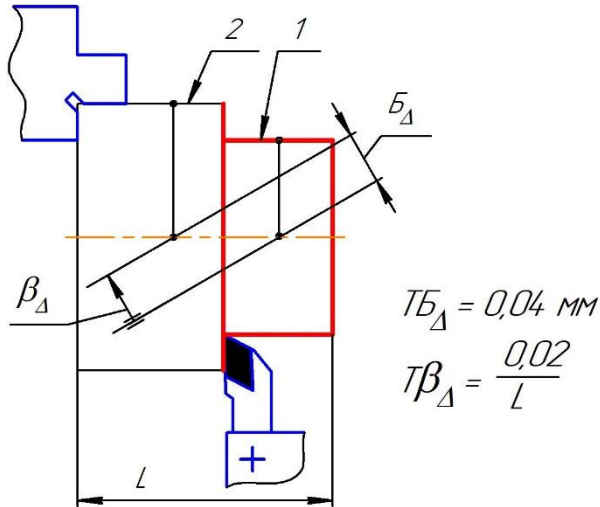


Рисунок 1.2 – Оброблення валика в патроні:
 TB_{Δ} – відхилення від співвісності двох ступенів вала;
 β_{Δ} – непаралельність (поворот) осі 1 ступеня валика
 щодо осі 2

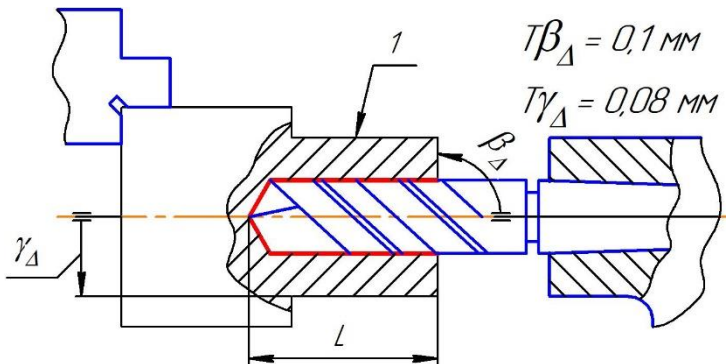


Рисунок 1.3 – Оброблення валика в патроні з використанням
 задньої бабки: β_{Δ} – відхилення від перпендикулярності осі
 отвору щодо торця валика; γ_{Δ} – відхилення від співвісності осі
 отвору щодо поверхні 1

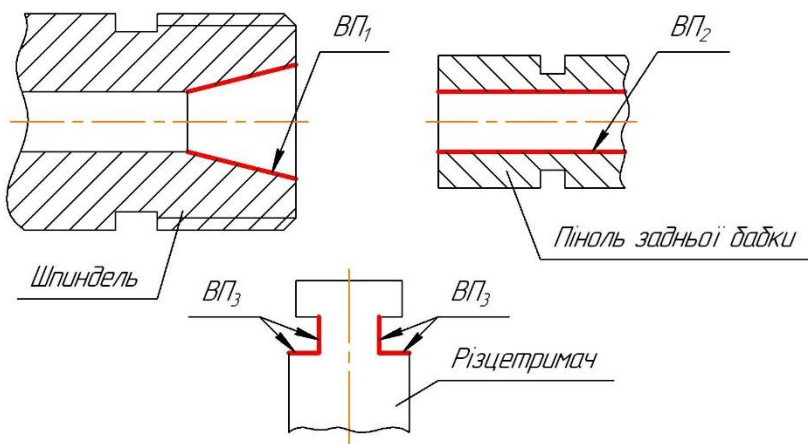


Рисунок 1.4 – Виконавчі поверхні під час оброблення вала в центрах

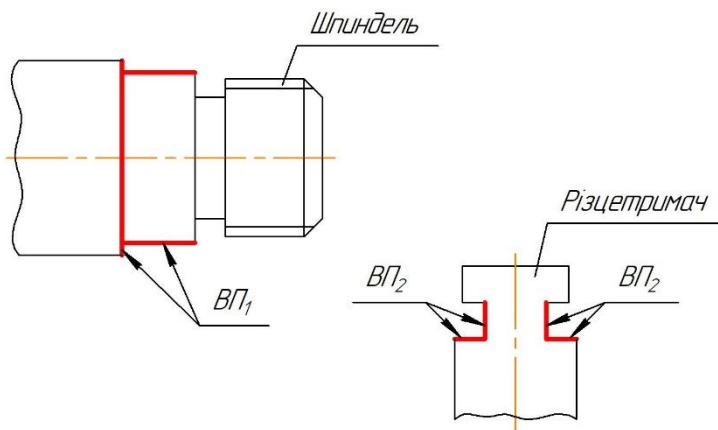


Рисунок 1.5 – Виконавчі поверхні під час оброблення валика в патроні

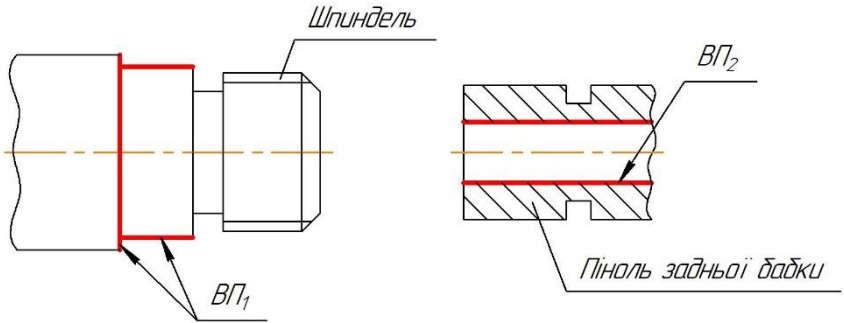


Рисунок 1.6 – Виконавчі поверхні під час оброблення валика в патроні з використанням задньої бабки

На фланець переднього кінця шпинделя (див. рис. 1.5) монтують повідковий патрон, через ВП₁ якого оброблюваний деталі передається обертальний рух. Поверхні ВП₂ різцетримача визначають положення різців щодо оброблюваної деталі й безпосередньо передають їм необхідний для обробки рух. Зазначені поверхні виконують технічні вимоги щодо відхилення від співвісності та непаралельності ступенів валика (див. рис. 1.2). Такий самий приклад наведений на рисунках 1.3 і 1.6, на яких зображено оброблення валика в патроні з використанням задньої бабки.

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

Виконавчі поверхні двигуна автомобіля, що розглядають як механізм для перетворення теплової енергії на механічну, є поверхні поршня й робочого циліндра.

Наведені приклади дають підставу вважати цей етап розроблення ТП складання виробу необхідним і відповідальним. Він дає змогу встановити, розробити та забезпечити необхідні зв'язки всіх складових компонентів під час виготовлення машини відповідно до її службового призначення.

Отже, технолог, який починає проектування технології виготовлення машини і є відповідальним за її здачу замовникові, повинен критично оцінити формулювання службового призначення машини. Помилки у визначенні її службового призначення (замислу) не піддаються виправленню й здебільшого призводять до неповноцінної або непридатної конструкції.

1.2 Аналіз або укладання технічних вимог і норм точності на виріб

Після чіткого формулювання службового призначення машини (виробу) з її якісних і кількісних показників складають (або уточнюють шляхом аналізу) технічні вимоги й 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 й навіть доповнювати відсутні технічні вимоги або переводити на мову цифр умови, задані в неявній формі.

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

- 1) теоретичні дослідження суті явищ, що забезпечують роботу 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 технолога, який виконує аналіз.

Вихідними даними для встановлення норм точності виробу є вимоги до якості продукції, її продуктивності, довговічності, яку повинна виготовляти машина. Для додержання цих вимог необхідно забезпечити точність форм, розмірів, відносного положення й напрямку руху виконавчих поверхонь машини (виробу), установити 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, завдяки яким машина повинна здійснювати ТП і виробляти продукцію;
- 3) перейти від номінальних значень і допусків параметрів продукції й процесу до параметрів зв'язків виконавчих поверхонь машини;
- 4) перетворити в номіналах і допусках параметри різних зв'язків ВП і встановити норми точності форми, розмірів, відносного положення та напрямку руху виконавчих поверхонь машини.

Від параметрів якості продукції й процесу до параметрів зв'язків ВП машини можна перейти або перетворити їх таким способом [2, 3].

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 узагальнено ця залежність може бути репрезентована 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 із якісної сторони. Якісне оцінювання дає змогу виявити причини виникнення відхилень роботи машини і їх структуру.

Розв'язанням вихідного рівняння є встановлення номінальних значень аргументів $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}$, що задовольняють номінальне значення функції « Y ». Величини $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}$ мають випадковий характер і повинні обмежуватися допусками відповідно до 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 (для нормального закону розсіювання $K_{x_i} = 1$);

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

Для визначення знаходження допусків T_{x_i} щодо номінальних значень аргументів потрібно встановити їх середні допустимі значення $\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}$ відповідно до середніх допустимих значень « \overline{Y} » функції, використовуючи формулу

$$\overline{Y} = f(\overline{x_1}, \overline{x_2}, \dots, \overline{x_n}). \quad (1.3)$$

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

$$E_{c x_i} = \overline{x_i} - x_i. \quad (1.4)$$

Отже, перехід від параметрів службового призначення машини до параметрів розмірних зв'язків її виконавчих поверхонь зводиться до встановлення номінальних значень x_i , а також значень T_{xi} , \bar{x}_i , базуючись відповідно на значеннях Y , T_y і \bar{Y} , що є умовами задачі.

У проєктних задачах за n невідомих аргументів є лише одне рівняння, що встановлює зв'язок відповідних величин. Тому підбір номінальних значень аргументів або їх допусків дає нескінченно велику кількість розв'язань. Наскільки вдале те чи інше розв'язання можна оцінити за результатом техніко-економічного розрахунку.

Складання суворих математичних залежностей здебільшого ускладнене. У такому разі розроблення норм точності базується на експерименті, досвіді й логіці.

Наведений підхід до розроблення норм точності й технічних вимог є загальним та однаково поширюється на зв'язки в машині, 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. Виконавчі поверхні агрегатного верстата – поверхні отворів у шпинделях, у які 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, базуючись на потрібній точності розмірів і положенні оброблюваних отворів.

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

Матеріал заготовки – сталь 12ХН3, НВ 163–197, маса – 19,5 кг. Температура заготовок 20 (+20; –10)°С, повітря в цеху (20 ± 4)°С. Продуктивність верстата – 150 деталей за годину. Довговічність верстата – 8 років. Заготовка – поковка, торці Б і С, Ø80 (+0,02; 0) попередньо оброблені, схема базування шестерні 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 й забезпечувати радіальне положення отворів із точністю 0,15 мм;

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

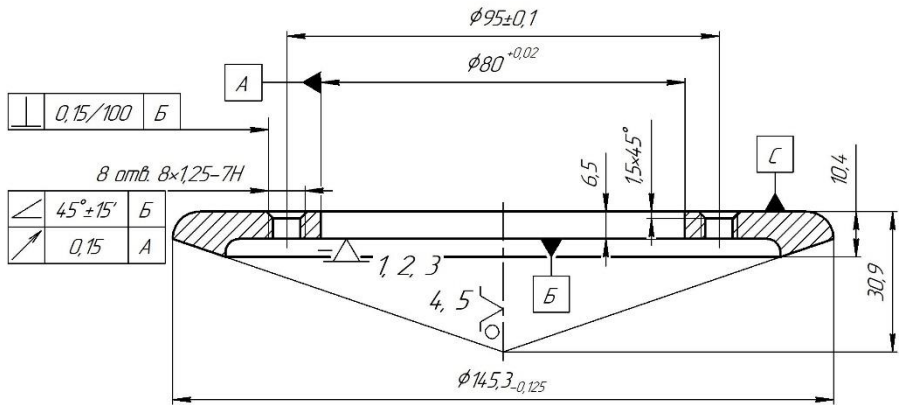


Рисунок 1.7 – Ескіз шестерні

Похибки ω будь-якого розміру, якого одержуються під час оброблення заготовки визначають за формулою

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

де ω_y – похибка установки заготовки;

ω_c – похибка статичного налагоджування технологічної системи;

ω_d – похибка динамічного налагоджування технологічної системи.

Потрібна умова додержання будь-якого розміру

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

де T – допуск додержуваного розміру;

T_y , T_c і T_d – відповідні допуски на кожну складову похибку оброблення (ω_y , ω_c , ω_d).

Виріб, який складають, – агрегатний верстат, і точність його вузлів досягають точністю статичного налагодження. Тому допуски на показники геометричної точності верстата варто встановлювати з огляду на допуск T_c .

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

По-друге, якщо $T_{отв} = T = 0,16$ 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, розбивання отвору істотне, то за приблизним розрахунком одержаним допуском $T_c = 0,08$ мм можна обмежити розбивання отвору свердлом.

Зважаючи на це,

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

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

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

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

$\Delta_{зн. св}$, $\Delta_{зн. вт}$ – зношення свердла та втулки відповідно.

Потрібна кресленням точність радіального (0,15 мм) і кутового ($\pm 15'$) знаходження кожного отвору забезпечується в процесі оброблення. Цю точність обчислюють після складання й розрахунку розмірних ланцюгів технологічної системи.

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

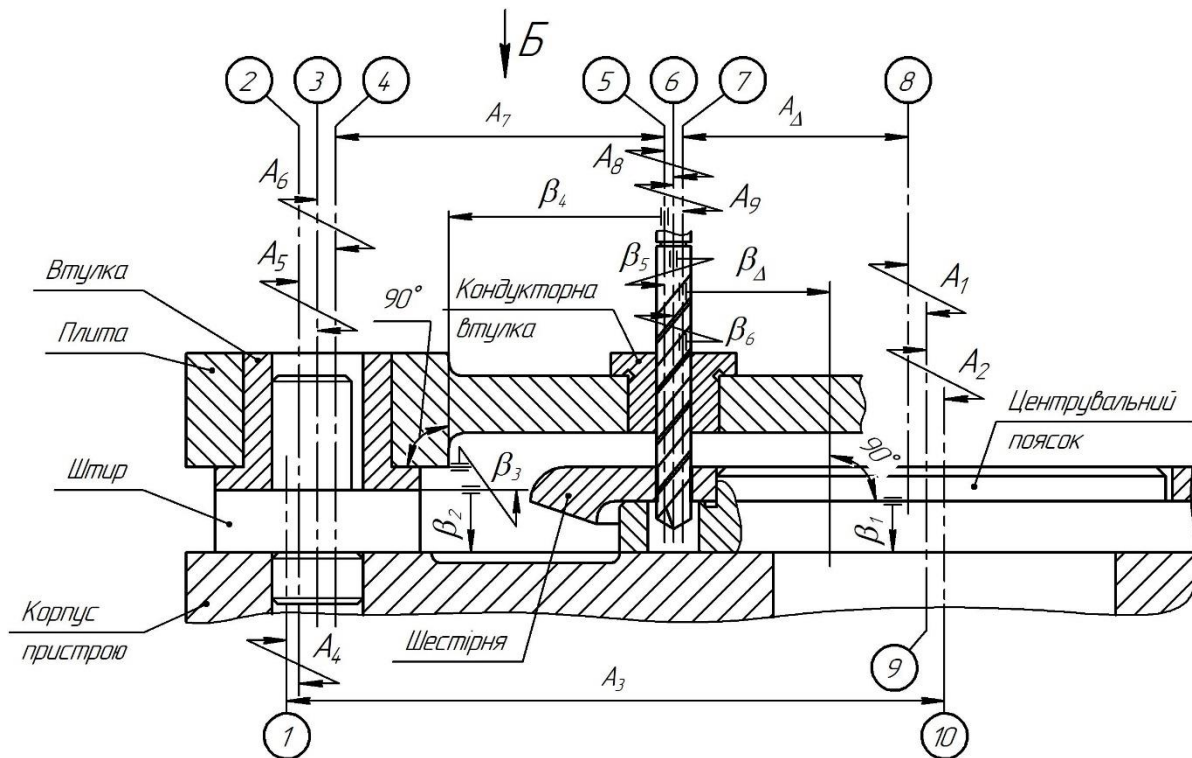


Рисунок 1.8 – Схема розмірного ланцюга технологічної системи агрегатного верстата

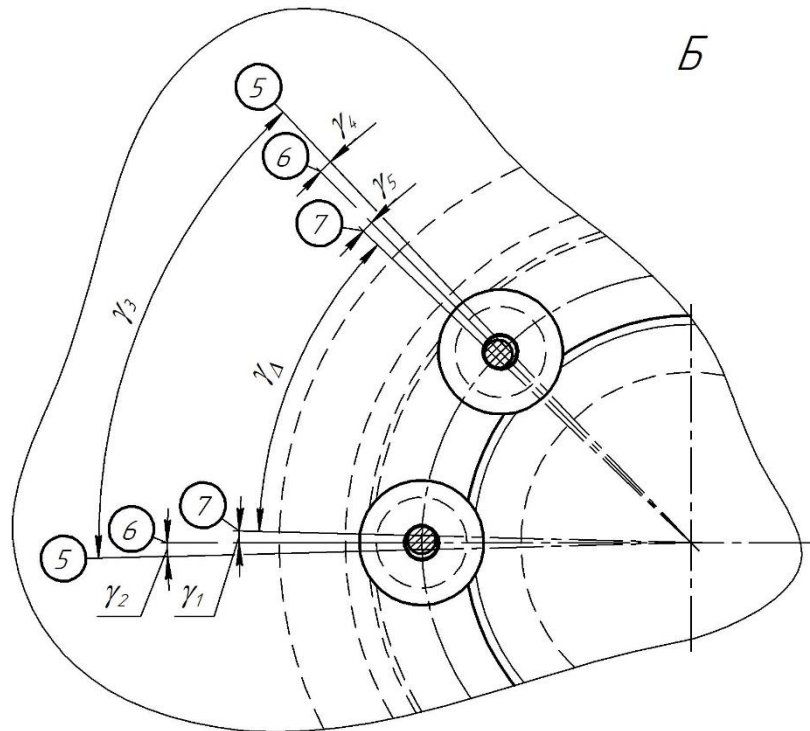


Рисунок 1.9 – Схема розмірного ланцюга технологічної системи агрегатного верстата (вид Б)

На рисунках 1.8 та 1.9 зображені розмірні ланцюги A, β, γ , за допомогою яких досягають точність відстані одного з оброблюваних отворів деталі від базувального отвору, його перпендикулярність до установчої бази деталі й відносне кутове положення пари оброблюваних отворів. Замикальними ланками цих розмірних ланцюгів є дотримані відстані A_{Δ} і кути β_{Δ} та γ_{Δ} . Водночас прийняті такі позначення: 1 – вісь отвору пристрою; 2 – вісь базувального 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 базувального отвору шестерні; 9 – вісь центрального пояса; 10 – вісь отвору корпусу пристрою для центрального пояса.

Допуски потрібно розраховувати з 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 базувальних елементів пристрою.

Щоб свердла не деформувалися під час їх входження в отвір втулки й зменшити тертя між ними, потрібно забезпечити відповідність осей свердла та втулки. Загалом відповідність осей свердла й втулки може порушуватися внаслідок низки причин, до числа яких належать такі: зміщення B (див. рис. 1.10) і повертання ρ осі оберту свердла щодо осі отвору кондукторної втулки; радіальне биття свердла, спричинене зміщенням B і повертанням η свердла щодо осі його обертання; непаралельність μ напрямку руху свердла щодо осі отвору кондукторної втулки (див. рис. 1.10).

Щоб за наявності наведених відхилень запобігти деформації свердла, необхідно обмежити відхилення, базуючись на найменшому допустимому зазорі між свердлом і втулкою.

Якщо найменший зазор $\Delta^{mm} = 0,013$ мм дуже малий, то складно забезпечити суму всіх відхилень під час виготовлення

верстата. Тому доводиться допускати деформацію свердла під час входження в отвір втулки, підвищене зношення та обмежувати відхилення, що призводять до невідповідності осей свердла з втулкою, такими економічно припустимими допусками: $T_B = 0,02$ мм, $T_\rho = 0,02/150$ мм, $T_\theta = 0,04$ мм, $T_\eta = 0,04/150$ мм, $T_\mu = 0,03/150$ мм.

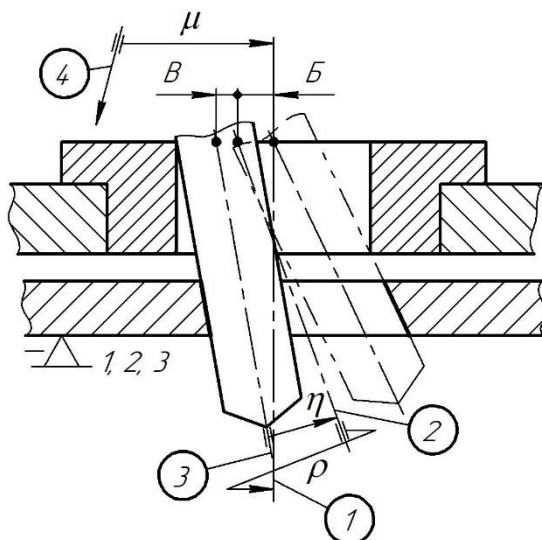


Рисунок 1.10 – Схема відхилення положення й напрямку руху свердла щодо осі отвору кондукторної втулки:

- 1 – вісь отвору; 2 – вісь обертання свердла; 3 – вісь свердла;
- 4 – напрямок руху свердла

Викладений підхід до розроблення норм точності й ТВ можна застосувати до будь-якого вузла виробу, наприклад плунжерного насоса, використовуюваного в різних металооброблювальних верстатах (див. рис. 1.11) [6].

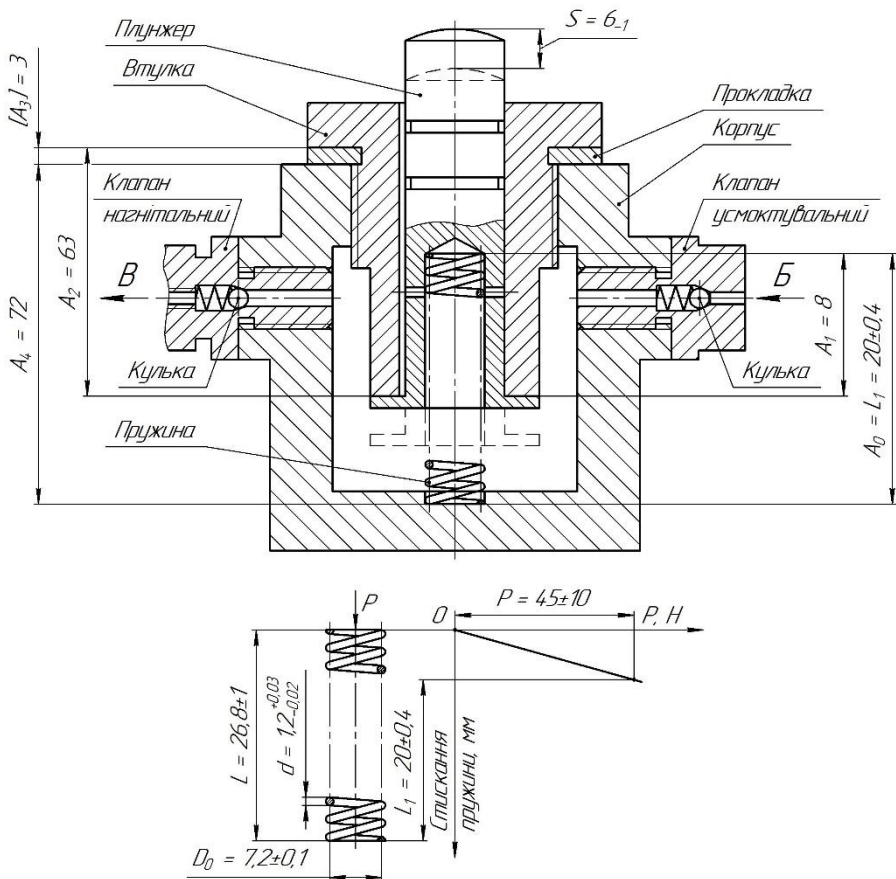


Рисунок 1.11 – Плунжерний насос:
 Б – усмоктування; В – нагнітання; $i = 10 \pm 0,3$ – кількість
 робочих витків пружини

Плунжерний насос потрібний для подавання мастила в мастильну систему верстата під тиском, не меншим, ніж 4,9 МПа об'ємом 0,06–0,08 л/хв, з кількістю подвійних ходів плунжера 100 ± 10 пдв. хід/хв, ходом плунжера $S = 6$ (0; –1) мм. Сила P на плунжері в початковий момент допоміжного ходу становить

$P = (40 \pm 10)$ Н. Насос повинен подавати мастило «Індустріальне – 20» із температурою 20–80°C.

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

Силу P у початковий момент допоміжного ходу визначають із нелінійного рівняння 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 й під навантаженням P , мм. Беремо $L = 26,8$ мм, $L_1 = 20$ мм;

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

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

D_0 – середній діаметр пружини, мм; $D_0 = 7,2$ мм;

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

Розв’язанням рівняння (1.8) установлюють номінальні значення аргументів відповідно до заданого службовим призначенням насоса номінального значення $P = 40$ Н. Номінальні значення аргументів L , L_1 , G , d , D_0 , i встановлено на підставі досвіду розв’язань подібних конструкцій насосів з урахуванням чинних нормативів у цій галузі промисловості. Це дало змогу прийняти номінальні значення аргументів, зазначених у рівнянні (1.8), як середні їх значення.

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

$$T_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial L}\right)_{\bar{L}}^2 \cdot T_L^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial L_1}\right)_{\bar{L}_1}^2 \cdot T_{L_1}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial G}\right)_{\bar{G}}^2 \cdot T_G^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial d}\right)_{\bar{d}}^2 \cdot T_d^2 + \dots + \left(\frac{\partial P}{\partial D_0}\right)_{\bar{D}_0}^2 \cdot T_{D_0}^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial i}\right)_{\bar{i}}^2 \cdot T_i^2}. \quad (1.9)$$

Підставимо у формулу (1.9) значення частинних добутків та одержимо

$$\begin{aligned}
 T_p = & \sqrt{\left(\frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i}\right)^2 \cdot T_L^2 + \left(\frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i}\right)^2 \cdot T_{L_1}^2 + \left[\frac{(L - L_1) \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i}\right]^2 \cdot T_G^2 +} \\
 & \left. + \dots + \left[\frac{(L - L_1) \cdot G \cdot d^3}{2 \cdot D_o^3 \cdot i}\right]^2 \cdot T_d^2 + \left[\frac{-3 \cdot (L - L_1) \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^4 \cdot i}\right]^2 \cdot T_{D_o}^2 +} \right. \\
 & \left. + \dots + \left[\frac{-(L - L_1) \cdot G \cdot d^4}{8 \cdot D_o^3 \cdot i^2}\right]^2 \cdot T_i^2 . \right.
 \end{aligned}$$

Обчислені значення частинних добутків дають підставу розподілити допуск T_p між аргументами. Під час розподілу потрібно враховувати технологію виготовлення деталей плунжерного насоса й прагнути до найбільш економічного забезпечення вимог службового призначення насоса в 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; $T_{D_o} = 0,2$ мм; $T_i = 0,6$ витка.

Оптимальні значення допусків на відхилення аргументів шукає як конструктор, так і технолог, зважаючи на їх компетенцію в цій галузі.

Аналіз числових значень аргументів з урахуванням функціональної здатності виробу протягом заданого терміну служби показав, що деякі допуски потрібно зробити суворішими.

Зокрема, на кінець роботи насоса через появу стомленості модуль пружності G матеріалу пружини зменшиться й через 10 000 годин $G = 70\,000$ Па, а тиск пружини P знизиться на 5 Н. Тому, розраховуючи допуски, потрібно базуватися не на значенні

$P = 40 \pm 10$ Н, а $P = 40 (+10; -5)$ Н. Ця вимога забезпечиться завдяки зміні допуску на довжину пружини у вільному стані. Отже, $T_L = 2$ мм, а не $T_L = 3$ мм, як було визначено раніше.

Подібним способом розробляють і складають (або уточнюють) норми точності технологічних вимог будь-якого виробу, машини. Такий аналіз дуже необхідний. Чим якісніше він проведений технологом, тим на менші недоліки можна очікувати під час проектування ТП складання виробу.

Якщо технічні вимоги (норми точності) є на кресленні, то вони підлягають критичному аналізу їх відповідності службовому призначенню вузла. У разі недостатнього обґрунтування умов необхідно внести в них поправки й доповнення.

Технічні вимоги для виготовлення виробу або окремих складальних одиниць визначають основні параметри його якості, що підлягають контролю або випробуванню. Конструктор повинен визначити на кресленні номенклатуру потрібних вимог до всього виробу та ойого кремих (відповідальних) складових частин – складальних одиниць і деталей. Наведена номенклатура вимог ставить перед виробництвом технологічні завдання, що повинні виконувати технологи на всіх етапах виробничого процесу виготовлення виробу.

Виготовленню виробу передують технологічна підготовка виробництва. Спочатку потрібно ретельно вивчити конструкцію виробу, принцип його роботи, а також перелік технічних вимог, зазначених конструктором.

Аналіз технічних вимог або їх укладання для виготовлення виробу проводять у такій послідовності.

Складальне креслення виробу згідно з ДСТУ ISO 128-1:2005 повинно мати:

– зображення виробу в достатній кількості проєкцій, що дає повне уявлення про розміщення та взаємний зв'язок складових частин з усіма потрібними розмірами, видами, перерізами;

- розміри, граничні відхилення та інші параметри, що повинні бути виконані або підлягають контролю;
- характер з'єднань, здійснюваних методами регулювання, припасування, підбору.
- спосіб виконання нерознімних з'єднань (зварних, паяних, клепаних, склеєних).

На складальному кресленні необхідно зазначити:

- габарити деталі (довжина, ширина, висота);
- розміри, якими деталь приєднується до іншої деталі (виробу, складальної одиниці, споруди). Цими розмірами можуть бути діаметр і довжина кінців валів із розмірами шпонок або шліців, діаметр та довжина отворів, що центрують і спрямовують елементи: шпонок, буртиків та ін.;
- основні розрахункові розміри з граничними відхиленнями (відстані між осями зубчастих і черв'ячних передач, модуль та кількість зубців зубчастих і черв'ячних коліс, відстань між центрувальними й спрямовальними елементами, висота центрів, що визначає відстань від осей валів до базових площин та ін.);
- розміри з'єднань (діаметри й посадки на валах зубчастих і черв'ячних коліс, муфт, шківів, роторів, підшипників, діаметри й посадки поршнів та штоків гідравлічних і пневматичних циліндрів, плунжерів насосів, фіксаторів у корпусах та ін.).

Якщо на вихідному складальному кресленні не наведено вимог, то технолог повинен зазначити їх самостійно.

Для цього потрібно знати службове призначення виробу, його роботу, експлуатаційні й точнісні показники.

У таблицях 1.2 і 1.3 наведені найбільш поширені посадки з'єднань у виробках, а в таблицях 1.4 та 1.5 – допуски на відстані між осями зубчастих і черв'ячних передач [7].

Таблиця 1.2 – Рекомендації для призначення посадок на складальних кресленнях виробів

Вид з'єднань	Посадка
Вал з отвором у зубчастих колесах: – нерухомих; – рухомих; – обертових	$H7/r6, H7/s6,$ $H7/g6,$ $H7/f7$
Плунжери, пінолі, гільзи	$H7/h6, H6/h5$
Вал з отвором у підшипниках ковзання	$H7/h6, H6/h5$
Штовхачі, фіксатори	$H7/f6, H9/h8$
Кришки, стакани, фланці	$H7/h6, H7/f6, H9/h8, H7/s6$
Поршень із циліндром: – гідравлічні приводи; – пневматичні приводи	$H7/f6,$ $H7/f6, H9/f8, H10/f9$
Шліцове прямобічне з'єднання: – рухоме, з центруванням по d ; – нерухоме, з центруванням по D	$d-z \times dH7/g6 \times D \times bH10/f9$ $D-z \times d \times DH7/js6 \times bF8/f7$

Таблиця 1.3 – Посадки підшипників кочення

Дія кільця	Режим роботи	Позначення поля допуску вала	Позначення поля допуску в корпусі
1	2	3	4
Обертання	Легкий	$js5, js6$	$K6, K7$
	Нормальний	$k5, k6$	$M6, M7$
	Важкий	$m5, m6, n5, n6$	$N6, N7, P7$

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Нерухоме	Легкий або нормальний (помірні поштовхи, перевантаження до 150 %)	Для діаметрів до 80 мм	
		<i>h5, h6, g5</i>	<i>H6, H7</i>
		Для діаметрів від 80 мм до 260 мм	
		<i>g6, f6, js6</i>	<i>G6, G7</i>
	Важкий (з ударами, перевантаження до 300 %)	Для діаметрів, більших за 260 мм	
		<i>f6, js6</i>	<i>F7, F8</i>
		Для діаметрів до 80 мм	
		<i>h5, h6</i>	<i>Js6, Js7</i>
Для діаметрів, більших за 80 мм			
<i>g5, g6</i>	<i>H6, H7</i>		

Таблиця 1.4 – Граничні відхилення $\pm fa$ відстаней між осями зубчастих передач (ДСТУ 3423-96)

Вид з'єднання	Відстань між осями, мм				
	до 80	понад 80 до 125	понад 125 до 180	понад 180 до 250	понад 250 до 315
C	0,037	0,043	0,050	0,058	0,065
B	0,060	0,070	0,080	0,092	0,105
A	0,095	0,110	0,125	0,145	0,160

Таблиця 1.5 – Граничні відхилення $\pm fa$ відстаней між осями черв'ячних зубчастих передач (ДСТУ ISO 1122-2:2006)

Ступінь точності	Відстань між осями, мм			
	понад 80 до 125	понад 125 до 180	понад 180 до 250	понад 250 до 315
8	0,080	0,095	0,105	0,110
9	0,130	0,150	0,160	0,180
10	0,200	0,220	0,260	0,280

До технічних вимог на складальних кресленнях виробів належать:

– точність просторового розміщення деталей, із яких складається виріб; паралельність і перпендикулярність осей валів

і площин; радіальне й торцеве биття валів, зубчастих коліс, фланців тощо;

- точність монтажних зазорів і натягів, що забезпечують нормальну роботу підшипників, зубчастих та черв'ячних зачеплень;

- характер і точність виконання з'єднань;

- необхідне зусилля або момент затягування відповідальних з'єднань на різі (шпильок, гайок, болтів, гвинтів);

- щільність та герметичність стиків;

- зрівноваженість кострукції (допустиме значення дисбалансу);

- допустима температура нагрівання.

Вимоги, наведені конструктором, потрібно забезпечити технологічними способами під час складання й перевірити одержані результати. Наприклад:

а) точність посадки підшипника кочення на вал забезпечується виготовленням шийки вала за шостим квалітетом з посадкою $M6/k6$. Шорсткість з'єднаних поверхонь становить $R_a = 0,63$ мкм, підшипник пресується на вал із використанням спеціального складального пристрою або за методом теплового складання (нагрівання підшипника в масляній ванні);

б) потрібне зачеплення черв'яка з черв'ячним колесом забезпечується збігом осі черв'яка з віссю симетрії черв'ячного колеса в межах $\pm 0,04$ мм. Збіг виконують за методом регулювання набором розрахованої кількості компенсаційних прокладок, що забезпечує точність замикальної ланки складального ланцюга. У цьому разі виріб має нормальне експлуатаційне зношення, довговічність, безшумність роботи й допустиме нагрівання за час його експлуатації;

в) необхідний зазор (0,1 мм) між зовнішнім кільцем радіального підшипника та торцем кришки забезпечується шліфуванням торців розпірного клина після вимірювання необхідного розміру під час складання. Зазор потрібний для

усунення заклинювання підшипника, що нагрівається під час роботи виробу;

г) співвісність вала електродвигуна й вихідного вала механізму переміщення в межах 0,06 мм забезпечується у вертикальній площині встановленням компенсаційних прокладок під установлювальну поверхню електродвигуна. У горизонтальній площині спочатку вимірюють за допомогою індикаторного пристрою потрібну відстань отворів під штифти у механізмі переміщення та рамі, на яку встановлюють вироби, що з'єднують. Потім свердлять (зенкерують, розвертають) отвори, встановлюють у них за потрібною посадкою штифти й остаточно з'єднують електродвигун із механізмом переміщення. Наведені технологічні дії виконують безпосередньо складанням.

Зазначені приклади потрібно ілюструвати схемами для складання й розрахунками складальних розмірних ланцюгів, стислим описом процесу складання з використанням пристроїв для складання та контролю.

На складальних кресленнях часто використовують зварні конструкції (наприклад, корпуси зубчастих передач, опори підшипників, рами, корпуси невеликих верстатів, пристроїв). В усіх випадках зварні конструкції є складальними одиницями. Проте, якщо зварні елементи виробів підлягають механічному обробленню, то креслення на них оформлюють як робочі креслення деталей.

Інколи креслення оформлені не відповідно до чинних стандартів. Іноді для їх розуміння не вистачає наведених проєкцій (видів, перерізів), тому потрібно доопрацювати креслення: додати потрібну кількість проєкцій, видів, перерізів, дати уточнення про взаємне розміщення окремих поверхонь деталей, з'ясувати контроль виробу та його окремих вузлів, виправити застарілі позначення та ін. Доповнення й виправлення, що вносять до креслення, дають змогу виправити недоліки конструкторської підготовки виробництва та виготовити виріб із потрібним службовим призначенням.

Обґрунтування норми точності та її аналіз ілюструють ескізом-схемою у довільному масштабі, на якій можливі похибки зображують у значно більшому масштабі, ніж масштаб основної частини ескізу [8, 9]. Підсумком цієї частини роботи є чітко сформульована норма точності (технічна умова), яку варто забезпечити під час складання вузла.

З'ясуємо це на прикладі складання частини механізму повертання кульового крана D_3500 , P_380 (див. рис. 1.12). Механізм повертання має складальну одиницю, що містить у собі корпус 1, дві кришки 2, 3 та гвинт 4. Гвинт 4 встановлюють у корпусі 1 на двох радіально-упорних підшипниках 5. Для нормальної роботи підшипників між торцями різьби $Tr60 \times 9-7e$ гвинта 4 та підшипників 5 установлені упорні кільця 6. Сферичну пробку кульового крана повертають штурвалом редуктора (на рисунку не зображений), а крутний момент передається на шліцьовий кінець гвинта 4 ($35 \times 1,5 \times 9g$) зубчастим колесом. Крім обертання, гвинт має змогу переміщуватися вздовж 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 1.12 ця вимога наведена як замикальна ланка A_0 . Для її виконання конструктором передбачена спеціальна прокладка-компенсатор 7 (на рисунку 1.12 вона показана розміром $[A_2]$), установлювана між торцями кришки 3 та виточкою отвору корпусу 1.

Отже, можна сформулювати норму точності (технічну вимогу), що потрібно забезпечити під час складання:

«Забезпечити осьове переміщення гвинта в межах зазора $0,1-0,2$ мм».

Результатом виконання перших двох розділів повинна стати пропозиція для змінення або вдосконалення конструкції виробу з метою спрощення ТП його складання.

1.3 Вибір та обґрунтування методу досягнення потрібної норми точності виробу

Вибір методів досягнення точності машини потрібно почати з формулювання завдання, що необхідно виконати під час досягання точності.

Конструктор, під час виконання розрахунків конструкції виробу на точність, уже вибрав метод досягнення потрібної точності кожного параметра. Завдання технолога полягає у виявленні закладених у конструкцію методів досягнення точності й оцінювання 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 одержати методами регулювання або припасування [1–6].

Для вирішення цього питання необхідно виявити конструкторські розмірні ланцюги (зазвичай схем розмірних ланцюгів машини до креслень не додають). Під час виконання прямого завдання першим виявляється замикальний ланцюг. Звісно, замикальним ланцюгом є відстань або відносний поворот поверхонь (або їх осей) деталей, відносно положення яких необхідно забезпечити. Складовими ланцюгами РЛ можуть бути або відстані (відносні повороти) між поверхнями (їх осями) деталей, що утворюють замикальний ланцюг, та основними базами цих деталей; або відстані (відносні повороти) між поверхнями основних і допоміжних конструкторських баз деталей [8–11].

Покажемо це на прикладі плунжерного насоса (див. рис. 1.11).

Визначимо на кресленні замикальну A_0 та складові ланки РЛ (A_1, \dots, A_4). Далі визначимо ланку-компенсатор $[A_3]$, що безпосередньо впливає на точність замикальної ланки A_0 . Побудуємо РЛ для замикальної ланки A_0 і визначимо кількість збільшувальних та зменшувальних ланок (див. рис. 1.13).

$$A_0 = \overline{A_1} + \overline{A_3} + \overline{A_4} - \overline{A_2}, \quad (1.10)$$

де A_1, A_3, A_4 – збільшувальні ланки РЛ;

A_2 – зменшувальна ланка РЛ.

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

Запишемо в таблицю (див. табл. 1.6) номінальні розміри (взяті зі складального креслення плунжерного насоса), допуски всіх ланок РЛ, їх відхилення та зробимо необхідний коментар.

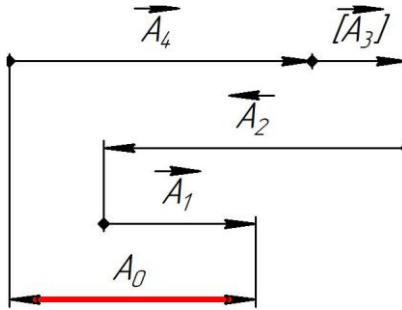


Рисунок 1.13 – Складальний розмірний ланцюг плунжерного насоса

Установимо метод досягнення норм точності, сформульованої раніше. Згідно з умовою тип виробництва серійний, допуск $TA_0 = 0,8 \text{ мм} = (\pm 0,4 \text{ мм})$ досить вільний, і він повинен бути забезпечений методом повної взаємозамінності як основний метод досягнення точності замикальної ланки. Проте аналіз розмірів деталей, які входять у РЛ, виявив, що середній допуск TA_{cp} , який припадає на кожен ланку, менший, ніж кожний допуск окремої складової ланки. Середній допуск TA_{cp} визначають за формулою

$$TA_{cp} = \frac{TA_0}{m-1} = \frac{800}{5-1} = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм}, \quad (1.11)$$

де $TA_0 = 800$ мкм – допуск на розмір замикальної ланки;
 $m = 5$ – загальна кількість ланок РЛ.

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

Забезпечити допуск $TA_0 = 0,8$ мм методом взаємозамінності не є економічним рішенням, тому що потрібно виконати підвищену точність розмірів A_1 та A_4 . Якщо розмір $A_4 = 72$ мм і його допуск $TA_4 = 200$ мкм, а це приблизно 11-й квалітет точності, то потрібне оброблення дна порожнини корпусу. Для розміру $A_1 = 8$ мм та його допуску $TA_1 = 200$ мкм, а це приблизно 12-й квалітет точності, після свердління отвору під пружину необхідно підрізати торець отвору зенкером або різцем. Це збільшує кількість технологічних операцій, час виготовлення деталей, що ускладнює ТП їх виготовлення, хоча за службовим призначенням насоса в цьому немає потреби.

Щоб забезпечити допуск $TA_0 = 0,8$ мм замикальної ланки A_0 необхідно зробити регульованою одну з ланок РЛ. Згідно з рекомендаціями [6, 10] можна застосувати методи припасування або регулювання, тому що конструкцією виробу передбачена спеціальна деталь (прокладка), яка є компенсатором. На рисунку 1.11 це ланка $[A_3]$ – товщина прокладки.

На всі ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначають або вже є легко здійснені допуски згідно із середньо-економічною точністю методів оброблення [12]. Потрібна точність замикальної ланки буде забезпечена набором прокладок однакової або різної товщини.

Економічно вигідними допусками будуть такі:

$TA_1 = 0,36$ мм ($H14$); $TA_2 = 0,3$ мм ($Js12$); $TA_4 = 0,74$ мм ($Js14$).

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

$$[A_3] = A_0 - A_1 - A_4 + A_2 = 20 - 8 - 72 + 63 = 3 \text{ мм.}$$

Щоб визначити точність A_0 методом регулювання, потрібно зібрати корпус, плунжер, втулку та еталон. Останній імітує пружину в стисненому стані (див. рис. 1.14).

Потім потрібно виміряти зазор $B_0 = [A_3]$ між торцями корпусу й втулкою та згідно з його значенням визначити потрібний розмір компенсатора. Цей розмір компенсує надмір похибки замикальної ланки під час кінцевого складання насоса.

Точність A_0 залежить від таких параметрів: точності виготовлення еталона та його установки; точності вимірювання зазора ($B_0 = [A_3]$) між корпусом і втулкою; точності виготовлення компенсатора.

Точність A_0 не залежить від точності складових ланок РЛ «А» (див. формулу (1.10)).

Значення $TA_0 = 0,8$ мм дає змогу допустити відхилення (допуск) розмірів еталона $TB_4 = 0,084$ мм (для розрахунку беремо 0,1 мм); похибки установки еталона $TB_3 = 0,4$ мм; вимір зазора $T_\omega = 0,1$ мм за умови, що точність виготовлення компенсатора становить $TA_3 = 0,1$ мм (12-й квалітет точності).

Отже,

$$\begin{aligned} TA_0 &= 0,8 \text{ мм} > TB_4 + TB_3 + TA_3 + T_\omega = \\ &= 0,1 + 0,4 + 0,1 + 0,1 = 0,7 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Визначені дані запишемо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Розміри ланок для розрахунку розмірного ланцюга

Позначення ланки $A_{b,l}$	Квалітет точності	Номінальний розмір ланки $A_{b,l}$, мм	Допуск ланки $T_{A_{b,l}}$, мкм	Координата середини поля допуску ланки $ES_{A_{b,l}}$, мкм	Верхнє відхилення ланки $ES_{A_{b,l}}$, мкм	Нижнє відхилення ланки $EJ_{A_{b,l}}$, мкм	Коментар
A_0	–	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
$A_2 = B_1$	$Js12$	63	300	0	+150	–150	Розмір втулки від торця її буртика до нижнього торця
$[A_3]^* = B_0$	$h12^*$	3*	100*	–50*	0*	–100*	Товщина прокладки (розмір ланки-компенсатора)
$A_4 = B_5$	$Js14$	72	740	0	+370	–370	Розмір внутрішньої камери корпусу насоса
B_3	$Js15$	0	400	0	+200	–200	Похибка установки еталона
B_4	$h10$	20	100	–50	0	–100	Розмір еталона

*Параметри ланки-компенсатора $[A_3]$, занесені до таблиці після розрахунку РЛ

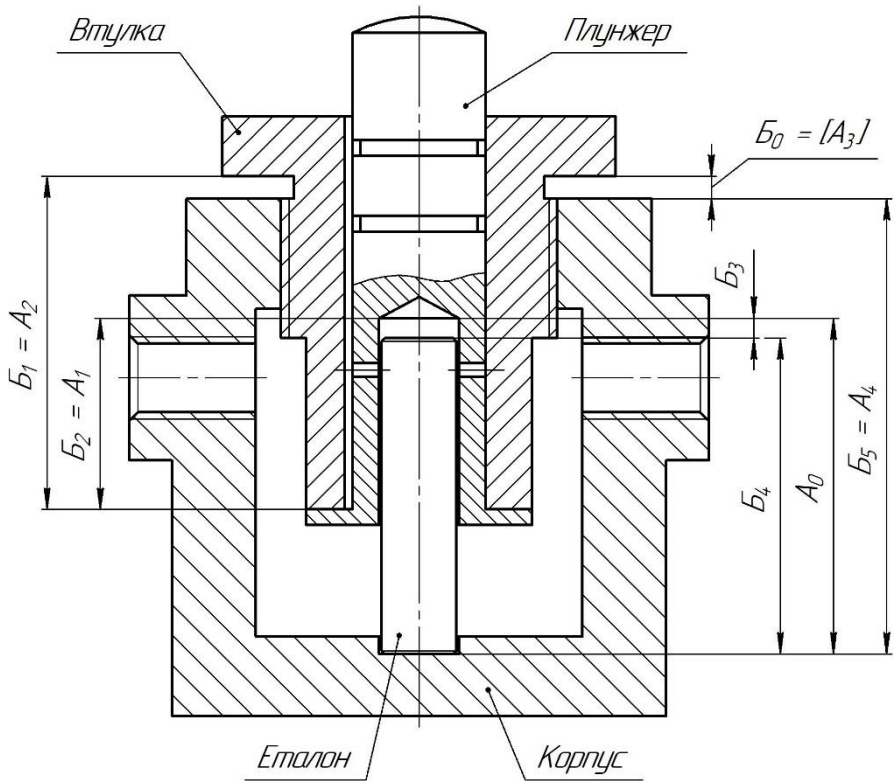


Рисунок 1.14 – Технологічний розмірний ланцюг плунжерного насоса, що визначає зазор B_0 між втулкою й корпусом

Розміри компенсаторів і їх кількість можна знайти, розв'язавши РЛ «Б», що визначає зазор B_0 між втулкою й корпусом, одержаним за результатом попереднього складання насоса (див. рис. 1.14).

$$B_0 = \overline{B_1} - \overline{B_2} + \overline{B_3} + \overline{B_4} - \overline{B_5}, \quad (1.12)$$

де $B_1 = A_2$ – розмір втулки;

$B_2 = A_1$ – розмір глибини отвору плунжера;

B_3 – похибка установки еталона;

B_4 – розмір еталона;

$B_5 = A_4$ – розмір внутрішньої камери корпусу.

За вибраним методом регулювання точність ланки A_0 забезпечується побічним шляхом і залежить від відповідності розміру компенсатора дійсному значенню зазора B_0 та некомпенсувальних ланок B_3 і B_4 .

Очікувана похибка замикальної ланки $T'B_0$ визначають за формулою

$$\begin{aligned} T'B_0 &= \sum_{i=1}^{m-1} TB_i = TB_1 + TB_2 + TB_3 + TB_4 + TB_5 = \\ &= TA_2 + TA_1 + TB_3 + TB_4 + TA_4 = \\ &= 300 + 360 + 400 + 100 + 740 = 1900 \text{ мкм} = 1,9 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Одержане значення $T'B_0 = 1900$ мкм повинно перевищувати потрібне значення $TB_0 = 100$ мкм, тобто

$$T'B_0 = 1900 \text{ мкм} > TB_0 = 100 \text{ мкм}.$$

Різниця $(T'B_0 - TB_0)$ визначає величину компенсації.

Потрібної компенсації досягають прокладкою, допуск якої дорівнює похибці методу її обробки (методу компенсації). Допуск методу компенсації $T_{мк}$ не повинен бути більшим, ніж допуск замикальної ланки ($T_{мк} \leq TB_0$).

Візьмемо $T_{мк} = 100$ мкм = $T[A_3]$. Визначені дані запишемо в таблицю 1.6 (див. графу таблиці з позначкою *).

У такому разі потрібну величину компенсації K визначають за формулою

$$K = T'B_0 - TA_0 + T_{мк} = 1900 - 800 + 100 = 1200 \text{ мкм.} \quad (1.14)$$

Визначимо координату середини поля компенсації E_cK :

$$\begin{aligned} E_cK &= \pm(E_c'B_{i,j} - E_cB_0) = \pm\left(\sum_{i=1}^n E_cB_i - \sum_{i=1}^k E_cB_j - E_cB_0\right) = \\ &= \pm(E_cB_1 + E_cB_3 + E_cB_4 - E_cB_2 - E_cB_5 - E_cB_0) = \\ &= \pm(0 + 0 - 50 - (+180) - 0 - (-50)) = +180 \text{ мкм.} \quad (1.15) \end{aligned}$$

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

n, k – кількість збільшувальних і зменшувальних ланок відповідно.

Якщо ланка-компенсатор $[A_3] = B_0$ та замикальна ланка A_0 знаходяться в різних гілках РЛ (див. рис. 1.15), то беремо знак « \leftarrow » [13].

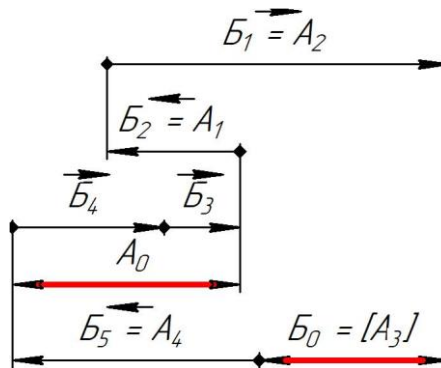


Рисунок 1.15 – Розмірний ланцюг, за яким визначають зазор $B_0 = [A_3]$ між втулкою й корпусом

Настановний розмір компенсаційної прокладки визначимо за формулою [6, 14]:

$$A_k = B_0 = [A_3] + E_c K \pm K/2 = 3 + 0,18 \pm 1,2/2 = 3,18 \pm 0,6 \text{ мм}, \quad (1.16)$$

остаточно беремо $A_k = [A_3] = 3(+0,78; -0,42)$ мм.

Згідно з результатами розрахунків $ESB_0 = ES[A_3] + 0,78 > 0$, а $EJB_0 = EJ[A_3] = -0,42 < 0$.

Потрібно виключити випадок, за якого $EJB_0 = EJ[A_3] < 0$. Для цього потрібно змінити номінальний розмір будь-якої складової ланки, наприклад $B_5 = A_4 = 72$ мм. Нове номінальне значення можна визначити за формулою

$$B'_5 = A'_4 = A_4 - EJ[A_3] = 72 - 0,42 = 71,58 \text{ мм}.$$

У цьому разі на величину $EJ[A_3] = 0,42$ мм буде зсунута середина поля розсіювання очікуваної похибки замикальної ланки. Отже, під час складання внеможливіюється поява негативної величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки, а саме: компенсація зводиться до зміни величини K за допомогою потрібної кількості прокладок.

Варіант 1. Зробимо розрахунок компенсатора, що має набір прокладок однакової товщини. Візьмемо величину ступеня компенсації $S = TB_0 = 100$ мкм (товщина однієї прокладки).

Кількість прокладок у наборі Z визначимо за формулою

$$Z = \frac{K}{TB_0} = \frac{1200}{100} = 12 \text{ шт.} \quad (1.17)$$

Номінальну величину товщини основної прокладки S_0 обчислимо так

$$S_0 = EJA_k = 3_{-0,42} = 2,58 \text{ мм}.$$

Найбільша товщина набору прокладок

$$S_{\Sigma} = S_0 + Z \cdot S = 2,58 + 12 \cdot 0,1 = 3,78 \text{ мм.} \quad (1.18)$$

Інтервал регулювання $S_{\Sigma} - S_0 = 3,78 - 2,58 = 1,2$ мм, що дорівнює потрібній величині компенсації $K = 1,2$ мм. Зважаючи на це, для компенсації можливих відхилень кінцевої ланки необхідний набір з однієї основної та 12 однакових прокладок.

Варіант 2. Зробимо розрахунок компенсатора, що має набір прокладок різної товщини. Потрібна сумарна товщина усіх прокладок набору ESA_k дорівнює 3,78 мм. Якщо величину ступеня компенсації взяти кратною допуску TA_0 , то будемо мати такі значення товщини прокладок:

$$S_1 = TB_0 = 0,1 \text{ мм}; S_2 = 2S_1 = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ мм};$$

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

$$S_5 = 2S_4 = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ мм}; S_6 = 2S_5 = 2 \cdot 1,6 = 3,2 \text{ мм}.$$

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. Найбільшу товщину прокладок, що є інтервалом регулювання, визначають за формулою

$$\begin{aligned} S_{\Sigma} &= (2^Z - 1) \cdot TB_0 = \\ &= (2^6 - 1) \cdot 0,1 = 6,3 \text{ мм} > ESA_k = 3,78 \text{ мм,} \end{aligned} \quad (1.19)$$

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 $A_0 = 20 \pm 0,4$ мм набором прокладок різної товщини.

Другим прикладом є складання частини механізму повертання кульового крана $D_y500 P_y80$ (див. рис. 1.12). Сформулюємо норму точності (технічну вимогу), яку потрібно забезпечити під час складання: **«Забезпечити осьове переміщення гвинта в межах зазора 0,1–0,2 мм».**

Для його виконання потрібно виявити конструкторський розмірний ланцюг (див. рис. 1.12). 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 лише єдиним і правильно побудованим розмірним ланцюгом, тому що будь-який розмірний ланцюг дає виконання лише одного завдання.

Іноді вибір методу досягнення точності замикальної ланки потребує заміни проставляння розмірів на робочих кресленнях деталей та призначення допусків з урахуванням розмірних зв'язків, що виникають у вибраному варіанті ТП складання. Також можна розробити пропозиції до зміни конструкції складальної одиниці для її спрощення під час складання (технологічність конструкції) щодо заданого обсягу випуску виробів. Зміна конструкції потребує оформлення ескізу й необхідності обґрунтування (пояснення) в тексті. У подальшому розробляють ТП складання для зміненої конструкції.

Після цього розраховуємо РЛ вузла за методичними вказівками [15]. Послідовність виконання цього етапу роботи є такою:

- накреслити схематизоване креслення складальної одиниці з потрібною кількістю проєкцій (див. рис. 1.12);

- визначити на кресленні замикальну A_0 і складові ланки (A_1, \dots, A_{11}) РЛ;
- визначити й показати ланку-компенсатор $[A_2]$, що буде безпосередньо впливати на точність замикальної ланки;
- побудувати РЛ для замикальної ланки A_0 і визначити кількість збільшувальних та зменшувальних ланок (див. рис. 1.16);
- записати в таблицю (див. табл. 1.7) та проаналізувати дані номінальних розмірів, допусків усіх ланок РЛ та їх відхилень.

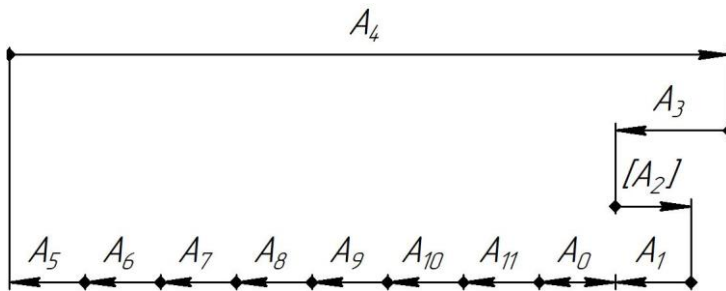


Рисунок 1.16 – Розмірний ланцюг механізму повертання

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

Таблиця 1.7 – Розміри ланок для розрахунку розмірного ланцюга

Позначення ланки (індекс розміру)	Квалітет точності	Номинальний розмір ланки $A_{i,j}$, мм	Допуск ланки $T_{A_{i,j}}$, мкм	Координата середини поля допуску ланки $E_c A_{i,j}$, мкм	Верхнє відхилення ланки $ES_{A_{i,j}}$, мкм	Нижнє відхилення ланки $EI_{A_{i,j}}$, мкм	Коментар
A_0	–	0	100	+150	+200	+100	Необхідний осьовий зазор між торцями правої кришки (поз. 3) і зовнішнім торцем кільця підшипника (поз. 5)
A_1	$Js11$	10	90	0	+45	–45	Розмір висоти посадочного пояска правої кришки (поз. 3)
$[A_2]^*$	$h10^*$	3*	50*	–25*	0*	–50*	Розмір ширини прокладки-компенсатора (поз. 7), що визначають із розрахунку РЛ
$A_3 = A_5$	$Js11$	8	90	0	–45	+45	Розміри виточок у корпусі (поз. 1) під праву (поз. 3) та ліву (поз. 2) кришки
A_4	$h9$	690	100	–50	0	–100	Зовнішній розмір корпусу (поз. 1) механізму повертання
A_6	$Is11$	11	110	0	+55	–55	Розмір висоти посадочного пояска лівої кришки (поз. 2)
$A_7 = A_{11}$	$h12$	25	210	–105	0	–210	Розмір ширини радіально-упорних підшипників (поз. 5)
$A_8 = A_{10}$	$h9$	10	36	–18	0	–36	Розмір ширини упорних кілець, лівого й правого (поз. 6)
A_9	$h12$	586	600	–300	0	–600	Розмір довжини ступеня гвинта з трапецеїдальною різью $Tr\ 60 \times 9 - 7e$ (поз. 4)

*Параметри ланки-компенсатора $[A_2]$, унесені до таблиці після розрахунку РЛ

Середній допуск визначимо за формулою (1.11):

$$TA_{cp} = \frac{100}{12-1} \approx 9,1 \text{ мкм},$$

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

Середній квалітет точності розмірів деталей, що входять у РЛ, дорівнює 11-му квалітету. За рекомендаціями [8, 9], для досягнення точності замикальної ланки необхідно прийняти метод припасування або регулювання (метод компенсаторів).

Візьмемо метод регулювання, тому що в конструкції виробу передбачена спеціальна деталь (прокладка), яка є компенсатором. На всі ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначають (або вже є) легко здійснені допуски, а потрібна точність замикальної ланки буде забезпечена набором прокладок однакової або різної товщини [8, 9, 14, 15].

Попередньо задамося номінальним розміром замикальної ланки $A_0 = 0$ мм. У цьому разі допуск $TA_0 = 0,1$ мм; верхнє відхилення $ESA_0 = +0,2$ мм; нижнє відхилення $EIA_0 = +0,1$ мм; координата середини поля допуску $E_cA_0 = +0,15$ мм.

Складемо рівняння, з якого можна визначити потрібні номінальні розміри:

$$A_0 = \sum_{i=1}^n A_i - \sum_{j=1}^k A_j, \quad (1.20)$$

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 (1.20) визначимо номінальний розмір ланки-компенсатора [A_2]:

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

Очікувану похибку замикальної ланки $T'A_0$ визначають за формулою [10]

$$T'A_0 = \sqrt{\sum K_i^2 T_i^2 + \sum K_j^2 T_j^2}, \quad (1.21)$$

де $K_i = K_j = 1,2$ – коефіцієнти відносного розсіювання [10];
 T_i, T_j – допуски відповідно збільшувальних і зменшувальних ланок РЛ.

Зважаючи на це,

$$T'A_0 = 1,2\sqrt{0,1^2 + 3 \cdot 0,09^2 + 0,11^2 + 2 \cdot 0,21^2 + 2 \cdot 0,036^2 + 0,6^2} = \\ = 0,846 \text{ мм.}$$

Потрібної компенсації досягають прокладкою, допуск якої дорівнює похибці методу її оброблення (методу компенсації). Допуск методу компенсації $T_{МК}$ не повинен бути більшим, ніж допуск замикальної ланки ($T_{МК} \leq TA_0$). Припустимо, що $T_{МК} = 50 \text{ мкм} < TA_0 = 100 \text{ мкм}$. Визначені дані запишемо в таблицю 1.7 (див. графу таблиці з позначкою *). Після цього потрібну величину компенсації K визначимо за формулою

$$K = T'A_0 - TA_0 + T_{МК} = 846 - 100 + 50 \approx 800 \text{ мкм.} \quad (1.22)$$

Визначимо координату середини поля компенсації E_cK :

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

Якщо ланка-компенсатор $[A_2]$ та замикальна ланка A_0 знаходяться в різних гілках РЛ (див. рис. 1.16), то беремо знак « \rightarrow » і тоді $E_c K = -321 \text{ мкм} = -0,321 \text{ мм}$ [9, 13].

Настановний розмір компенсаційної прокладки A_K визначимо за формулою

$$A_K = [A_2] + E_c K \pm \frac{K}{2} = 3 - 0,321 \pm \frac{0,8}{2} = 3_{-0,721}^{+0,079}, \quad (1.23)$$

Остаточо з урахуванням округлювання беремо

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

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

Нове номінальне значення A_i'' визначимо за формулою

$$A_i'' = A_i - EL A_i. \quad (1.24)$$

Зважаючи на це,

$$A_4'' = A_4 - EL[A_2] = 690 - (-0,72) = 690,72 \text{ мм.}$$

У цьому разі на величину $EI[A_2] = 0,72$ мм буде зсунута середина поля розсіювання очікуваної похибки замикальної ланки $T'A_0$.

Отже, внеможливлюється поява під час складання негативної величини потрібної компенсації розміру замикальної ланки, а саме: компенсація зводиться до заміни величини K за допомогою потрібної кількості прокладок [8–10].

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

Кількість прокладок у наборі Z визначимо за формулою

$$Z = \frac{K}{TA_0} = \frac{0,8}{0,1} = 8 \text{ шт.} \quad (1.25)$$

Номінальну товщину основної прокладки S_0 обчислимо відповідно до формули

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

Найбільшу товщину набору прокладок розрахуємо так:

$$S_\Sigma = S_0 + Z \cdot S = 2,28 + 8 \cdot 0,1 = 3,08 \text{ мм.} \quad (1.26)$$

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

Отже, для компенсації можливих відхилень замикальної ланки потрібний набір з однієї основної й восьми однакових прокладок.

Варіант 2. Зробимо розрахунок компенсатора, що має набір прокладок різної товщини. Потрібна сумарна товщина всіх

прокладок набору ESA_k дорівнює 3,08 мм. Якщо величину ступеня компенсації прийняти кратною допуску TA_0 , то будемо мати такі значення товщини прокладок:

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

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

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

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.

Найбільшу товщину прокладок, що є інтервалом регулювання, визначають за формулою

$$S_z = (2^Z - 1) \cdot TA_0 = (2^5 - 1) \cdot 0,1 = 3,1 \text{ мм} > 3,08 \text{ мм}, \quad (1.27)$$

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

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

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

1.4 Тип виробництва й організаційні форми виробничого процесу складання виробів

У різних типах виробництва [1, 3, 6] організація складання виробів має різні форми. За організацією виробництво складання буває непотоковим, груповим і потоковим, а за рухом виробу – стаціонарним та рухомим (див. рис. 1.17).

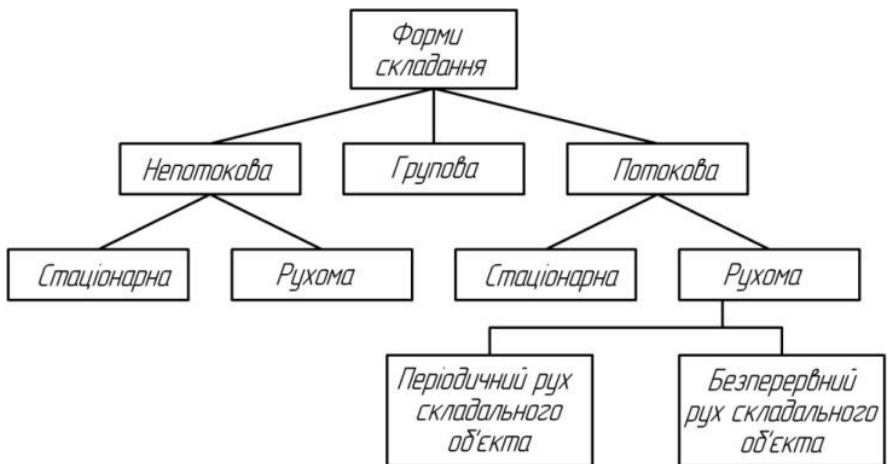


Рисунок 1.17 – Схема організаційних форм складання

Особливістю потокової форми складання є безперервний або періодичний рух складальних об'єктів чи робітників-складальників із додержанням заданого такту. Складання, виконуване без цієї вимоги, належить до непотокової форми [1, 3, 6]. Складальний об'єкт може перебувати нерухомо на одному місці або безперервно чи періодично рухатися протягом усього часу складання. У першому випадку складання є стаціонарним, а в другому – рухомим.

Групова форма складання характеризується однорідністю конструктивно-технологічних ознак складаних виробів, засобів

технологічного оснащення однієї або декількох складальних операцій і спеціалізацією робочих місць.

Основою групового складання є групування окремих виробів за конструктивно-технологічними ознаками. Групи виробів для складання формують з урахуванням трудомісткості складання та обсягу випуску. Остаточну номенклатуру груп складаних виробів на дільниці або лінії визначають після розрахунку завантаження обладнання.

Групова форма складання дуже поширена в серійному виробництві, у якому 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 подають на місце складання, а робітники або бригада робітників приходять до нього й складають об'єкт. Робочі місця комплектують універсальним складальним устаткуванням і піднімально-транспортними засобами. Окремі переходи складальної операції розподілені між робітниками, бригадиром або майстром дільниці. Під час такого процесу складання фізично неможливо розмістити значну кількість робітників на одному складальному стенді, тому що вони перешкоджатимуть роботі один одного. Зважаючи на це значну кількість технологічних переходів виконують 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 γ_0 розраховують за формулою [1]

$$\gamma_0 = \frac{T_o - T_c}{T}, \quad (1.28)$$

де T_o – 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 хвилинах) виробів із ділянки складання вузла визначають за формулою

$$T = \frac{F_{d.o} \cdot 60}{N}, \quad (1.29)$$

де $F_{d.o}$ – дійсний фонд роботи обладнання (в годинах) з округленням за 40-годинного робочого тижня розрахований за формулою

$$F_{d.o} = [(365 - 104 - C) \cdot 8] \cdot m \cdot \left(1 - \frac{M}{100}\right), \quad (1.30)$$

де 365 – кількість календарних днів на рік;

104 – кількість вихідних днів (неділь і субот) на рік;

C – кількість святкових днів на рік, дн. (установлювана за розпорядженням Кабінету Міністрів України);

8 – тривалість робочого дня (за 40 годин роботи на тиждень і двох вихідних);

m – кількість змін роботи обладнання;

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

N – обсяг випуску виробів за рік з урахуванням додаткових виробів, виготовлених на підприємстві за незмінним кресленням.

Якщо розроблений ТП складання потрібно виконувати на автоматичному обладнанні або автоматичних лініях, то такт T_a визначають з урахуванням коефіцієнта використання такого обладнання $\eta = 0,7-0,78$.

Тобто

$$T_{\alpha} = \frac{F_{\text{д.о}} \cdot 60 \cdot \eta}{N}.$$

Галуззю економічного використання непотокового стаціонарного складання є виробництво виробів незначної кількістю (великих дизелів, важких турбін, прокатних станів).

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

Кількість q_1 робочих місць (робітників) або позицій, що послідовно повинен пройти складальний об'єкт, визначають за формулою

$$q_1 = \frac{T_o - T_c}{(T - T'_n) \cdot \gamma_1}, \quad (1.31)$$

де T'_n – розрахунковий час, потрібний для переміщення одиниці складаного об'єкта з одного робочого місця на інше;

γ_1 – кількість паралельних потоків, необхідних для паралельного складання однакових об'єктів залежно від заданої виробничої програми, тобто

$$\gamma_1 = \frac{T_{on}^{nb} - T'_n}{T},$$

де T_{on}^{nb} – трудомісткість найбільшої за часом складальної операції (трудомісткість усіх несумісних переходів, що становлять цю операцію).

Якщо сумісних за часом операції немає, але час транспортування об'єктів, що складають, та оперативний час суміщені в одному потоці, то розрахункову кількість q_1 робітників (робочих місць) визначають за формулою

$$q_1 = \frac{T_o}{T}. \quad (1.32)$$

Подальше збільшення складальних виробів дає економічну підставу застосовувати потокову форму складання. Однією з форм потокового складання за найменшими витратами на її організацію є потокове стаціонарне складання. Кількість робітників q_2 або бригад-складальників, потрібних для одного потоку (або кількість об'єктів, що знаходяться на складанні одного потоку), розраховують за формулою

$$q_2 = \frac{T_o - T_c}{(T - T_p) \cdot \gamma_2}, \quad (1.33)$$

де T_p – розрахунковий час, необхідний для переходу робітників або бригад від одних складальних об'єктів до інших;

γ_2 – кількість паралельних потоків, потрібних для паралельного складання однакових об'єктів, залежно від заданої програми випуску виробів, тобто

$$\gamma_2 = \frac{T_{on}^{нб} - T_p}{T}.$$

Прикладом організації потокового стаціонарного складання, за якого робітники періодично рухаються від одних об'єктів до інших, є складання токарних верстатів у серійному виробництві.

Значне збільшення кількості складаних виробів приводить до застосування потокової рухомої форми складання, за якої складальний об'єкт рухається періодично або безперервно. Для руху складаних об'єктів використовують різні типи конвеєрів (стрічкові, ланцюгові, штангові, рамкові тощо).

Швидкість v руху конвеєра, якщо складаний об'єкт рухається безперервно, визначають за формулою

$$v = \frac{L - l_1}{T \cdot \gamma_3}, \quad (1.34)$$

де L – довжина об'єкта, що складають, вимірювана в напрямі руху конвеєра, м;

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

γ_3 – кількість паралельних потоків, необхідних для паралельного складання об'єктів, залежно від обсягу випуску виробів.

Обчислена швидкість v не повинна перевищувати швидкості $[v] = 0,5-5,5$ м/хв, допустимою технікою безпеки й охороною праці України. У протилежному разі виконання річного обсягу виготовлення виробів за незмінними величинами L і l_1 досягають збільшенням кількості паралельних потоків γ_3 . Кількість паралельних потоків γ_3 розраховують за формулами [4, 5]:

– для складання з безперервним рухом об'єкта (потокове рухоме складання)

$$\gamma_3 = \frac{T_{on}^{нб} - T_n''}{T},$$

де T_n'' – розрахунковий час, потрібний робітникові для повернення у вихідну позицію після виконання операції;

- для складання з періодичним рухом об'єкта [4, 5]:

$$T_{шт} = T_o + T_\delta + T_{об} + T_{вон}, \quad (1.35)$$

де $T_{шт}$ – штучний час на виконання однієї операції, хв;
 T_o – основний (технологічний час переходу), хв;
 T_δ – допоміжний (неперекриваний) час переходу, хв;
 $T_{об}$ – час обслуговування конвеєра та складальних місць, хв;
 $T_{вон}$ – час на відпочинок та особисті потреби виконавця, хв.
 Розрахункова кількість q_3, q_4 робочих місць або позицій, які повинен пройти об'єкт, що складають, визначають за формулами:

- для складання з безперервним рухом об'єкта

$$q_3 = \frac{T_o - T_c}{(T - T_n) \cdot \gamma_3}, \quad (1.36)$$

- для складання з періодичним рухом об'єкта

$$q_4 = \frac{T_o - T_c}{(T - T_n) \cdot \gamma_2}, \quad (1.37)$$

Довжину робочої частини конвеєра обчислюють за формулою

$$L_p = (L + l_1) \cdot (q_3 + 1). \quad (1.38)$$

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

Складальну лінію оцінюють за коефіцієнтом використання складального часу потоку K_c згідно з формулою

$$K_c = \frac{T_o}{T_o + T_n + T_z + T_{in}}. \quad (1.39)$$

де T_o – час, витрачений на складальні операції;

T_n – час переміщення об'єкта під час складання;

T_z – час зупинок, що виникає через розбіжність часу попереднього складання вузлів і тактом загального складання;

T_{in} – час зупинок, який виникає через розбіжність продуктивності роботи інших цехів та такту загального складання (під час проектування $T_z = 0$, $T_{in} = 0$, тобто зупинка конвеєра неприпустима).

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

За заданою кількістю виробів, що виготовляють за незмінним кресленням та приблизною трудомісткістю складання (можна використати дані підприємства), вибирають організаційну форму складання (непотоково-стаціонарну або рухому, потоково-стаціонарну чи рухому з періодичним або безперервним рухом) об'єкта [1]. Дані трудомісткості варто порівняти з розрахованим тактом випуску.

Тип виробництва визначають за таблицею 1.7, а організаційну форму складання – за таблицею 1.8.

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 виконано нормування складальних робіт.

Таблиця 1.7 – Визначення типу виробництва

Трудо- місткість, год	Більше 2 500	250–2 500	25–250	2,5–25	0,25–2,5	Менше ніж 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 за 5	9–60	31–350	51–600	81–800		Середньо- серійний	
		Більше за 60	351–1 500	601–3 000	801–4 500	1 000–6 000		Велико- серійний
			Більше за 1 500	Більше за 3 000	Більше за 4 500	Більше за 6 000		Масовий

Таблиця 1.8 – 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	З розчленуванням складальних робіт					
Спосіб посування виробу						
Нерухомий	Вільний	Примусовий	Нерухомий	Вільний	Примусовий	
Вид обладнання						
Стенд, верстат, підлога цеху тощо	Візок, рольганг тощо	Візок, конвеєр тощо	Обладнаний стенд	Рольганг, візок тощо	Конвеєр із періодич- ним рухом	Конвеєр із безперерв- ним рухом
Галузь економічного використання						
Важке й енергетичне машинобудування (складання великих дизелів, турбін, прокатних станів) тощо	Залізничні потяги, вагони, обладнання хімічної промисловості, апарати електронної галузі		Середні верстати, вантажні автомобілі, літаки, невеликі дизелі тощо	Електродвигуни, карбюратори автомобільних двигунів, автомобільні двигуни, електроапаратура, побутові вироби		

1.5 Розроблення послідовності складання, технологічних схем складання виробу

Послідовність загального складання виробу обумовлена його конструктивними особливостями й закладеними в конструкцію методами точності (повна взаємозамінність, неповна взаємозамінність, групова взаємозамінність, припасування, регулювання) [1–5].

Послідовність складання є основою розроблення схеми складання. Остання полегшує розроблення технологічного процесу складання, допомагає організувати виконання складального процесу, комплектування виробу, подання складальних одиниць і 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 й випробування. Для цього потрібно визначити службове призначення виробу, його загальне завдання, а також усі допоміжні умови та вимоги, що кількісно уточнюють і конкретизують це завдання [2].

Після вивчення конструкції складального виробу створюють схему складання з'єднання (див. рис. 1.18). Перед кресленням схеми складання конструкцію виробу потрібно розібрати на складальні неподільні елементи, що були б зручними як із технологічної, так і з конструктивної точки зору.

Потрібно виділити якомога більше складальних одиниць, які можна складати відокремлено, що буде сприяти скороченню циклу складання [4, 5]. Схему складання рекомендовано створювати за формою, зазначеною на рисунку 28. За схемою (див. рис. 1.19) деталі, окремі складальні одиниці розміщують у потрібній послідовності процесу складання. Якщо під час складання окремих одиниць у вузол (або виріб) необхідно зняти одну або кілька деталей (усю складальну одиницю), уже складених у комплект або підвузол, то на схемі складання це

розбирання зазначають лініями зі зворотними стрілками [1–6]. Наприклад, нормальна робота виробу залежить від потрібного осьового зазору δ (див. рис. 1.18) двох радіально-упорних підшипників 7. У наведеній конструкції зазор регулюється за рахунок прокладки 8 або набору прокладок, установлюваних між кришкою 3 і 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 в підшипниках вибрані й відповідають технічним вимогам креслення. Потім вимірюють зазор між торцем кришки 3 та корпусом 2, ураховують допущені відхилення «осьової гри» підшипників і визначають необхідну товщину прокладок [4–6].

Отже, конструкція виробу потребує часткового розбирання деталей, уже попередньо складених у вузол. У нашому разі кришка 3 та болти 13 підлягають розбиранню, потрібному для визначення товщини прокладок 8. Далі зазначені 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 дає змогу зробити попереднє нормування визначених переходів.

За схемою деталі, складальні одиниці, вузли позначають прямокутником (див. рис. 1.19), поділений на три частини. У верхній частині кожного прямокутника записують назву деталі (складальної одиниці, вузла). У лівій нижній частині – номер деталі згідно із специфікацією складального креслення. У правій нижній частині – кількість деталей, що складають одночасно.

Складальні вузли (одиниці) позначають літерами «СК». Кожній складальній одиниці надають номер базової деталі вузла, до якого вона належить. Деталь, із якої починають складання вузла або виробу, називають базовою. Складальна одиниця, що безпосередньо входить до складу виробу, – це основна

складальна одиниця першого порядку. Складальна одиниця, що входить до складальної одиниці першого порядку, є складальною одиницею другого порядку тощо. У джерелах [3–6] та практичних умовах складальні одиниці відповідних порядків мають назви: комплекти, підвузли, вузли.

Схему складання будують так (див. рис. 1.20 і 1.21).

Спочатку прямокутником зображують базову деталь та від нього проводять горизонтальну лінію, що означає хід складання, а в її кінці зображують прямокутник готового виробу. Далі в послідовності виконання складальних операцій зверху на лінію наносять деталі, що подають під час складання, а знизу – складальні одиниці. Зважаючи на складність виробу, технологічну систему складання можна креслити збільшеною (див. рис. 1.20) або розгорнутою (див. рис. 1.21). Збільшену технологічну схему складання доцільно будувати для складних складальних одиниць (вузлів). Розгорнута схема оптимальна для складальних одиниць, що відповідають складанню окремих складальних одиниць (комплектів, підвузлів). На цих схемах потрібно зробити надпис, який би дав допоміжну інформацію технології складання. Наприклад, пресувати, припаяти, шабрити. Ці надписи роблять на схемі поряд з елементами, з'єднаними відповідно.

У подальшому розроблена схема складання є основною для проектування ТП вузлового й загального складання виробу, побудови циклограми складання.

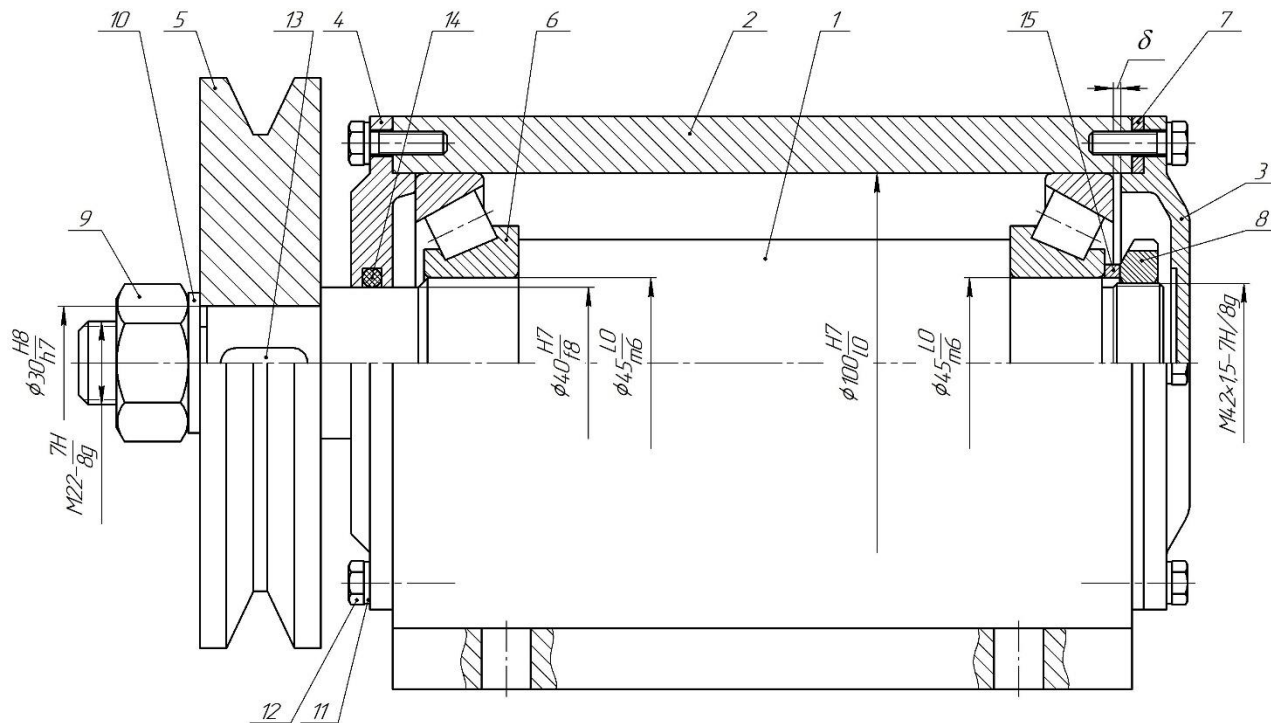


Рисунок 1.18 – Складальне креслення корпусу підшипника

Деталі	Корпус 2 1	Кришка 4 1	Кільце 14 1	Шайба 11 4	Болт 12 4	Вал 1 1	Підшипник 6 1	Підшипник 6 1	Шайба 15 1	Гайка 8 1	Кришка 3 1	Шайба 11 4	Болт 12 4	Покришда 7 П*	Шпилька 13 1	Шків 5 1	Шайба 10 1	Гайка 9 1
Складальні одиниці (комплекти)		Кришка СК 4 1							Вал СК 1 1									
Складальні одиниці (підвузли)														Корпус СК 2 1				
Складальні одиниці (вузли)																		
Виріб																	Корпус підшипника СК 2 1	

Рисунок 1.19 – Загальна схема складання корпусу підшипника

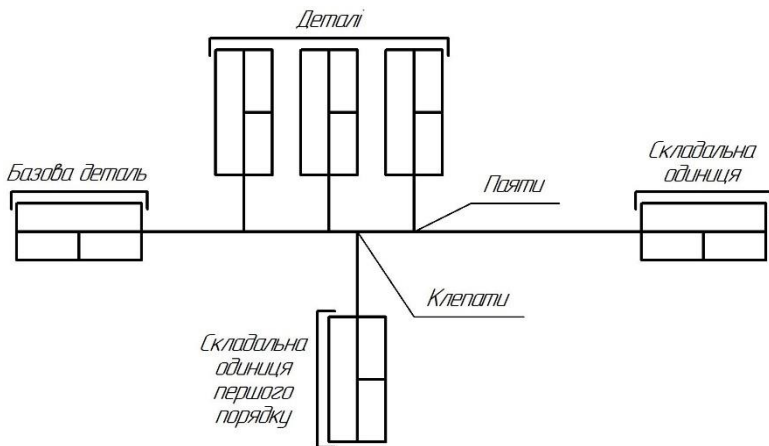


Рисунок 1.20 – Збільшена схема складання складальної одиниці

Схема складання наочно відтворює маршрут складання виробу та його складових частин. Для визначення послідовності складання попередньо аналізують розмірні ланцюги виробу [4, 5]. Якщо він має декілька розмірних ланцюгів, складання починають із найбільш складного й відповідального з них (вимога 1). У кожному складальному ланцюзі складання завершують установленням тих елементів з'єднання, що утворюють її замикальну ланку (вимога 2). Часто розмірні ланцюги мають спільні ланки. У цьому разі складання починають із ланцюга, від якого найбільше залежить точність виробу (вимога 3). Якщо ланцюги рівноцінні за точністю одержаних результатів, то складання починають із найскладнішого (вимога 4).

Спочатку розробляють загальну схему складання, а потім схеми окремих одиниць (комплектів, підвузлів). Коли будують схему складання, то виріб поділяють на максимальну кількість функціональних складальних одиниць.

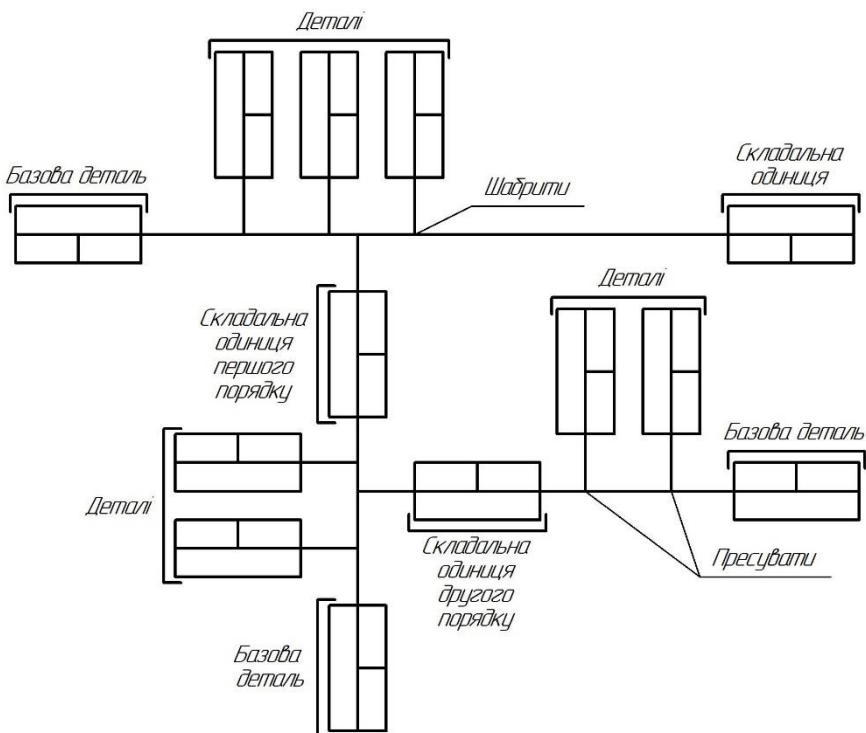


Рисунок 1.21 – Розгорнута схема складання складальної одиниці

Останні можуть складати, контролювати, транспортувати й зберігати окремо [4, 5]. Прийнятий варіант схеми складання може бути скоригований на подальших етапах проектування.

Під час складання складальних одиниць виробу доцільно будувати схеми, зображені на рисунках 1.20 та 1.21.

Приклад побудови схем складання за цими рисунками наведений за складальним кресленням черв'ячного редуктора Р05.000 СК (див. рис. 1.22). На рисунках 1.23–1.27 репрезентовані схеми окремих складальних одиниць зазначеного виробу.

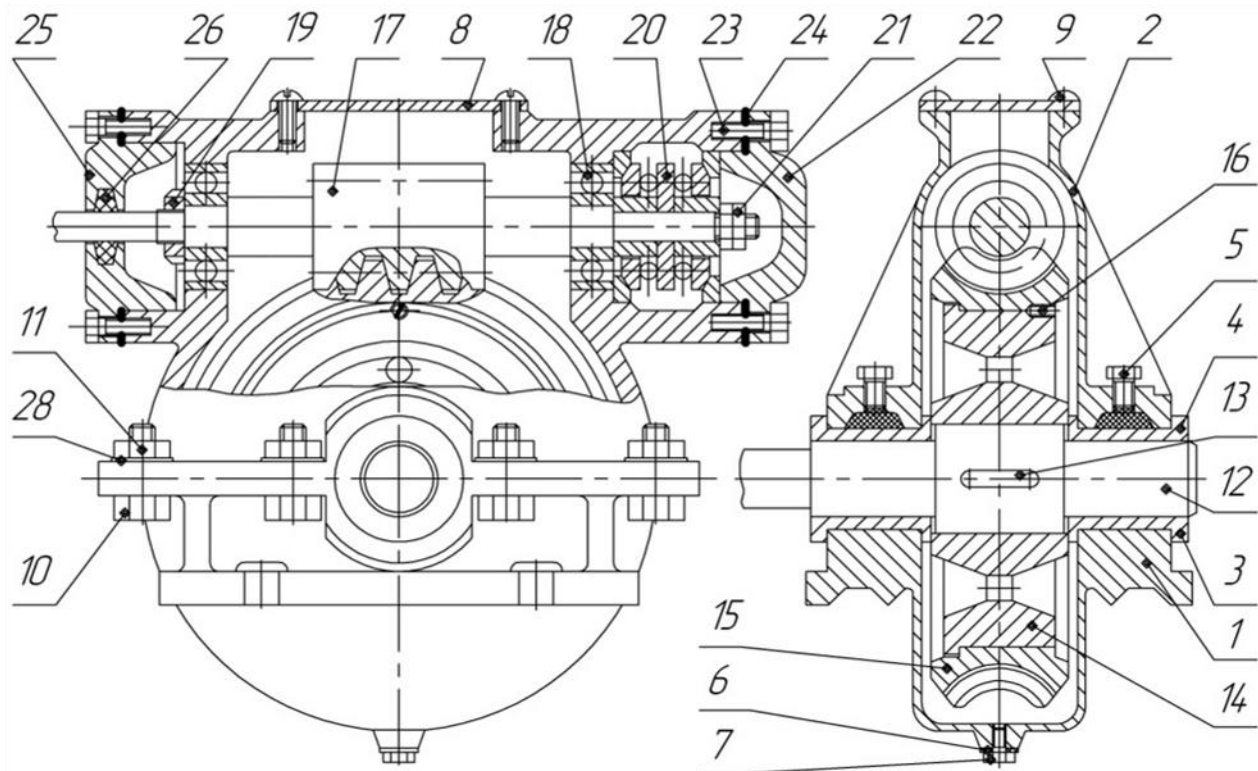


Рисунок 1.22 – Складальні креслення черв'ячного редуктора P05.000 СК

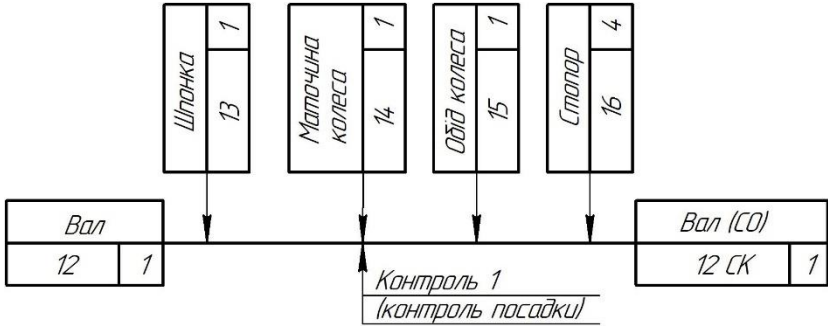


Рисунок 1.23 – Схема складання складальної одиниці «вал»

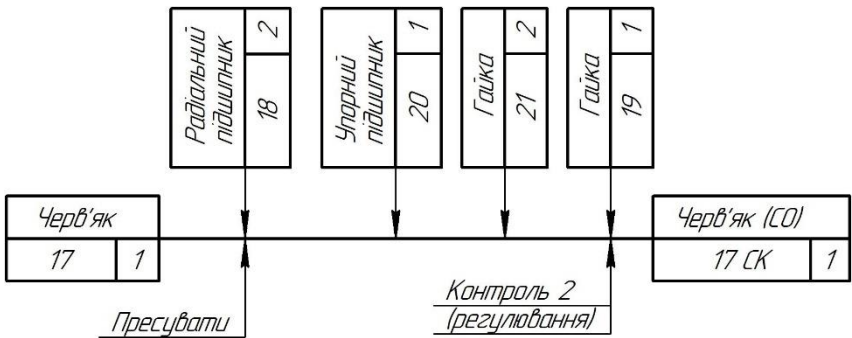


Рисунок 1.24 – Схема складання складальної одиниці «черв'як»

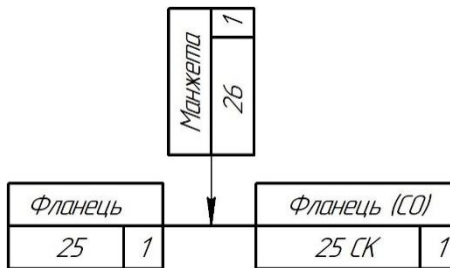


Рисунок 1.25 – Схема складання складальної одиниці «фланець»

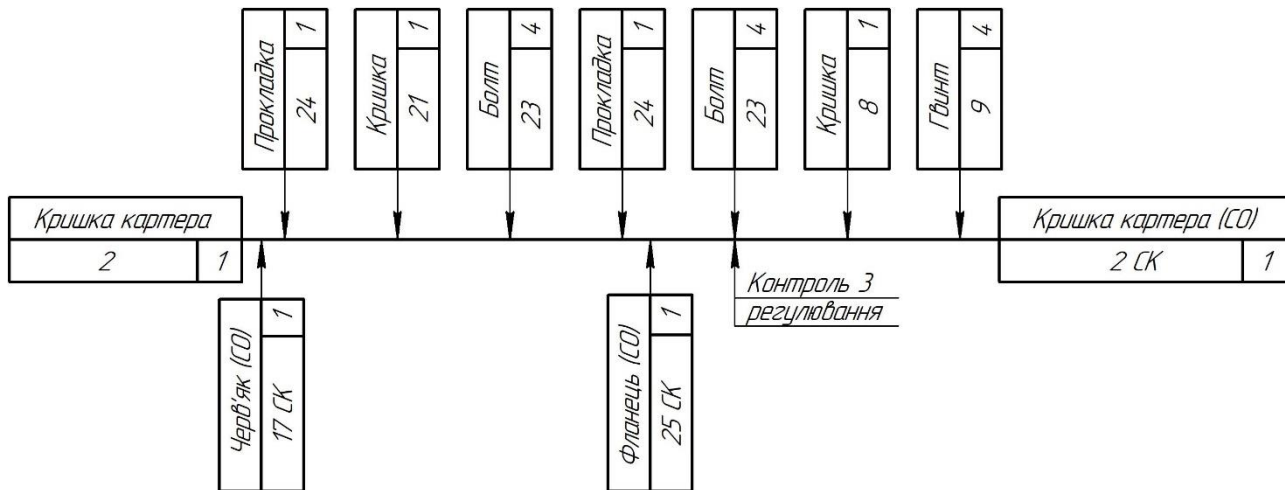


Рисунок 1.26 – Схема складання складальної одиниці «кришка картера»

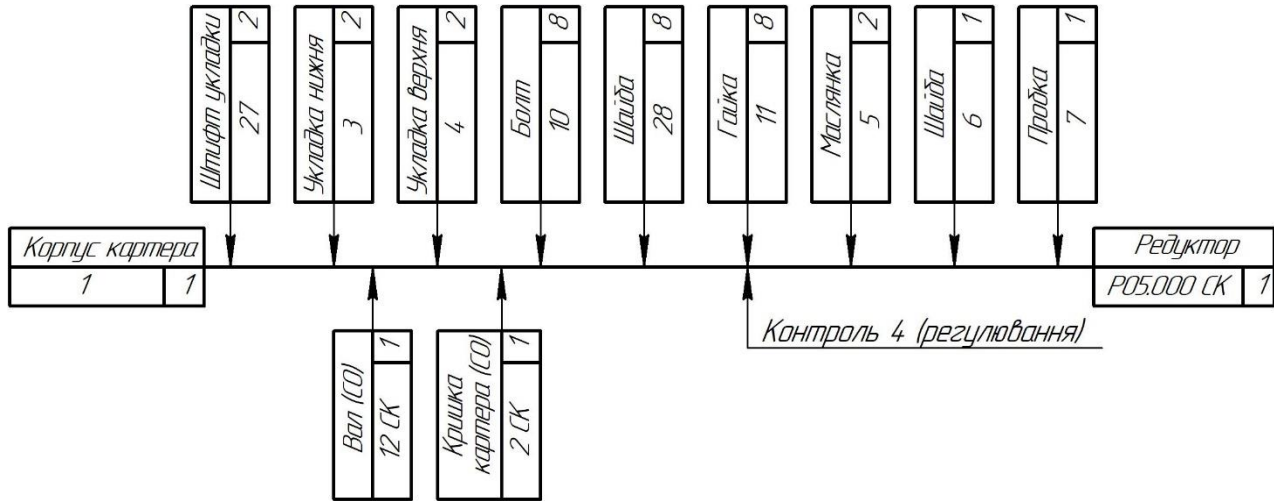


Рисунок 1.27 – Загальна схема складання виробу «черв’ячний редуктор»

1.6 Вибір засобів покращання праці та збільшення її продуктивності

Складання машини становить 10–60 % загальної трудомісткості її виготовлення. Складальні роботи потребують значних витрат фізичної сили робітників-складальників. Тому підвищення продуктивності складальних робіт і покращання праці складальників є завданнями, що потрібно виконувати під час розроблення технологічного процесу складання [4, 5, 14].

Для вибору засобів покращання праці й збільшення її продуктивності варто враховувати:

- обсяг випуску виробів, що складають за одиницю часу та за незмінними кресленнями;
- комплекс робіт, необхідних для складання виробів (комплектування й транспортування деталей та складальних одиниць до місця складання; їх координування із заданою точністю; з'єднання; регулювання; припасування й фіксація відносних положень деталей і складальних одиниць; випробування, очищення та фарбування).

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

Стаціонарне складання виконує група робітників (бригада) на одному нерухомому місці (стенді), до якого подають усі потрібні вузли та деталі.

Рухоме складання потребує руху виробів між робочими місцями. На робочих місцях робітник або група робітників щоразу виконує одну й ту саму операцію. Тому на кожне робоче місце подають деталі або складальні одиниці, потрібні лише для цієї операції. Робочі місця комплектують необхідним інструментом, пристроями, певними типами верстаків [4, 5, 14].

Стаціонарне складання виконують на слюсарних верстаках, столах, спеціальних пристроях, що забезпечують базування, обертання під час складання, транспортування.

Рухоме складання виконують на конвеєрах, спеціальних транспортерних пристроях.

Загальне стаціонарне складання машин виконують:

- на підлозі, тобто необладнаному майданчику цеху;
- на обладнаних стендах (станціях);
- на складальних верстатах (конструкція цих верстатів передбачає обертання складаного виробу для надання йому різних положень під час складання).

Місце складання оснащують:

– свердлильними верстатами (вертикально-свердлильними, але варто віддати перевагу горизонтально-свердлильним). На них свердлять, зенкерують, розгортають отвори «за місцем», нарізають різь;

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

Тип складального устаткування, оснащення й піднімально-транспортних засобів визначають за змістом операції. Наприклад, для складання сполук із натягуванням використовують преси: за невеликих зусиль пресування (1–1,5 кН) – механічні приводні, а за великих – гідравлічні. Для поєднання деталей заклепками за невеликих габаритів виробу – стаціонарні клепальні машини; за великих – переносні клепальні скоби. Ці засоби виробництва призначають з урахуванням раніше вибраного типу виробництва та організаційних форм складального процесу. У джерелах [4, 5, 14, 16] наведений перелік засобів для складання виробів.

Якщо технологічний процес складання передбачає використання спеціальних пристроїв або засобів механізації й автоматизації, то вони підлягають проектуванню з розробленням складальних креслень і відповідних розрахунків [4, 5, 8].

Технологічне оснащення та устаткування вибирають за такими рекомендаціями [4, 5, 14, 16]:

– у разі виготовлення машин незначної кількістю використовують універсальну технологічну оснастку й устаткування (одиничний, дрібносерійний типи виробництва);

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

– масовий випуск машин дає змогу здійснити комплексну механізацію й автоматизацію складальних робіт (масовий тип виробництва).

Попередній вибір оснастки та обладнання, що потрібно використовувати під час складання машин, дає підставу для нормування складальних робіт і визначення трудомісткості складання будь-якої складальної одиниці та виробу загалом.

1.7 Нормування, визначення трудомісткості складання

Нормуванням складальних робіт визначають трудомісткість складання й потрібну кількість обладнання, розраховують завантаження та трудомісткість робочих місць, встановлюють ціну виробу, застосовують календарне планування виробництва.

До основних норм праці належать норми часу, обслуговування, вироблення, кількості [14, 17].

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 в натуральних одиницях робочому-відрядникові, що він зобов'язаний виконати впродовж визначеного періоду часу (зазвичай за зміну).

Норма кількості – це кількість робітників, потрібних для виконання певного обсягу робіт.

Норма обслуговування – це кількість виробничих об’єктів (складального обладнання, робочих місць та ін.), які закріплених за одним або бригадою робітників.

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

Технічно обґрунтована норма часу – це регламентований час на виконання операції за визначеними обґрунтовано-технічними вимогами, найсприятливішими для виробництва. Цю норму встановлюють відповідно до експлуатаційно спроможних засобів технологічного оснащення й методів роботи, що відповідає сучасним досягненням техніки та виробництва.

Норма часу, встановлена для складання одного виробу під час виконання операції, залежить від норми штучного часу.

Штучний час визначають за відношенням часу виконання технологічної операції до кількості виробів, що одночасно складають на одному робочому місці.

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

За аналітичним методом встановлення норми часу аналізують методи та способи виконання операцій на робочому місці, рівень механізації праці й ефективності використання обладнання. Операцію розчленовують на елементи та виявляють фактори, що впливають на час їх виконання. Потім визначають тривалість окремих елементів та операції загалом.

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

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

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{об} + T_n. \quad (1.40)$$

де T_o – основний (технологічний) час, хв;
 T_d – допоміжний (неперекриваний) час, хв;
 $T_{об}$ – час на обслуговування робочого місця, хв;
 T_n – час на перерви в роботі, хв.

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

Допоміжний час витрачається на дії, пов'язані з виконанням основної роботи. Цей час урахує встановлення, закріплення й знімання складальних компонентів, керування обладнанням, підведення та відведення виконавчих органів, вимірювання параметрів, що потрібно забезпечити під час складання.

Оперативний час визначають за формулою

$$T_{on} = T_o + T_d. \quad (1.41)$$

Час на обслуговування робочого місця враховує такі параметри: витрати часу на підготовку робочого місця до початку роботи; змашування й чищення обладнання, а також їх налагодження під час виконання роботи; заміну інструмента; прибирання робочого місця в кінці зміни та ін. Цей час і час на перерви в роботі визначають у відсотках від оперативного часу.

Час на перерви в роботі потрібний для відпочинку й особистих потреб працівника, а також з організаційно-технічних причин.

Штучний час T_{um} на виконання однієї операції складання обчислюють за формулою

$$T_{um} = \sum_1^i T_{on.i} \cdot \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100\%}\right) \cdot K_n. \quad (1.42)$$

де $T_{on.i}$ – оперативний час переходів окремої операції, хв;

α – відсоток від оперативного часу, який відповідає часу на обслуговування робочого місця ($\alpha = 2-3 \%$) [17];

β – відсоток від оперативного часу, що відповідає часу на відпочинок та особисті потреби виконавця ($\beta = 2 \%$) [17];

K_n – коригувальний коефіцієнт оперативного часу, що враховує кількість прийомів, виконуваних працівником;

i – кількість переходів у операції.

Для складних вузлів ТП має таку послідовність:

– складання окремих складальних одиниць (комплектів, підвузлів);

– загальне складання вузла.

Увесь технологічний процес складання потрібно відобразити в технологічних картах [18, 19]. Усі графи операційної карти слюсарно-складальних робіт повинні бути повністю заповнені.

Відповідно до вибраного організаційного виду складання операції комплектують з окремих переходів.

Операції складання нормують за переходами, для яких за довідниками [14, 17] визначають оперативний час. Норми часу $T_{o,i}$ та $T_{d,i}$ обумовлені нормативами часу на слюсарно-складальні роботи [17].

Загальний час $T_{ум}$ на складання всього вузла дорівнює

$$T_{ум}^o = \sum_{i=1}^m T_{ум,i} , \quad (1.43)$$

де m – кількість складальних операцій.

Штучно-калькуляційний час $T_{ш.к}$ на один виріб під час складання вузла партіями обчислюють за формулою

$$T_{ш.к} = T_{ум}^o + \frac{T_{н.з}}{n} , \quad (1.44)$$

де $T_{н.з}$ – підготовчо-завершальний час, який установлюють на величину партії виробів, що виробляють, хв;

n – кількість вузлів у партії.

Підготовчо-завершальний час складальник витрачає на ознайомлення з кресленням виробу, підготовку й налагодження обладнання, пристроїв та інструменту. Цей час залежить від виду й складності складання, ступеня складності налагодження засобів технологічного оснащення та не залежить від партії вузлів. Час $T_{n,z}$ визначають за довідником [17].

Так установлюють норму (трудомісткість) часу, необхідного для виконання операції складання вузла.

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

У разі використання механізованих потокових ліній норму часу (трудомісткість) складальної операції розраховують за формулою

$$T_{co} = T_{on} + T_{mp} + T_{cx}, \quad (1.45)$$

де $T_{mp} = T_{mp,m} + T_{mp,p}$ – час на транспортування складального виробу поміж операціями;

$T_{mp,m}$ – час механічного транспортування виробу з однієї операції до іншої;

$T_{mp,p}$ – час, що витрачає робітник на знімання й установлення складального об'єкта на конвеєр;

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

Якщо складання виконують на автоматизованому обладнанні, то штучний час T_{um} (див. формулу (1.40)) визначають без урахування $T_{об}$ і T_n . У цьому разі допоміжний час становить мінімальне значення за рахунок підвищення швидкостей переміщення виконавчих органів та суміщення цих рухів із виконанням основного процесу складання.

Продуктивність робочого циклу Q автомата або напівавтомата обчислюють за формулою

$$Q = \frac{1}{T_{\text{ц}}} = \frac{1}{T_{\text{оп}}} = \frac{1}{T_{\text{о}} + T_{\text{д}}}, \quad (1.46)$$

де $T_{\text{д}}$ – робочий цикл автомата або півавтомата, хв.

Для визначення продуктивності автоматичного обладнання встановлюють час циклу $T_{\text{ц}}$, розраховуваний за формулою

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{н}} + T_{\text{оп}} + T_{\text{с}} + T_{\text{мп}}, \quad (1.47)$$

де $T_{\text{н}}$ – час подавання деталей на складання;

$T_{\text{оп}}$ – час на орієнтування складального вузла;

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

$T_{\text{мп}}$ – час на транспортування складального вузла.

Час $T_{\text{н}}$ і $T_{\text{мп}}$ можна визначити за формулою

$$T_{\text{н}} + T_{\text{мп}} = \frac{L}{V}, \quad (1.48)$$

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

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

Якщо час $T_{\text{оп}}$ не суміщений із часом $T_{\text{мп}}$, то час $T_{\text{ц}}$ обчислюють за формулою (1.47).

Час на з'єднання деталей $T_{\text{с}}$ визначають за формулами:

$T_{\text{с}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ – якщо з'єднання вільне й деталі з'єднують із

зазором (h – відстань вільного падіння деталі, м; g – прискорення вільного падіння деталі, м/с²);

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

$T_c = \frac{l}{S \cdot n}$ – якщо з'єднання є гвинтовим (l – довжина згвинчування, мм; S – крок різі, мм; $n = 500\text{--}1\ 000$ хв⁻¹ – частота обертання шпинделя гайковерта).

Для підвищення продуктивності складального обладнання циклові витрати зводять до мінімуму.

Технологічну продуктивність складального обладнання Q_m визначають за формулою

$$Q_m = \frac{1}{T_o + T_d + T_{\text{бц}}}, \quad (1.49)$$

де $T_{\text{бц}}$ – безциклові витрати, що враховують витрати часу на налагодження обладнання, заміну й налагодження оснащення тощо. Величину $T_{\text{бц}}$ визначають і вона стосується одного циклу.

У разі автоматичного складання необхідно обґрунтувати можливість збирання складальних одиниць вибраним методом досягнення точності, показати схеми базування деталей на позиціях складання та засоби, що забезпечують надходження деталей на складальну позицію без втрати орієнтації. У цьому разі необхідно користуватися рекомендаціями робіт [1–6].

Після визначення трудомісткості складання й для вдосконалення технологічного процесу складання будують циклограму складання [6]. Вигляд циклограми складання та спосіб її побудови залежать від організаційної форми складання (див. табл. 1.9). Наприклад, у разі складання перехідними бригадами циклограма повинна одночасно відображати виконання операцій на кожному стенді.

Таблиця 1.9 – Циклограма складання корпусу підшипника

Номер операції	Зміст операцій (переходів)	Норма часу, T_o , 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	} 1	
	<i>Складання вала</i>			
1	Установити вал 1 у пристрій.	0,20		
2	Установити підшипник 7 (перший) на вал 1.	0,50		(5,0) (0,81)
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 СК у корпус 2.	0,12		
3	Установити чотири шайби 12 на фланець 4 СК, чотири болти 13 і закрутити їх до упору.	1,80		
4	Установити вал 1 СК у корпус 2.	0,82		
5	Установити кришку 3	0,14		

Продовження таблиці 1.9

1	2	3	4	5	
6	Загвинтити й затягнути чотири болти 13 до появи гальмування валу 1СК.	3,60	}	(5,29) (0,52)	
7	Виміряти зазор δ 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 δ	2,9		} 1	
	Усього	15,89	3		
	<i>Загальне складання Складання корпусу підшипника</i>				
1	Установити корпус 2СК у пристрій.	0,2	}		
2	Установити шпонку 14 у паз валу 1СК та закріпити.	1,85		} 1	
3	Надягнути шків 6.	0,78			(5,07) (0,74)
4	Установити шайбу 11.	0,08			
5	Закрутити гайку 10 до упору.	0,36			
6	Кернити шифр виробу.	1,48			
7	Зняти виріб (корпус підшипника) із пристрою	0,32			
	Усього T_0	20,96	4	5,81	

Циклограма складання дає змогу:

– скорочувати цикл складання завдяки суміщенню окремих переходів;

– об'єднувати переходи технологічного процесу складання для формування операцій. Тривалість останніх повинна дорівнювати встановленому такту або бути кратною йому;

– виявляти потрібні зміни в технологічному процесі або оснащенні конструкції вузла для підвищення її технологічності [6].

Циклограму складання будують у прямокутних координатах (див. табл. 1.9). По вертикалі стисло записують переходи складання, по горизонталі – тривалість їх виконання. Потім технологічні переходи комплектують в операції, що дорівнюють трудомісткості такту складання або кратні йому. Потім за вузловим і загальним складанням за формулою (1.32) визначають кількість слюсарів-складальників.

Побудову циклограми складання рекомендовано починати з вузлового складання, а завершувати загальним складанням. У графі «Щільність роботи» зазначають кількість слюсарів-складальників, потрібних для виконання операції, не виходячи за межі такту складання. У графі «Час» репрезентують час у відрізках, що дорівнюють такту складання (у хвиликах). Штучний час виконання операції (переходу) позначають ■■■■, а час очікування – .

Приклад циклограми складання з посиланням на технологічний процес складання корпусу підшипника наведений у таблиці 1.9. Візьмемо програму $N = 40\ 000$ виробів на рік. Згідно з рекомендаціями таблиць 1.7 і 1.8 маємо великосерійний тип виробництва. Ураховуючи характер виробів (габарити й вагу) і тип виробництва, беремо поточну форму організації складального процесу зі стаціонарними складальними стендами для вузлового та загального складання.

Для пересування виробу використовуємо круглий стенд, що обертається навколо своєї осі. Робочі місця розміщені за колом стенда. Візьмемо режим роботи обладнання (потокової лінії) двозмінним. У цьому разі такт випуску T (у хвиликах) можна визначити за формулою

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

де $F_{d.o} = 3871$ год – дійсний фонд роботи обладнання [4, 5].

Визначимо кількість слюсарів-складальників на вузловому й загальному складанні за формулою (1.32):

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

Беремо $q_1 = 4$ особи.

Кількість слюсарів-складальників, потрібних для складання вузлів, – 3 особи, для загального складання виробу – 1 особа.

Аналіз циклограми визначив, що час складання можна зменшити як у результаті суміщення окремих переходів, так і скорочення їх тривалості. Одночасно з розробленням загального технологічного процесу складання виробу потрібно критично проаналізувати його конструкцію для виявлення всіх можливостей та особливостей запропонованого технологічного процесу, а також внести зміни для збільшення технологічності виробу або машини.

1.8 Критерії оцінювання техніко-економічної ефективності різних варіантів складання

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

Різні варіанти складання оцінюють за допомогою абсолютних та відносних критеріїв [12, 16].

Абсолютні критерії.

1. Трудомісткість складального процесу виробів T_e визначають як суму штучного часу за всіма m операціями складання. Для масового виробництва $T_e = \sum_{i=1}^m T_{ум.і}$, а для

серійного – $T_e = \sum_{i=1}^m T_{ум.к.і}$.

2. Технологічну собівартість складання $C_{ск}$ одного виробу обчислюють за формулою

$$C_{ск} = C_{зн.р} + C_{зн.н} + C_{об} + C_{ос}, \quad (1.50)$$

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

$C_{зн.н}$ – заробітна плата налагоджувальників;

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

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

Заробітну плату робітників розраховують за формулою

$$C_{зн.р} = \sum_1^m (T_{ум.с} \cdot Z_c + T_{ум.н} \cdot Z_n + T_{ум.р} \cdot Z_p), \quad (1.51)$$

де $T_{ум.с}$, $T_{ум.н}$, $T_{ум.р}$ – штучні часи складання, припасування й регулювання;

Z_c , Z_n , Z_p – заробітна плата за хвилину робітника під час виконання відповідно складання, припасування, регулювання.

Заробітну плату наладжувальників визначають за формулою

$$C_{зн.н} = \sum_1^{m_1} T_{н.з}^o \cdot Z_n, \quad (1.52)$$

де $T_{н.з}^o$ – підготовчо-завершальний час на одну операцію одного виробу;

Z_n – заробітна плата наладжувальника за хвилину;

m_1 – кількість переналагоджувальних складальних операцій.

Витрати, пов'язані з експлуатацією й амортизацією обладнання, обчислюють за формулою

$$C_{об} = \sum_1^{m_2} S_m \cdot T_{ум}, \quad (1.53)$$

де m_2 – кількість одиниць складального обладнання;

S_m – вартість однієї хвилини роботи складального обладнання.

Вартість S_m визначають за даними підприємства або розраховують за формулою

$$S_m = S_a + S_p + S_e + S_{ам.б} + S_{д.м}, \quad (1.54)$$

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, що належать до виробничої площі, зайнятої складальним обладнанням;

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

Витрати на амортизацію обладнання розраховують за формулою

$$S_a = \frac{S_{об} \cdot a}{F}, \quad (1.55)$$

де $S_{об}$ – балансова вартість обладнання;

a – частина амортизаційних відрахувань;

F – фонд роботи обладнання за рік.

Витрати на ремонт обладнання визначають за формулою

$$S_p = \sum_1^{m_2} K_{me} \cdot C_m \cdot R_m \cdot T_{ум}, \quad (1.56)$$

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

C_m – витрати на виконання малих ремонтів, оглядів і міжремонтне обслуговування обладнання першої категорії складності;

R_m – категорія складності ремонту обладнання.

Витрати на електроенергію обчислюють за формулою

$$S_e = \sum_1^{m_2} \frac{N_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot S_{еч} \cdot T_{ум}}{60}, \quad (1.57)$$

де N_y – установлена потужність електродвигунів, кВт;

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

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

Витрати на стиснуте повітря визначають за формулою

$$S_n = \sum_1^{m_2} \frac{r_n \cdot S_{cn} \cdot T_o}{60}, \quad (1.58)$$

де r_n – видаток повітря за годину (середній), м³;

S_{cn} – вартість 1 м³ повітря.

Витрати на амортизацію будівлі обчислюють за формулою

$$S_{ам.б} = \sum_1^{m_2} \frac{S_{ц} \cdot a_{ц} \cdot F_{об}}{F_{ц}}, \quad (1.59)$$

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

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

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

$F_{ц}$ – площа будівлі цеху.

Витрати на допоміжні матеріали визначають за формулою

$$S_{д.м} = \sum_1^{m_2} \frac{D_p \cdot T_{ум}}{60 \cdot F}, \quad (1.60)$$

де D_p – витрати на допоміжні матеріали на одиницю складального обладнання за рік;

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

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^m T_{ум.i} + T_z \cdot k + T_{mp} \cdot (2k + 1), \quad (1.61)$$

де m – кількість операцій складання виробу;

T_3 – час зберігання партії виробів на проміжному складі;
 k – кількість завантажень виробів на проміжний склад;
 T_{mp} – час транспортування партії виробів від складального
 станда до складу (і зворотно);

$(2k + 1)$ – величина, що додатково враховує транспортування
 виробу на склад готової продукції (значення k у самому
 не вигідному випадку дорівнює кількості операцій складання).

Тривалість циклу для серійного потокового виробництва під
 час складання n_n виробів із темпом t визначають за формулою

$$T_u = t \cdot (m + n_n). \quad (1.62)$$

4. Кількість одиниць складального обладнання $k_{об}$.
5. Кількість складальників $k_{ск}$.
6. Середній розряд складальника.
7. Енергозабезпечення робочих місць складальників.

Відносні критерії.

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

$$K_{сб} = \frac{C_{сб}}{C_в}, \quad (1.63)$$

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

$C_в$ – повна собівартість виготовлення виробу.

2. Коефіцієнти завантаження робочих місць $\eta_{зр}$ та потокової
 лінії $\eta_{зл}$ розраховують за формулами:

$$\eta_{зр} = \frac{k_p}{k_n}, \quad (1.64)$$

$$\eta_{3л} = \sum_1^m \frac{\eta_{3р}}{n_l}, \quad (1.65)$$

де k_p – розрахована кількість робочих місць на операції;
 k_n – прийнята кількість робочих місць ($k_p > k_n$).
 n_l – прийнята кількість робочих місць на лінії.

Прийнятні значення коефіцієнтів $\eta_{3р} = 0,9-0,95$, а $\eta_{3л} \geq 0,9$.

3. Коефіцієнт розчленування складального процесу визначають за формулою

$$k_{рч} = \frac{T_{св}}{T_в}, \quad (1.66)$$

де $T_{св}$ – трудомісткість вузлового складання;
 $T_в$ – трудомісткість складання виробу.

4. Коефіцієнт досконалості складального процесу виробу обчислюють за формулою

$$k_{дс} = \frac{T_{св} - T_{пр}}{T_в}, \quad (1.67)$$

де $T_{пр}$ – трудомісткість припасовувальних робіт, розбирання й повторне складання виробу.

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

5. Показник рівня механізації та автоматизації процесу складання розраховують за формулою

$$k_{ма} = \frac{T_{м} - T_{а}}{T_в}, \quad (1.68)$$

де T_m і T_a – тривалість складання виробу на механізованих та автоматизованих операціях.

6. Коефіцієнт пристосовування k_{me} типових елементів складального обладнання визначають за формулою

$$k_{me} = \frac{n_{me}}{n_{зк}}, \quad (1.69)$$

де n_{me} і $n_{зк}$ – кількість типових та загальна кількість елементів, що входять у конструкцію складального обладнання.

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

$$k_{мо} = \frac{1}{\left(1 + \Pi_{ц} \cdot \sum_1^{m_n} \frac{T_{np.i}}{n_{np}}\right)}, \quad (1.70)$$

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

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

m_n – кількість виробів у партії;

n_{np} – кількість функціональних елементів обладнання, переналагодження яких не суміщені в часі.

Питання для самоперевірки до розділу 1

1. Із чого потрібно починати розроблення технологічного процесу виготовлення виробу?
2. Дайте визначення виробу та його службового призначення.
3. Наведіть показники службового призначення машин (виробів).
4. Як відбувається перехід від параметрів якості продукції й процесу до параметрів зв'язків виконавчих поверхонь виробів?
5. Як вибирають метод досягнення потрібної точності виробу?
6. Що дає вибір методу досягнення потрібної точності замикальної ланки?
7. З якою метою для складання виробу розробляють схему складання?
8. Сформулюйте основні рекомендації щодо послідовності складання виробу. Зазначте стадії складального процесу.
9. Дайте визначення технологічності складання.
10. Як вибирають організаційний вид і форму складання виробу?
11. Які ознаки потокового складання виробів?
12. Які ознаки непотокового стаціонарного складання виробів?
13. Які ознаки групового складання виробів.
14. Як розраховують кількість робочих місць для непотокового стаціонарного складання?
15. Як розраховують кількість робочих місць для рухомого потокового складання?
16. Наведіть вид і форму організації складання виробів, використовуваних в одиничному виробництві.
17. За якими показниками вибирають засоби для покращання праці й збільшення її функціональної здатності?

18. Які транспортні засоби використовують у рухомому потоковому складанні?
19. За яким критерієм оцінюють складальні лінії?
20. Як нормують складальні процеси?
21. Як визначають трудомісткість складання виробів?
22. З якою метою складають циклограму складання виробу?
23. Яка документація відображає технологічний процес складання виробу?
24. За якими абсолютними критеріями оцінюють техніко-економічну ефективність різних варіантів складання виробу?
25. За якими відносними критеріями оцінюють техніко-економічну ефективність різних варіантів складання виробу?

2 МЕТОДИ Й ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ

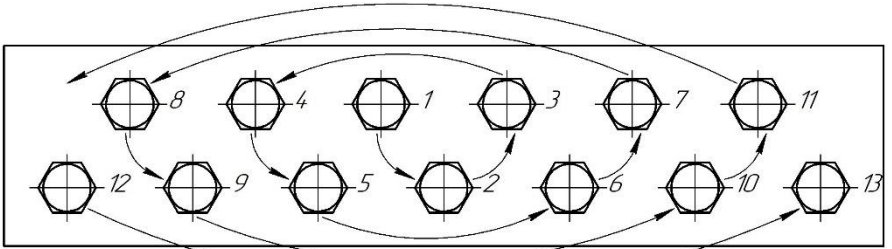
2.1 Похибки технологічних процесів складання

Похибки замикальних ланок РЛ виробів залежать від різних причин [1–6], таких як:

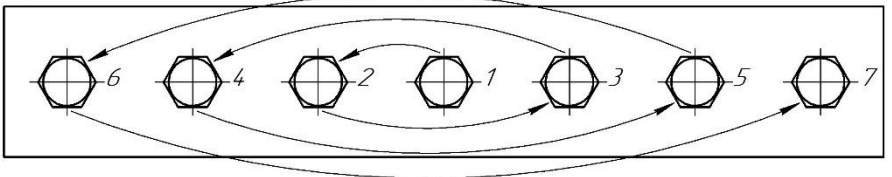
- помилки, що виникли під час орієнтації та фіксації досягнутого положення монтованих деталей;
- похибки встановлення калібрів і вимірювальних засобів;
- похибки регулювання, припасування й контролю точності положення деталей у машині;
- похибки засобів вимірювання;
- відносні зрушення деталей, які сталися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

Значну частину похибок під час складання виробів становлять пружні деформації деталей упродовж 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 й розбирання, наявністю різноманітних стандартних нарізних деталей та їх взаємозамінністю. Але затягнення гвинтів і гайок призводить до заміни баз деталей, густини з'єднання, виникнення остаточних деформацій (зминання) у точках контакту з'єднаних деталей. Затягувати гайки та болти необхідно в певній послідовності без перекосу. Затягнення варто 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.



Варіант №1



Варіант №2

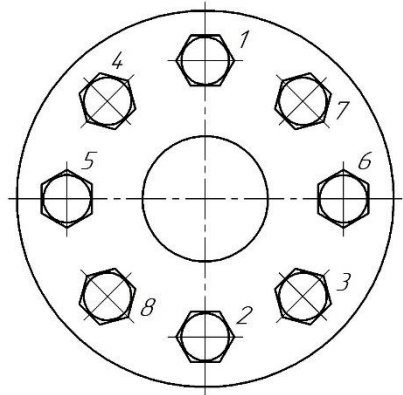
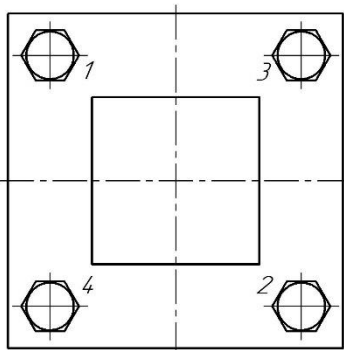
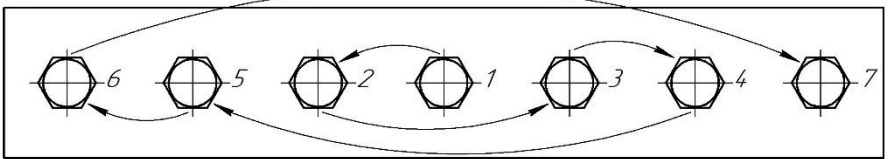


Рисунок 2.1 – Схеми послідовності затягнення гайок

Надійність нарізних з'єднань залежить насамперед від міцності та стабільності сили затягнення. Ступінь попереднього затягнення нарізного з'єднання обумовлений функціональним призначенням вузла (густиною стику, герметичністю тощо).

У затягнутому нарізному з'єднанні зовнішня сила P_6 діє на болт (шпильку) частково. Повне навантаження на болт Q_6 визначають за формулою [16]

$$Q_6 = Q_3 + P_3 = Q_3 + \chi \cdot P_6, \quad (2.1)$$

де Q_3 – сила попереднього затягнення;

$P_3 = \chi P_6$ – допоміжна сила, що діє на болт;

$\chi = 0,2-0,4$ – коефіцієнт основного навантаження [16].

Коефіцієнт χ основного навантаження для відповідальних нарізних з'єднань розраховують за формулою

$$\chi = \frac{\lambda_\delta}{\lambda_\delta + \lambda_\sigma},$$

де λ_δ та λ_σ – коефіцієнти податливості відповідно до з'єднаних деталей і болтів.

Найменша сила затягнення повинна задовольняти умову густини з'єднання (нерозчинення стику):

$$Q_3 = v \cdot P_6 \cdot (1 - \chi), \quad (2.2)$$

де v – запас густини, що забезпечує нерозчинення стику в разі збільшення зовнішнього навантаження у v разів.

Значення $v = 1,25-2$ – для постійних навантажень; $v = 2,5-4$ – для змінних навантажень. За умов герметичності $v = 1,25-2,5$ – за м'яких прокладок; $v = 2,5-3,5$ – за плоских металевих прокладок.

Напруження зтягнення σ_3 визначають за формулою

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

де $F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ – площа перерізу болта за внутрішнім діаметром різі d_1 .

Зазвичай верхню межу напружень натягнення беруть з урахуванням запасу міцності. Для відповідальних силових з'єднань $\sigma_3 = (0,6-0,7)\sigma_m$; для силових з'єднань і звичайних скріплених деталей $\sigma_3 = (0,7-0,8)\sigma_m$, де σ_m – межа текучості матеріалу болта (шпильки). Здебільшого під час розрахунків беруть $\sigma_3 = 0,7\sigma_m$ [16].

Під час експлуатації вузла попереднє зтягнення нарізного з'єднання змінюється внаслідок температурних деформацій з'єднань, релаксації напружень у стрижні болта (шпильки) та з'єднуваних деталей, пластичного зминання поверхонь, що контактують. Необхідно враховувати вплив цих факторів під час визначення сили попереднього зтягнення.

Прикладений під час зтягнення гайки (головки болта) крутний момент M (момент на ключі) урівноважується моментом M_p сил тертя в різі й моментом M_m сил тертя торця гайки (головки болта) та притиснутої до нього (неї) деталі. За сталих коефіцієнтів тертя f_p у різі та f_m на опорній поверхні гайки (головки болта) момент M є пропорційним силі зтягнення Q_3 , його визначають за формулою

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

де d_2 – середній діаметр різі;
 β – кут підйому гвинтової лінії;

$\rho' = \arctg(f_p')$ – кут тертя в різі;

$$f_p' = \frac{f_p}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)} - \text{зведений коефіцієнт тертя в різі};$$

α – кут профілю різі;

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

поверхні гайки (головки болта);

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

Перший член рівняння (2.4) означає момент M_p , другий – момент M_m . Коефіцієнти тертя f_p та f_m у формулі (2.4) залежать від наявності й виду покриття, мастила, стану поверхонь тертя, повторюваності складання, швидкості загвинчування тощо.

Зазвичай коефіцієнти f_p і f_m визначають залежно від виду покриття та мастильних матеріалів (див. табл. 2.1) [6].

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт тертя в нарізних з'єднаннях за різних покриттів та мастильних матеріалів

Покриття болтів і гайок	Коефіцієнт тертя	Без мастильного матеріалу	Машинне мастило	Солідол	Машинне мастило з додаванням 20 % MoS ₂
Без покриття	f_p	0,4 ^{+0,12} _{-0,08}	0,21 ^{+0,03} _{-0,02}	0,19 ^{+0,02} _{-0,03}	0,13±0,02
	f_m	0,2 ^{+0,04} _{-0,06}	0,12±0,02	0,13 ^{+0,01} _{-0,02}	0,09 ^{+0,01} _{-0,02}
Оксидування	f_p	0,64 ^{+0,02} _{-0,14}	0,45±0,06	0,44 ^{+0,05} _{-0,07}	0,18±0,03
	f_m	0,34 ^{+0,09} _{-0,14}	0,26 ^{+0,03} _{-0,07}	0,26 ^{+0,03} _{-0,07}	0,09±0,02
Цинкування	f_p	0,4 ^{+0,08} _{-0,16}	0,19 ^{+0,01} _{-0,04}	0,17 ^{+0,02} _{-0,03}	0,17 ^{+0,02} _{-0,03}
	f_m	0,09 ^{+0,01} _{-0,02}	0,10 ^{+0,02} _{-0,01}	0,09 ^{+0,02} _{-0,01}	0,08 ^{+0,01} _{-0,02}

Продовження таблиці 2.1

Покриття болтів і гайок	Коефіцієнт тертя	Без мастильного матеріалу	Машинне мастило	Солідол	Машинне мастило з доданням 20 % MoS ₂
Фосфатування	f_p	0,02 ^{+0,03} _{-0,05}	0,18 ^{+0,02} _{-0,03}	0,17±0,02	0,16 ^{+0,01} _{-0,02}
	f_m	0,10 ^{+0,02} _{-0,01}	0,11 ^{+0,02} _{-0,01}	0,11±0,02	0,09 ^{+0,01} _{-0,02}
Кадміювання	f_p	0,29 ^{+0,03} _{-0,05}	0,21 ^{+0,04} _{-0,06}	0,18 ^{+0,04} _{-0,03}	0,14 ^{+0,01} _{-0,03}
	f_m	0,17 ^{+0,07} _{-0,05}	0,11 ^{+0,04} _{-0,06}	0,11 ^{+0,02} _{-0,06}	0,06 ^{+0,01} _{-0,02}

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

Найбільшу Q_{max} і найменшу Q_{min} фактичні сили затягнення визначають за формулами

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

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

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

$$M_{\max} = \frac{v_m \cdot \sigma_m \cdot F \cdot \left(\frac{d_2}{2} \cdot f_{p\min} + \frac{D_m}{2} \cdot f_{m\min} \right)}{\sqrt{1 + 0,75 \cdot \left(d_2 \cdot \frac{F}{W_p} \cdot f_{p\max} \right)^2}}, \quad (2.7)$$

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

F – площа поперечного перерізу болта;

W_p – полярний момент інерції перерізу болта.

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

$$W_p = 0,5\pi \cdot \left(\frac{d}{2} \right)^3, \quad (2.8)$$

де d – зовнішній діаметр болта.

Найменше значення моменту M_{\min} визначають з умови нерозчинення стику за умов найменшої сили затягнення за формулою

$$M_{\min} = 0,5 \cdot F_1 \cdot \sigma_m \cdot \left(\frac{d_2}{2} \cdot f_{p\max} + \frac{D_m}{2} \cdot f_{m\max} \right). \quad (2.9)$$

Під час складання відповідальних нарізних з'єднань силу затягнення контролюють. Контроль сили за моментом затягнення найбільш поширений у виробництві зважаючи на просту реалізацію, високу продуктивність та порівняно високу точність. Його широко застосовують у різних типах виробництва, особливо для складання з'єднань, що мають малу податливість. У разі методу контролю сили за моментом затягнення похибка

вимірювання моменту затягнення не перевищує 15 % за умови точності одержання сили затягнення не більшої за 25 %. Низьку точність методу можна пояснити великим розкидом значень коефіцієнтів тертя f_m , на торці гайки та в різі f_p .

Для забезпечення однакової й потрібної сили затягнення гвинтів, болтів, гайок використовують ключі, гвинто- та гайковерти з пристроями, що обмежують діючі крутні моменти.

Ефективним є використання пристроїв, що безпосередньо вимірюють та обмежують силу затягнення гвинта або гайки.

Досягнення точності виробів методами регулювання або припасування супроводжується контролем точності виконуваних операцій. Контроль вимірювальними засобами або калібрами під час складання пов'язаний із виникненням похибок статичного налагодження. Ці похибки повністю переносяться на складаний об'єкт.

Причинами похибок під час відносного зрушення деталей у межах часу між досягнутим положенням і фіксацією досягнутого положення, є:

- удари, поштовхи, струси, яким піддається об'єкт складання впродовж транспортування на робочі місця, на яких відбувається фіксація положення деталей, досягнутого на попередніх операціях;
- удари, поштовхи, коли об'єкт складання встановлюється в пристрій для свердлування отворів під штифти;
- сили різання, виниклі впродовж свердлування отворів під штифти.

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

2.2 Види контролю

Під час складання виробів перевіряють:

- точність взаємного положення складальних деталей і вузлів у виробі;
- наявність деталей (у виробках), пристроїв, накопичувачів, лотків тощо;
- точність відносного розміщення складальних деталей на позиціях складання;
- зазори й натяги в з'єднаннях;
- зусилля затягнення нарізних з'єднань, щільність та якість заклепування, зусилля запресованих деталей тощо.
- герметичність з'єднань;
- правильне функціонування складених частин виробів (легкість і швидкість обертання, точність переміщень, якість контакту тощо);
- зрівноваженість деталей та вузлів у виробі;
- вигляд виробів зовні (виявлення ризик, забоїн, корозії, окалини, забруднених поверхонь деталей; хитання деталей, легкість руху, шум зубчастих коліс перевіряють складальники й контролери на контрольних місцях).

Під час складання також контролюють:

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

Отже, 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).

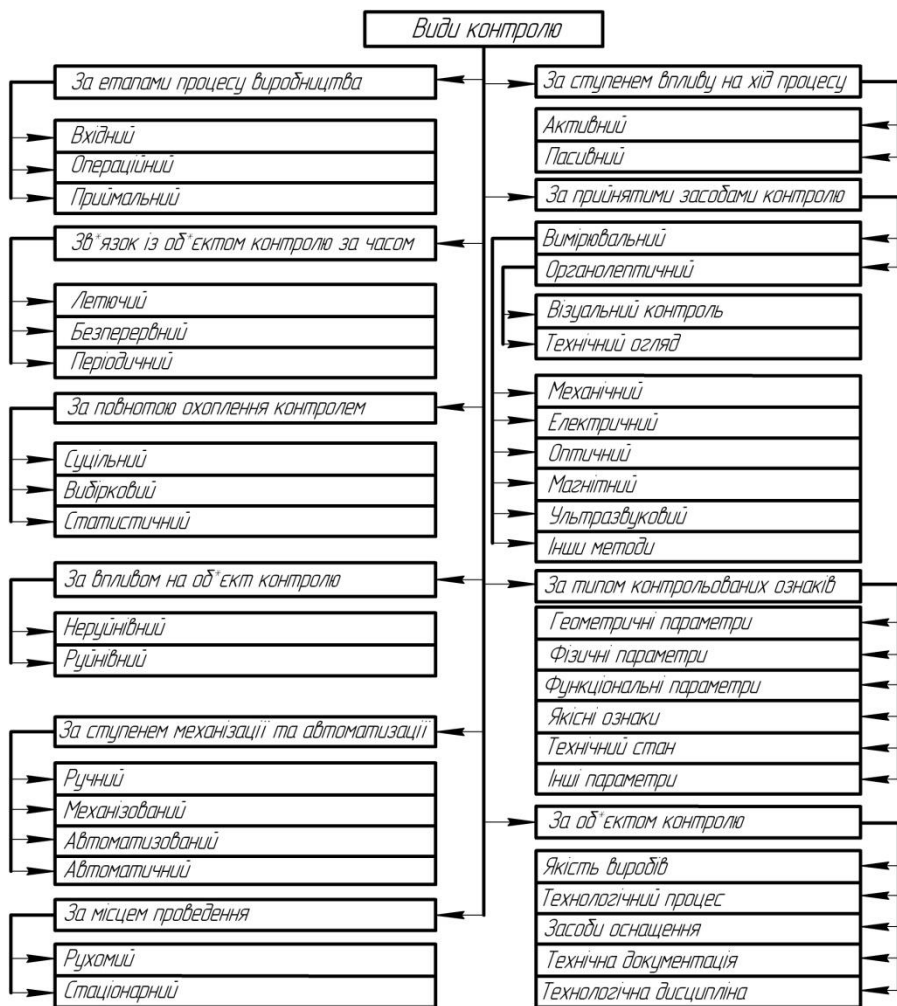


Рисунок 2.2 – Класифікація видів контролю, застосовуваних у складальному виробництві

Залежно від об'єкта контролю розрізняють контроль:
 – якості виробів (кількісних та якісних показників продукції);

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

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

Вхідному контролю підлягають компоненти, що 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 завершення.

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

Зважаючи на *об'єкт контролю за часом*, вибирають летючий, безперервний і періодичний контроль.

Летючий контроль застосовують випадково й здійснюють раптово безпосередньо на робочому місці складання.

Безперервний контроль проводять постійно під час виконання технологічного процесу складання. За час складання безперервно надходить інформація контрольованих параметрів, що дає змогу змінювати або корегувати їх. Здебільшого такий контроль здійснюють автоматичними або півавтоматичними засобами контролю.

Періодичний контроль проводять через установлений проміжок часу. Цей вид контролю застосовують для перевірки технологічного процесу складання та якості виробів у сталому виробництві, під час якого діють стабільні технологічні процеси складання.

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

Суцільному контролю підлягають усі складальні вироби. Цей контроль здійснюють за підвищеними вимогами до їх якості. Під час контролю не допускається пропущення дефектів у виробі, урахувавши те, що виконання складальних операцій неможливо перевірити на наступних етапах складання або випробування виробів. Суцільний контроль проводять під час операційного й приймального контролю. Застосування такого контролю у масовому (великосерійному) виробництві може призвести до збільшення трудомісткості його виконання, що робить технологічний процес складання економічно недоцільним. У цьому разі виникає потреба в розробленні спеціальних методів та організації вибіркового контролю.

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

Статистичний контроль якості здійснюють за статистичними методами [14, 16].

Залежно від *прийнятих засобів контролю* розрізняють вимірвальний та органолептичний контроль.

Вимірвальний контроль проводять за допомогою засобів вимірювання. Розрізняють механічний, електричний, оптичний, магнітний, ультразвуковий та ін. методи контролю.

Органолептичний контроль здійснюють за допомогою органів чуття людини (зору, слуху, дотику тощо). Цей контроль відображає інформацію без вираження її чисельним показником. До різновиду органолептичного контролю належать візуальний контроль органами зору й технічний огляд, який проводять органами чуття.

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

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

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

За *місцем проведення* контроль буває рухомим і стаціонарним.

Рухомий контроль проводять безпосередньо на робочому місці складання виробу (вузла). Контролюють складання великих виробів, що важко й незручно транспортувати до робочих місць складання. Під час складання контролери використовують переносні засоби контролю.

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

Залежно від *типу ознак контролю* контролюють такі параметри: геометричні, фізичні, функціональні тощо; технологічний процес; засоби технологічного оснащення; технічну документацію; технологічну дисципліну.

За *ступенем механізації й автоматизації* розрізняють контроль: ручний, механізований, автоматизований та автоматичний.

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

використанням засобів автоматизації без участі людини (крім функцій умикання й вимикання засобів контролю).

Технічний контроль складання є процесом технічного контролю – сукупністю технологічних операцій технічного контролю, виконуваних під час складання виробу або його складової частини. Ці процеси розробляють для вхідного, операційного й приймального контролю. Оптимальний варіант процесу (операції) технічного контролю вибирають за розрахунками економічної ефективності. На процеси контролю оформлюють технологічні паспорти, журнали контролю технологічних процесів.

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

Розроблення процесів (операцій) технічного контролю охоплює такі основні етапи:

1. Підбір та аналіз вихідних матеріалів для розроблення процесів контролю. На цьому етапі використовують конструкторську й технологічну документацію, програму та термін виготовлення виробів, перспективність методів і процесів контролю, інструкції на виконання контролю, опис прогресивних методів контролю та ін.

2. Класифікація й вибір 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. Вибір діючого типового, групового процесу технічного контролю або пошук аналогів одиничного процесу технічного контролю.

5. Складання технологічного маршруту процесу технічного контролю.

6. Вибір контрольованих параметрів для визначення номенклатури параметрів складального виробу, що підлягають технічному контролю.

7. Розроблення технологічних операцій технічного контролю й визначення обсягу контролю.

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

9. Вибір методів і засобів контролю.

10. Розрахунок точності, продуктивності й економічної ефективності варіантів процесів (операцій) контролю. Вибір оптимальних варіантів контролю.

11. Оформлення документів на процеси (операції) контролю з урахуванням вимог чинних стандартів та (або) галузевих нормативів.

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

Потребу проведення кожного із зазначених етапів розроблення процесів (операцій) технічного контролю визначає розробник залежно від вимог виробництва або встановлюють стандартами підприємства. Залежно від специфіки виробництва

й видів контрольованих виробів можливо включення допоміжних етапів розроблення процесів (операцій) контролю.

2.3 Методи контролю точності виробів та їх вузлів

Контролю піддають вузли виробів на відповідність точності форми, відносного положення й руху виконавчих поверхонь установленим нормам [4, 5, 11, 14].

Ступінь наближення вимірюваного значення до дійсного залежить від факторів:

- розкриття суті контрольованого параметра та явищ, що спричинили похибки;
- 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 зазначених факторів. Основні терміни, що характеризують відхилення форми, відносне положення й переміщення поверхонь деталей, наведені в ДСТУ 2498-94.

Згідно з першим пунктом ДСТУ ГОСТ 2.308:2013 визначає радіальне биття як наслідок сумісного відхилення від циліндричної поверхні та незбігу осі контрольованої поверхні з віссю обертання деталі.

Незбіг охоплює відносне зміщення й повертання осей 1 та 2 у просторі (див. рис. 2.3). Тому робити висновок про радіальне биття будь-якої поверхні деталі можна не загалом, а лише щодо перерізу, в якому здійснюється контроль.

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

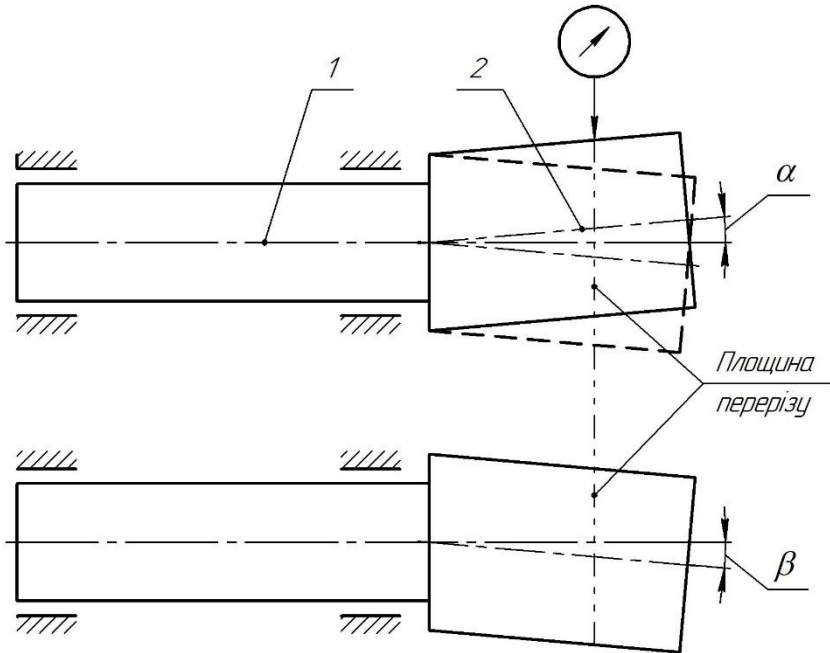
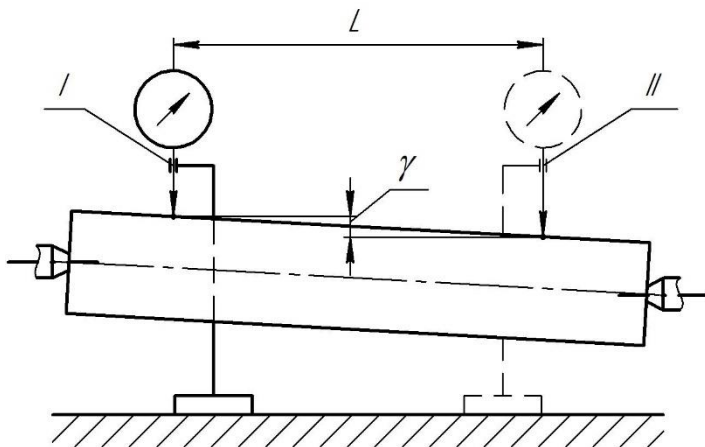


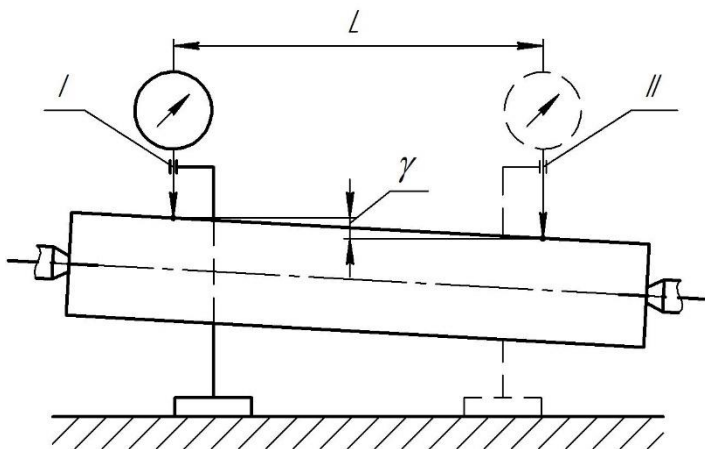
Рисунок 2.3 – Співвісність шийок вала
у двох координатних площинах

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

Проте такі показники індикаторів під час повертання осі оправки щодо напрямних станини виходять за абсолютної співвісності центрів (див. рис. 2.4 б). Тому потрібно забезпечити паралельність осей отворів центрів у шпинделі й пінолі в суворіших межах порівняно з допустимим відхиленням від співвісності центрів.



a



б

Рисунок 2.4 – Перевірка співвісності центрів токарного верстата за допомогою оправки: I – довжина виміру; γ – різниця показань індикаторів; I і II – початкове й кінцеве положення індикаторів під час вимірювання

Контроль певних параметрів потребує матеріалізації геометричних уявлень (наприклад, відстані між осями двох отворів у деталях машин). Геометричні уявлення матеріалізують 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 й роблять відповідний перерахунок.

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

2.4 Випробування складених виробів

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

Мета випробування машин – перевірка правильності роботи та взаємодії всіх механізмів машин, потужності, продуктивності й точності [4, 5, 11, 16].

Розрізняють такі види випробувань: приймальні, контрольні та спеціальні.

Приймальні випробування. За цим видом випробувань виявляють фактичні експлуатаційні характеристики виробів, а також правильність роботи й взаємодії різних механізмів, пристроїв і рухомих частин виробу. Розрізняють:

– *випробування за холостим рухом.* Перевіряють усі вмикання та перемикання органів керування механізмом або машиною, правильність їх взаємодії й надійність блокування, безвідмовність дії та точність 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, що дає змогу змінювати навантаження. До двигуна приєднують також систему охолодження, мастильну й паливну апаратуру. За результатами випробувань визначають експлуатаційні характеристики двигуна, витрати пального, мастила.

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

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

– *випробування жорсткості виробу.* Здебільшого випробовують верстати за нормами жорсткості відповідними методами, обумовленими державними стандартами. Наприклад, «виробничим» та «статичним» методами визначають жорсткість технологічної системи токарного верстата, і ці кількісні показники записують у паспорт верстата [2, 6];

– *випробування потужності виробів.* Перевіряють величину потужності всіх виробів в одиничному виробництві. Не випробовують виробів простої конструкції, що мають значний запас потужності. Мета цього випробування – визначення ККД за найбільшим допустимим навантаженням;

– *випробування точності виробів.* Випробовують вироби, що виробляють, сортують, контролюють продукцію (верстати, преси та ін.). Точність оцінюють за результатами їх дії – точністю виготовлення зразків деталей, сортування, контролю.

Токарні, фрезерні, шліфувальні верстати випробовують на точність згідно з державними стандартами. Для оригінальних виробів програму й режими випробувань розроблюють і

затверджують спеціальними положеннями. Вони залежать від їх призначення, конструкції й потрібної точності.

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

Кожний вид випробувань здійснюють за спеціальною програмою, розробленою й узгодженою із замовником. Вироби випробовують на універсальних, спеціалізованих або спеціальних стендах. Результати випробувань реєструють у супроводжувальній карті, у якій зазначають усі виявлені дефекти. Після усунення виявлених дефектів виріб випробовують повторно. Випробування вважають задовільним, якщо за період його проведення виріб працював без зупинення, а вузли й механізми, що підлягали перевірці, виконували свої функції без відхилень від норми та правильної взаємодії всіх рухомих частин.

Під час автоматичного випробування, виріб автоматично встановлюють на стенд, на якому він з'єднується із комунікаціями, а потім виконують повну програму випробувань із автоматичним записуванням результатів.

Контрольні випробування. Контрольним випробуванням піддають вироби, у яких раніше були виявлені дефекти. Якщо встановлені технічні вимоги для виробу дуже високі, то після складання їх випробовують, а потім розбирають (повністю або частково), перевіряють стан деталей, вузлів і механізмів. Потім виріб знову складають та 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 дослідити явища, що виникають у процесі роботи виробу. Програма таких випробувань залежить від мети проведення досліджень. Випробовування здійснюють на спеціальних стендах. Потрібно зазначити, що більш повну інформацію про якість виробу можна одержати після систематичних спостережень замовників, а також їх рекламацій, що надійшли впродовж експлуатації цього виробу.

Надану інформацію кодують і вводять в ЕОМ. Після її обробки 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 використання вимірювальних приладів, спроможність швидкої та якісної обробки їх результатів, максимальне використання стандартних та уніфікованих засобів випробувань. Засоби повинні забезпечити:

- потрібні навантаження, що відповідають експлуатаційним;
- стабільність навантаження й потрібну точність випробувань;
- спроможність переналадження у разі зміни об'єктів виробництва;
- простоту та зручність їх обслуговування.

2.5 Фарбування виробів

Мета фарбування виробів – захистити металеві поверхні від корозії та надати їм декоративного вигляду зовні. Технологічний процес фарбування передбачає такі основні операції:

- підготовку поверхні;
- ґрунтування;

- шпаклювання;
- нанесення лакофарбових матеріалів;
- сушіння покритих поверхонь;
- оздоблювання поверхонь.

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

Після підготовки поверхню ґрунтують для недопущення її окиснення й забруднення. Перед цим із неї видаляють шар жиру та оксидів. Ґрунтовку накладають рівномірним шаром товщиною 12–20 мкм. Якщо вона фосфатувальна, то товщина шару становить 5–8 мкм. Потім поверхню з ґрунтовим шаром висушують (застосовують спеціальні режими гарячого сушіння).

Шпаклювання варто проводити після ґрунтування для замазування невеликих поглиблень, раковин, подряпин та інших дефектів. Воно доцільно тоді, коли іншими методами неможливо виправити дефекти поверхонь. Часто потрібно вирівняти площину поверхні. Для цього шпаклівку наносять декількома тонкими шарами. Кожний шар наносять лише після повного висушування попереднього. Загальна товщина шпатльованої поверхні не перевищує 0,5–0,6 мм. Після шпаклювання поверхні висушують, а потім ретельно шліфують.

Лакофарбові матеріали наносять після операцій ґрунтування й шпаклювання (якщо остання потрібна). Згідно з вимогами до вигляду зовні та умовами експлуатації виробу визначають кількість шарів і товарний знак лакофарбового матеріалу. Наносять емаль способом розпилювання. Кожний наступний шар наносять на добре висушений попередній. Інколи

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

Щоб фарбована поверхня мала найпривабливіший вигляд (наприклад, рівномірний дзеркальний блиск), останній шар покриття полірують спеціальною полірувальною пастою. Лакофарбові покриття полірують (шліфують) електро-механічними й 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 з високою напругою, за допомогою аерозольних балонів, у розпилювальних камерах.

До розпилювальних приладів та 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 здійснюють на стаціонарних приладах із дистанційним керуванням, у які лакофарбовані матеріали надходять централізовано по трубопроводах від насосної станції.

2.6 Сушіння лакофарбових поверхонь виробів

Сушіння є складним хімічним процесом, що охоплює випаровування розчину та окиснення або полімерізацію плівки. Розрізняють природне і штучне сушіння.

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

Штучне сушіння виконують різними способами передавання тепла до пофарбованої поверхні. До цих способів належать конвективне сушіння, інфрочервоне випромінювання

(терморадіаційне сушіння), сушіння індукційним струмом високої й промислової частоти, ультрафіолетове випромінювання. У промислових умовах використовують сушильні камери конвективного, терморадіаційного та терморадіаційно-конвективного типів.

Конвективні сушильні камери – це закриті металеві прямокутні короби з дверцятами або відкритими прорізами. Камери містять нагрівальні прилади й залежно від виду теплового носія бувають водяними, паровими, електричними або газовими. Камери обігрівають нагрітим повітрям, що безперервно циркулює.

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

Питання для самоперевірки до розділу 2

1. Наведіть похибки технологічних процесів складання.
2. Сформулюйте особливості нарізного з'єднання деталей у виробках.
3. Запишіть формули з визначення найбільшої й найменшої сил затягнення нарізного з'єднання деталей.
4. Запишіть формули з визначення найбільшого та найменшого крутних моментів нарізного з'єднання деталей.
5. Зазначте характеристики виробу, що перевіряють під час його складання.
6. Наведіть види контролю, застосовувані для контролювання якості складання виробів.
7. Охарактеризуйте етапи розроблення процесів (операцій) технічного контролю.
8. Зазначте методи контролю точності виробів та їх вузлів.
9. Наведіть види випробувань складених виробів.
10. Для чого проводять контрольні та спеціальні випробування?
11. За якими показниками вибирають засоби випробувань?
12. Які основні операції технологічного процесу фарбування виробів?
13. Зазначте види сушіння лакофарбових поверхонь виробів та сформулюйте особливості їх реалізації.

3 ОСОБЛИВОСТІ ДОСЯГНЕННЯ ПОТРІБНОЇ ТОЧНОСТІ ТИПОВИХ ВУЗЛІВ МАШИН

3.1 Монтаж валів

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

Основними показниками якості монтажу вала є:

- легкість обертання вала в підшипниках;
- відсутність вібрацій під час обертання;
- радіальне й осьове биття, що не перевищує встановленої межі;
- точність положення вала щодо основних баз корпусу, у якому він змонтований.

Різниця в монтажі залежить від виду опор вала, що поділяють на опори ковзання й опори кочення [14, 16, 20].

Монтаж валів на опорах ковзання. Умовою, що визначає якість роботи вала, є потрібний зазор між опорними шийками вала та робочими поверхнями втулок підшипників. Величина зазору обумовлена вимогами роботи вала відповідно до службового призначення. Найменший зазор визначає точне центрування й найвищу вібростійкість, а найбільший – великі кутові швидкості та невеликі тиски в підшипниках.

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

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

До сьогодні немає обґрунтованої методики задання допусків на відхилення форми й відносного положення робочих поверхонь

підшипників та опорних шийок вала. Зазначені відхилення збільшують небезпеку заклинювання, тугого руху вала під час обертання, якщо встановлені найменші зазори в підшипниках [14, 16, 21].

Основна похибка, що виникає під час обертання вала в підшипниках, – радіальне биття вала. Причиною радіального биття вала є відхилення від співвісності з поверхнями опорних шийок і похибки форми опорних шийок валів та отворів підшипників у поперечному перерізі.

Під час монтажу вала на двох опорах радіальне биття будь-якої його поверхні необхідно розглядати як наслідок биття вала щодо кожної опори [14, 16, 20].

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

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

A_1 і B_1 – відхилення від співвісності поверхні конічного отвору з опорними шийками вала;
 A_2 та B_2 – відхилення від співвісності опорних шийок шпинделя з отворами підшипників.

За умови збігу складових радіального биття вала в одній площині спільна похибка ε становить

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

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

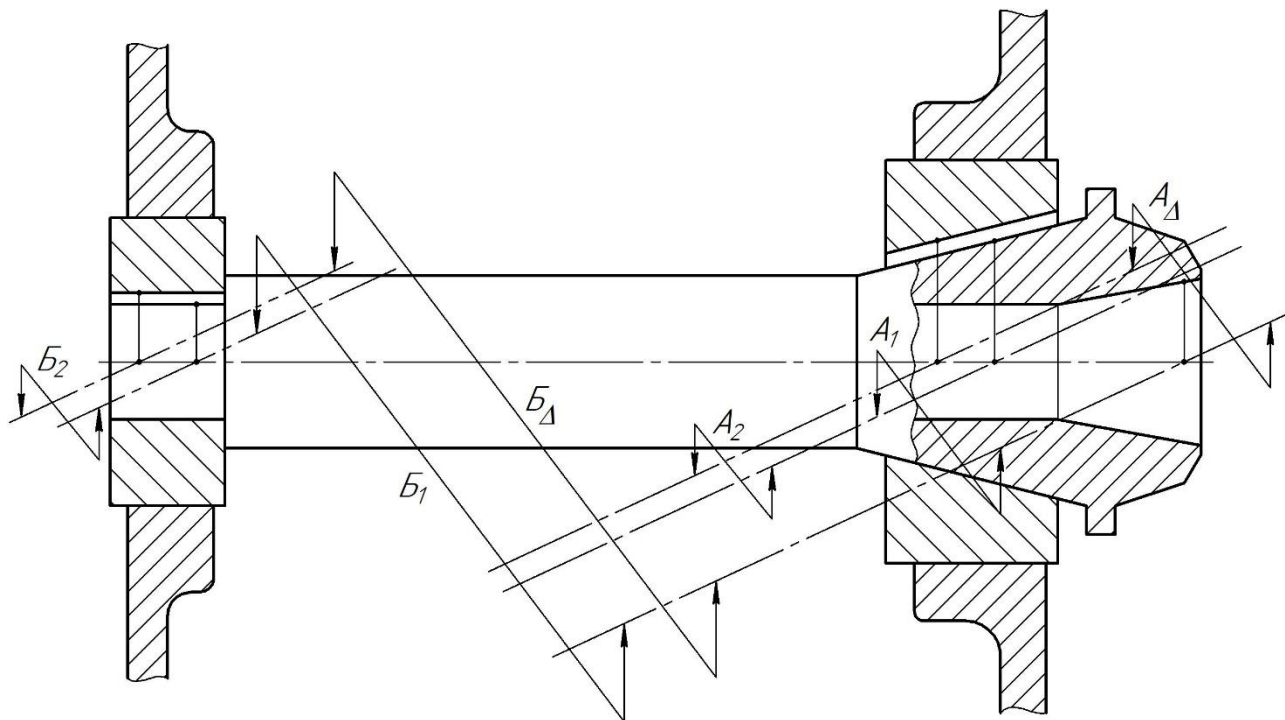


Рисунок 3.1 – Розмірні ланцюги, що визначають радіальне биття кінцевого отвору шпинделя, установленого на опорах ковзання

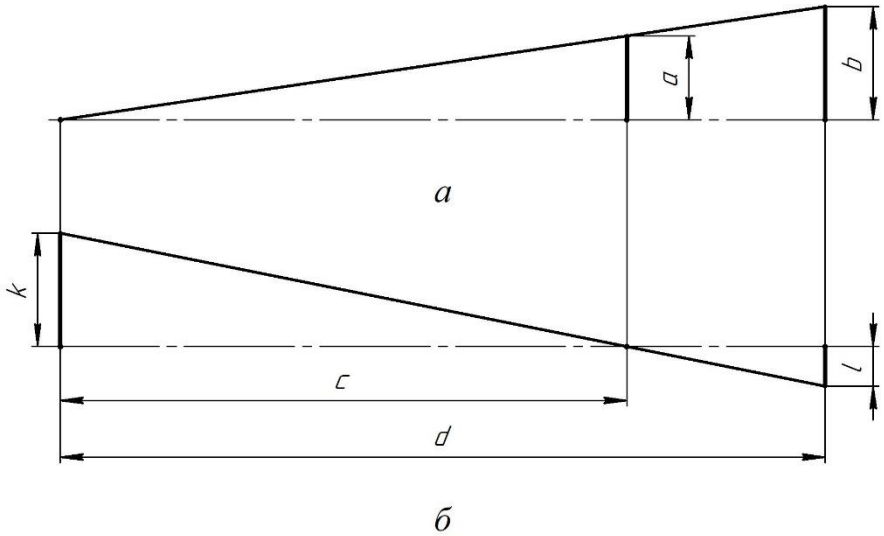


Рисунок 3.2 – Схема для визначення биття поверхонь вала:
 а – передній кінець вала; б – задній кінець вала

З огляду на подібність трикутників биття переднього кінця вала « *b* » збільшується в 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;

$$q_1 = \frac{d}{c}.$$

Навпаки, биття вала лише в 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 $q_2 = \frac{d-c}{c}$.

Розглянуті залежності необхідно враховувати під час призначення допусків із запровадженням відповідних коефіцієнтів (передавальних відношень) у рівняннях РЛ «А» і «Б»:

$$A_{\Delta} = A_1 + A_2 \cdot q_1,$$

$$B_{\Delta} = B_1 + B_2 \cdot q_2.$$

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

У більшості машин потрібні зазори між торцями опор і вала забезпечують під час складання методом регулювання. Тому для лінійних розмірів валів і деталей опор установлюють досить широкі допуски.

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

- осьового переміщення немає, якщо неперпендикулярність має лише одна зі стикових торцевих поверхонь (див. рис. 3.3 а, б);
- осьове переміщення вала можливе, якщо кожна зі стикових торцевих поверхонь має відхилення від перпендикулярності (див. рис. 3.3 в);
- через відхилення від перпендикулярності двох стикових поверхонь в утворюванні осьового переміщення вала бере участь лише найменше відхилення ω_1 (див. рис. 3.3 в);

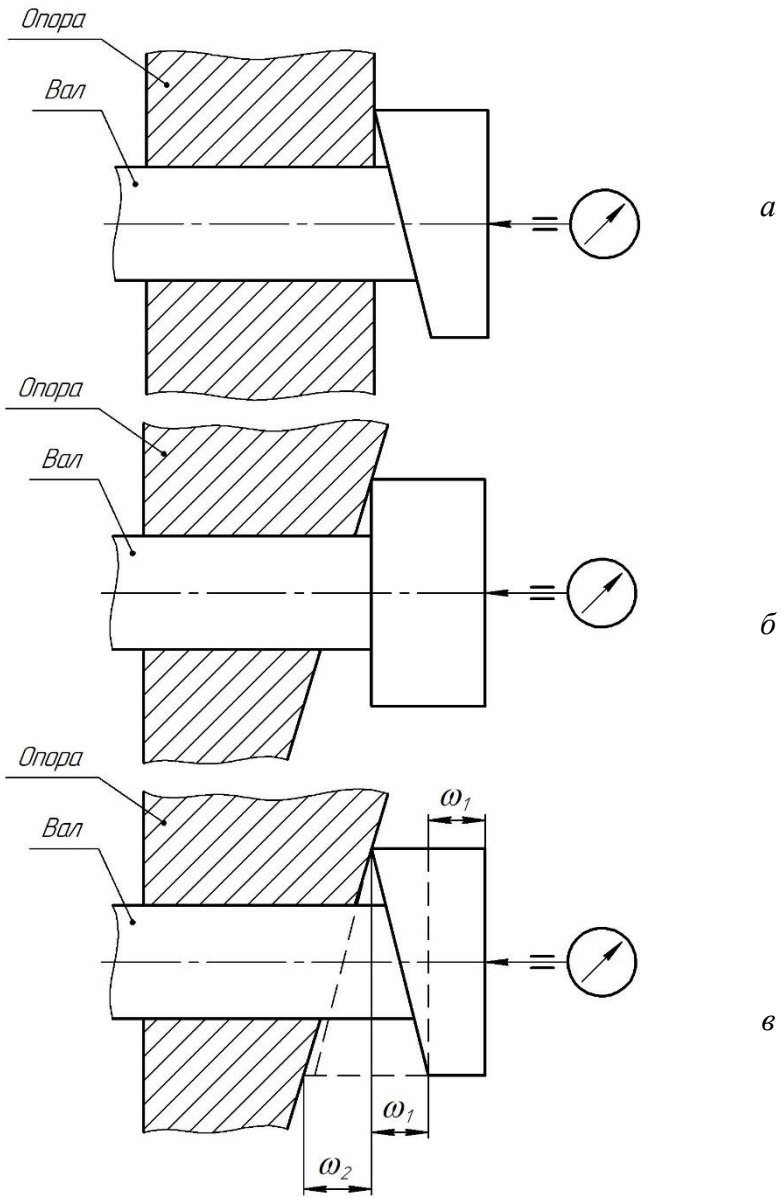


Рисунок 3.3 – Виникнення осевого переміщення

– відхилення від перпендикулярності стикових торців вала й опор щодо осі обертання вала призводить до появи «тугого руху» вала або його заклинювання (див. рис. 3.4).

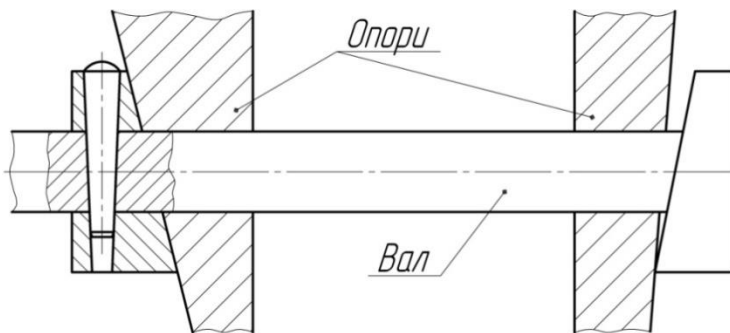


Рисунок 3.4 – Заклинювання вала

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

Зменшення осьового биття вала досягають:

– зменшенням допуску на відхилення від перпендикулярності одного торця щодо осі обертання вала в кожній парі стикових деталей;

– скорочення кількості пар стикових торцевих поверхонь.

Підшипники ковзання бувають суцільними й рознімними. У першому разі підшипник є суцільною втулкою, яку пресують у корпус, а в другому кожна втулка складається з двох частин – вкладишів. Пресування суцільних втулок у корпус відбувається в результаті їх деформування. Власні похибки корпусу та втулок, а також деформації втулок потребують виправлення розмірів, форм і відносного положення робочих поверхонь втулок після їх установлення в корпус. Зазначені похибки виправляють комбінованими розвертками або розточуванням. Іноді фінішним методом обробки отворів втулок після пресування є калібрування

кулькою або пуансоном. Запропоновані методи оброблення забезпечують точний розмір, форму й шорсткість поверхонь отворів, але не виправляють їх положення щодо інших деталей виробу.

Похибки втулок можна виправити шабруванням. Цей метод оброблення частіше застосовують у дрібносерійному й одиничному виробництвах, а також під час виготовлення важких машин, у яких підшипники мають великі розміри. Для шабрування використовують спеціальні оправки з нанесеною на їх поверхню фарбою. Його виконують до появи рівномірного розподілення фарби на 80 % оброблюваної поверхні втулки. За підвищеними вимогами до точності монтажу валів, підшипники шабрують до появи «блиску», що з'являється на поверхнях отворів втулок під час обертання в них нефарбованої оправки. Ще за високими вимогами після шабрування з'єднувальні поверхні вала та втулки притирають. Спочатку це роблять зі спеціальним притиром – «фальшивим» валом, а завершують на робочому валу.

За конструкцією підшипники бувають із невзаємозамінними й взаємозамінними вкладишами. У першому разі антифрикційний шар підшипника оброблюють після встановлення вкладиша в корпус за одним із розглянутих методів обробки. Матеріалом антифрикційного шару є бабіт (сплав на олов'яній і свинцевій основі). За ДСТУ EN 611-1:2004, ДСТУ EN 611-2:2004, олов'яним сплавом із сурмою та міддю є бабіти марок Б88 і 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 та інші належать до свинцевих сплавів з оловом і сурмою. У цих сплавах додатково є нікель Ni , телур Te , кадмій Cd , арсен. Зазвичай на залізничному транспорті використовують кальцієві бабіти (сплав свинця з кальцієм та натрієм). Кальцієві бабіти типові для підшипників буксів вагонних коліс, колінчастих валів дизельних потягів. Але сучасні двигуни важковантажених і швидкісних потягів не мають підшипників ковзання. Олов'яністі бабіти мають гарну

теплопередачу й корозійну стійкість, тому їх використовують у підшипниках компресорів, турбін, судових двигунів, електричних машин.

За рекомендаціями [6] товщина шару бабіту в підшипниках ковзання така:

– для олов'янистого бабіту $0,25+0,005d$;

– для свинцевистого бабіту $0,5+0,01d$,

де d – діаметр підшипника.

Мастильний зазор розраховують у відсотковому відношенні до діаметра вала. Він 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. Зважаючи на це, якість монтажу відіграє вирішальну роль у досягненні потрібної точності підшипника.

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

У разі неправильного прилягання вкладиша до корпусу або кришки порушується тепловіддача від вкладиша до корпусу, температура вкладиша зростає та створює небезпеку оплавлення підшипників.

У разі встановлення невзаємозамінних вкладишів щільність їх прилягання до корпусу й кришки досягають за завищеними натягами ($0,05-0,1$ мм). Посадочні місця під взаємозамінні вкладиші оброблюють із підвищеною точністю, а діаметральний натяг роблять меншим, щоб він не впливав на точність робочих поверхонь. Вкладиші підбирають за місцем із таким розрахунком, щоб після притискування до поверхні місця їхніх виступів стирчали над площиною стику кришки на $0,05-0,1$ мм.

Після затягування болтів, що скріплюють кришку, завдяки цим виступам створюється посадка з натягом вкладиша в місцях.

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

Монтаж валів на опорах кочення. Опори кочення (підшипники) не підлягають припасуванню, тому їх складають методами взаємозамінності й регулювання [4–6, 14, 16].

Легкість обертання вала в опорах кочення забезпечують потрібною величиною зазору, що повинен бути в 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 ДСТУ ГОСТ 520:2014, ДСТУ ГОСТ 25256:2018.

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

Відстань між підшипниками, розміщення перерізу вала щодо переднього й заднього підшипників впливають на радіальне биття вала в розглянутому перерізі.

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

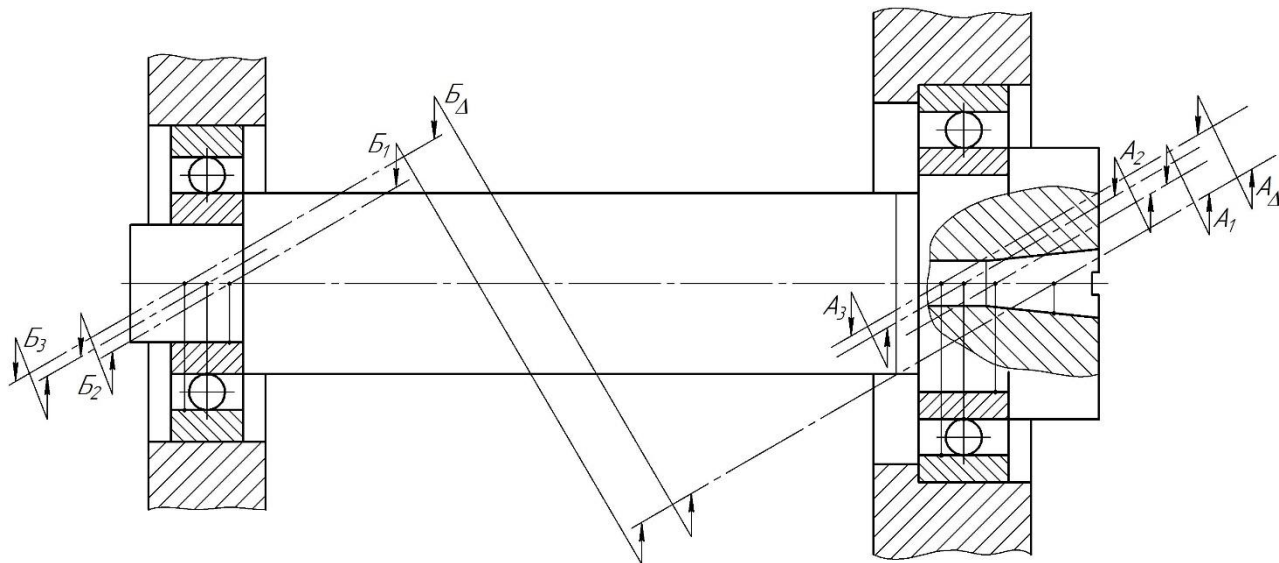


Рисунок 3.5 – Схема розмірних ланцюгів, що визначають радіальне биття конічного отвору шпинделя, змонтованого на опорах кочення

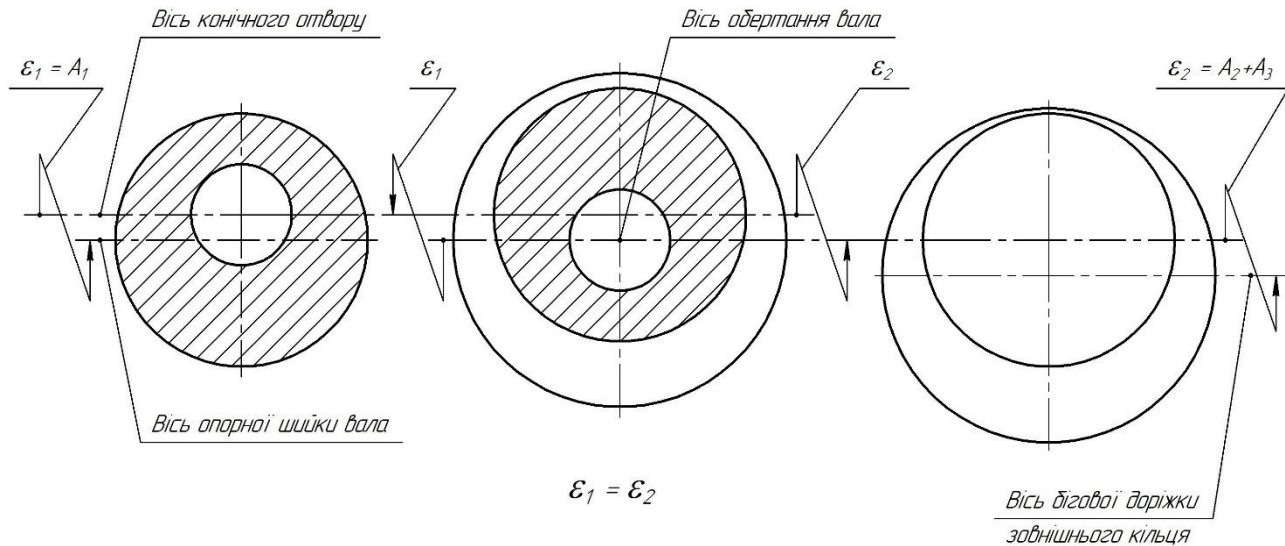


Рисунок 3.6 – Компенсація радіального биття вала ексцентриситетом внутрішнього кільця підшипника

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

- підібрати підшипники так, щоб ексцентриситети отворів внутрішніх кілець щодо бігових доріжок зовнішніх кілець дорівнювали ексцентриситетам відповідних опорних шийок вала щодо розглянутої поверхні або щоб їх різниця була меншою від устанавленого допуску на биття вала в кожній опорі;

- змонтувати опори й вал так, щоб ексцентриситети взаємно компенсувалися; для цього ексцентриситети потрібно розмістити в кожній опорі в одній площині, але в різних напрямках.

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

Під час монтування валів на опорах кочення передбачають, що відхилення паралельності осі обертання вала щодо основних баз корпусної деталі у двох координатних площинах не повинно перевищувати устанавлених допусків. Основні причини таких відхилень наведені на рисунку 3.8 а, б.

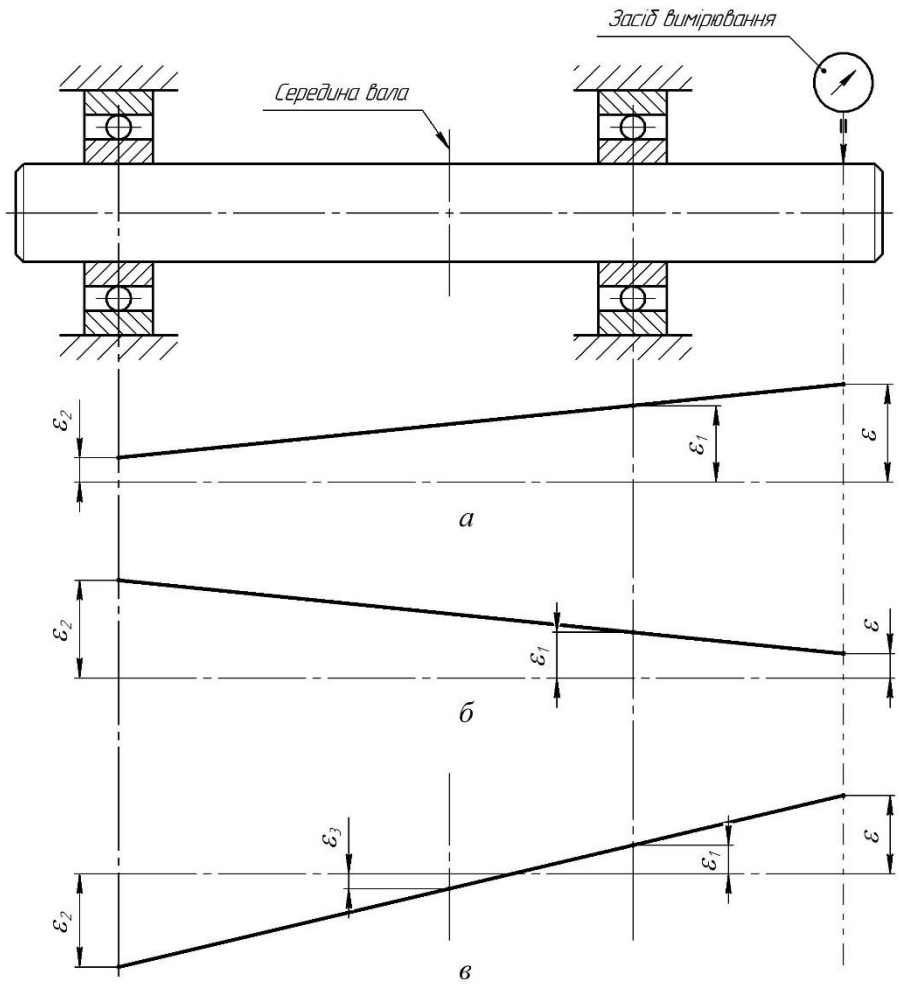


Рисунок 3.7 – Способи зменшення радіального биття вала

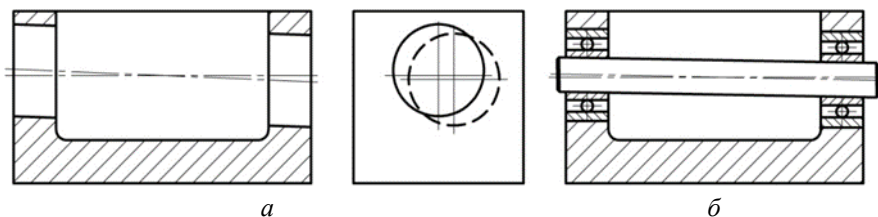


Рисунок 3.8 – Поворот осі вала щодо основних баз корпусу:
 а – відхилення паралельності отворів, передбачених для опор вала в корпусних деталях, щодо основних конструкторських баз;
 б – ексцентричність поверхонь зовнішніх кілець підшипників кочення

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

- вибрати підшипник за умовою, щоб його зовніше кільце мало ексцентриситет ϵ_1 (див. рис. 3.9 б), що дорівнював би найбільшій відстані ω_{max} ;
- зробити риску на радіальній площині, у якої найбільша відстань ω_{max} розміщена в корпусній деталі на місці, що відповідає найбільшій відстані осі отвору;
- знайти в зовнішнього кільця радіальну площину, на якій розміщений найбільший ексцентриситет ϵ_1 , зробити риску напроти ексцентриситету з боку тонкої стінки;
- змонтувати підшипник так, щоб похибка ексцентриситету була розміщена на боці, протилежному ω_{max} . Потрібно, щоб збіглися позначки на корпусі й зовнішньому кільці підшипника (див. рис. 3.9 в).

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

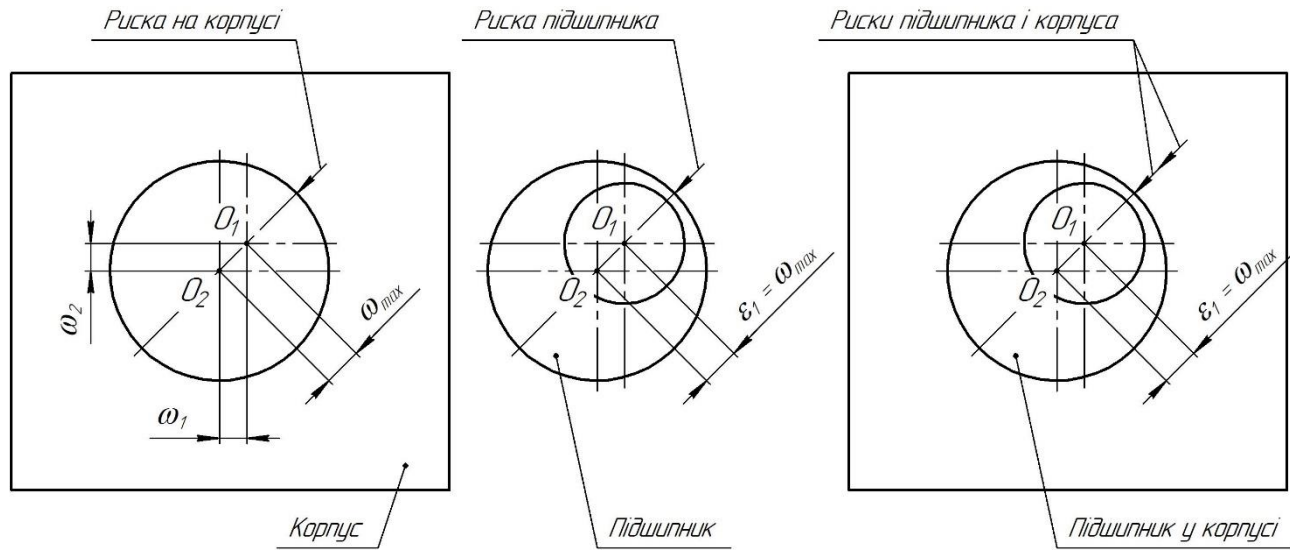


Рисунок 3.9 – Зменшення похибки повертання осі обертання вала щодо основних баз корпусу

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

Заплечики на валу та в отворі корпусу є установчими базами для кілець підшипників. Відхилення від перпендикулярності заплечиків щодо осей посадочних поверхонь вала й 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, установлені на відхилення від правильної геометричної форми посадочних поверхонь підшипників кочення, визначають за ДСТУ ГОСТ 25256:2018.

Підшипники можна складати двома способами. За першим способом підшипник спочатку нагрівають в 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 чи нагрівають частину корпусу, що знаходиться в зоні монтажу підшипника, електричними пристроями.

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

Внутрішні й зовнішні конічні роликові підшипники монтують відокремлено. Внутрішнє кільце (з роликами та сепаратором) пресують на валу, а зовнішнє кільце у корпусі. Радіальний зазор регулюють за допомогою осьового зміщення зовнішнього кільця підшипника. Потрібний зазор забезпечують 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 швидшого зношення з боку більшого діаметра. Значний зазор сприяє підвищенню динамічних навантажень, насамперед ролики зношуються з боку меншого діаметра.

3.2 Монтаж зубчастих передач

Зубчасті колеса повинні бути міцними для передавання без поломок потрібних колових зусиль, мати необхідну кінематичну точність, плавність і безшумність роботи та не заклинюватися в разі нагрівання [14, 16, 21].

Складання циліндричних зубчастих передач. Важливим фактором, що 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, що виникають під час роботи вузла.

Для нормальної роботи зубчастого з'єднання зазор повинен дорівнювати нулю. Але через фактори, зазначені вище, доводиться призначати й забезпечувати найменший зазор, обумовлений роботою передачі.

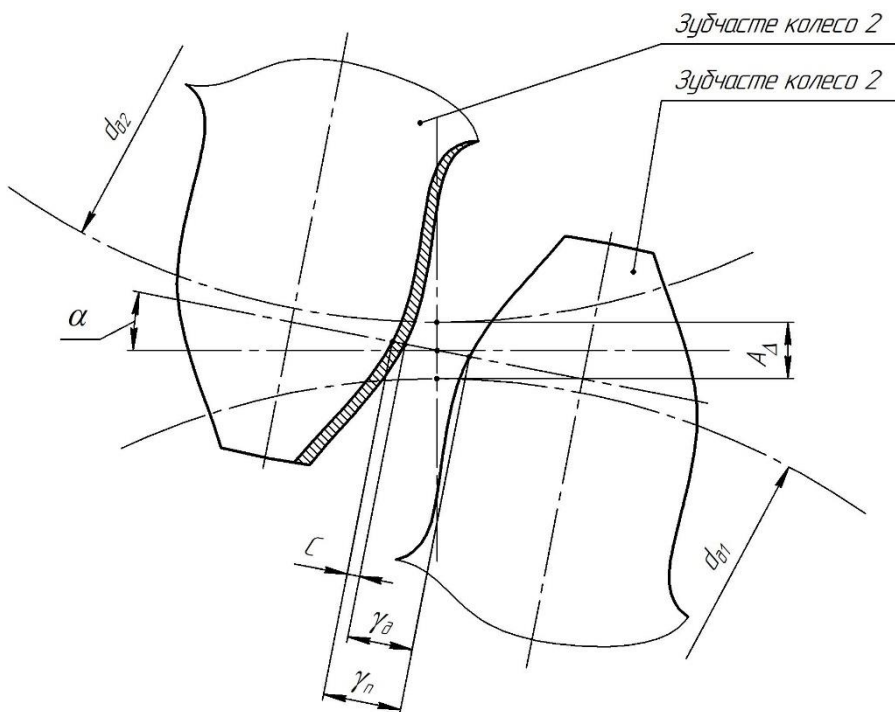


Рисунок 3.10 – Складові частини допуску бокового зазору в ЗП:

γ_n – боковий зазор; γ_{δ} – частина бокового зазору, що є результатом відносного зміщення ділільних кіл; C – відхилення товщини зуба; $d_{\delta 1}$ $d_{\delta 2}$ – діаметри ділільних кіл зубчастих коліс; A_{Δ} – відносне зміщення ділільних кіл; α – кут зачеплення

Чинними стандартами передбачено шість видів сполучень зубчастих коліс: A, B, C, D, E, H і вісім видів допусків T_{jII} бокового зазору: x, y, z, a, b, c, d, h . Сполученням H та E відповідає вид допуску h , а сполученням D, C, B, A – відповідно d, c, b, a .

Координату середини поля допуску $E_c \gamma_{II}$ бокового зазору визначають за формулою [21]

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

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

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

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

Мінімальний зазор $EJ \gamma_{\Pi}$ обчислюють за формулою

$$EJ \gamma_{\Pi} = V + a_w \cdot (\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2) \cdot 2 \sin(\alpha), \quad (3.1)$$

де V – товщина шару мастильного матеріалу між зубцями;

a_w – міжосьова відстань;

α_1 і α_2 – коефіцієнти лінійного розширення відповідно до матеріалів коліс та корпусу;

Δt_1 і Δt_2 – відхилення температур відповідно до коліс та корпусу від 20 °С;

α – кут початкового профілю.

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

Деформацію від нагрівання підраховують за нормаллю до профілів. Боковий зазор, що забезпечує нормальні вимоги змащення, орієнтовно беруть від 0,01 m_{Π} (модуля) для повільно рухомих кінематичних передач до 0,03 m_{Π} для високошвидкісних.

Отже, допуск $T \gamma_{\Pi}$ і координата середини поля допуску на боковий зазор $E_c \gamma_{\Pi}$ у ЗП обумовлені її службовим призначенням, а дотримання бокового зазору в межах цього допуску залежить від коливання товщини зубців та відносного зміщення ділильних кіл коліс (див. рис. 3.8). Тому відповідно до значень $T \gamma_{\Pi}$ і $E_c \gamma_{\Pi}$ повинні бути встановлені допуски й координати середин полів допусків, що обмежують відхилення товщини зубців $T C$ та $E_c C$, 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 та є замикальною ланкою A_{Δ} розмірного ланцюга « A » (див. рис. 3.11).

На довговічність і правильність роботи ЗП впливають величина й розміщення плями контакту на бокових поверхнях зубців. Зменшення плями контакту призводить до концентрування навантаження на окремих ділянках поверхонь зубців і збільшеного зношення зубців. Зміщення плями контакту зубців до будь-якого краю бокової поверхні зубця спричиняє однобічне прикладання навантаження, збільшене зношення й викришування зубців. Норми контакту зубців циліндричних коліс регламентовані державними стандартами.

Кінематична точність і плавність роботи ЗП, боковий зазор та точність повертання твірних бокових поверхонь зубців під час складання зубчастих коліс забезпечують методами повної або неповної взаємозамінності.

Проте для збільшення точності окремих ланок РЛ, що впливають на точність відносного положення й зачеплення зубчастих коліс, під час складання іноді застосовують методи регулювання та припасування.

Наприклад, регулюванням підшипників зменшують відхилення від співвісності опорних шийок валів з отворами в корпусі під опори валів, а комбінованими розвертками – співвісність отворів у корпусі.

Складання циліндричних, конічних і черв'ячних зубчастих передач охоплює дві типові операції для всього різноманіття конструкцій: установлення зубчастого колеса на вал та встановлення «вузла вала» в корпус редуктора [4, 5, 14, 16]. Установлення зубчастого колеса на вал залежить від типу кріплення на ньому колеса.

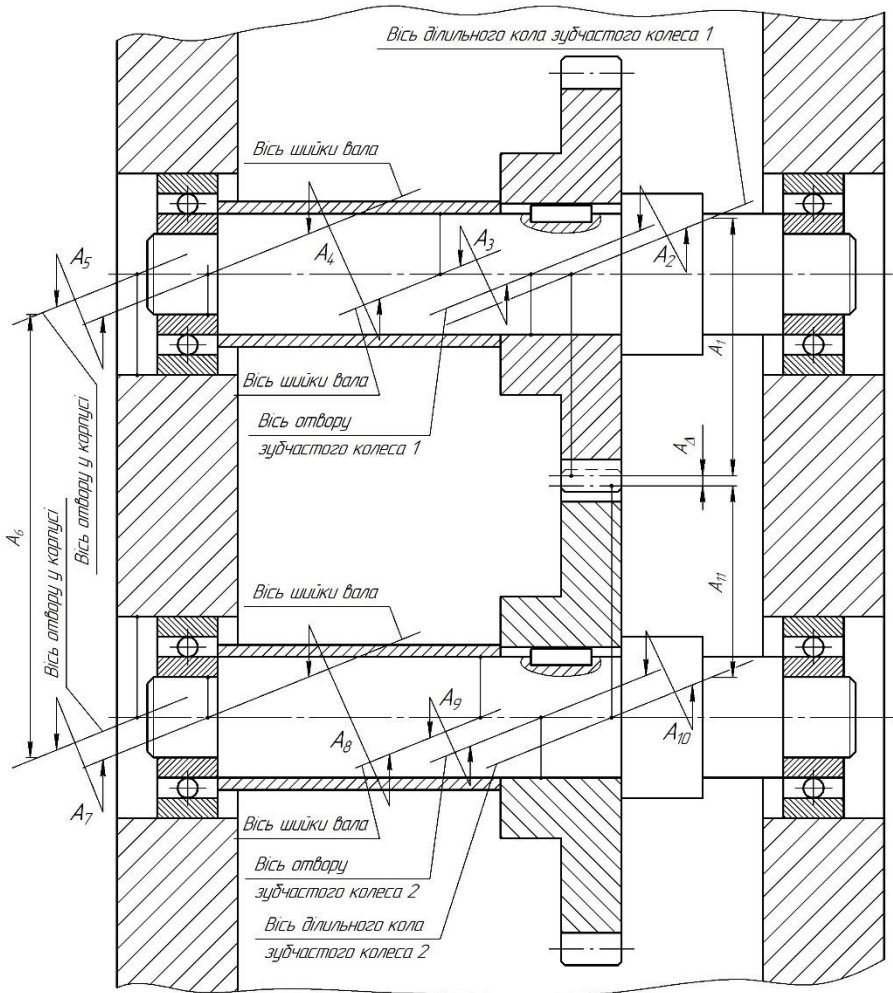


Рисунок 3.11 – Розмірний ланцюг «А», що визначає точність відносного зміщення ділильних кіл зубчастих коліс A_1 у редукторі

Найчастіше встановлення колеса на шпонку з перехідною посадкою по діаметру вала. Установлення колеса на вал із

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

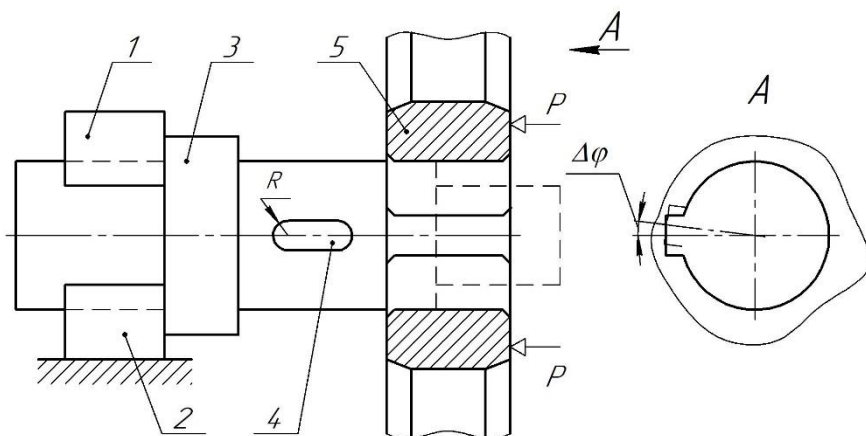


Рисунок 3.12 – Схема встановлення зубчастого колеса на валу:
 1 – притискна призма; 2 – опорна призма; 3 – вал; 4 – шпонка;
 5 – зубчасте колесо

Точність бокового зазору в зубчастому з'єднанні залежить від типу передачі. У ЗП сьомого степеня точності й вищого потрібний боковий зазор забезпечують методом повної взаємозамінності. Боковий зазор у складеному зубчастому з'єднанні можна визначити, якщо вал одного з коліс закріпити в пристрої 2, а на вал другого колеса надягнути оправку 1 (див. рис. 3.13).

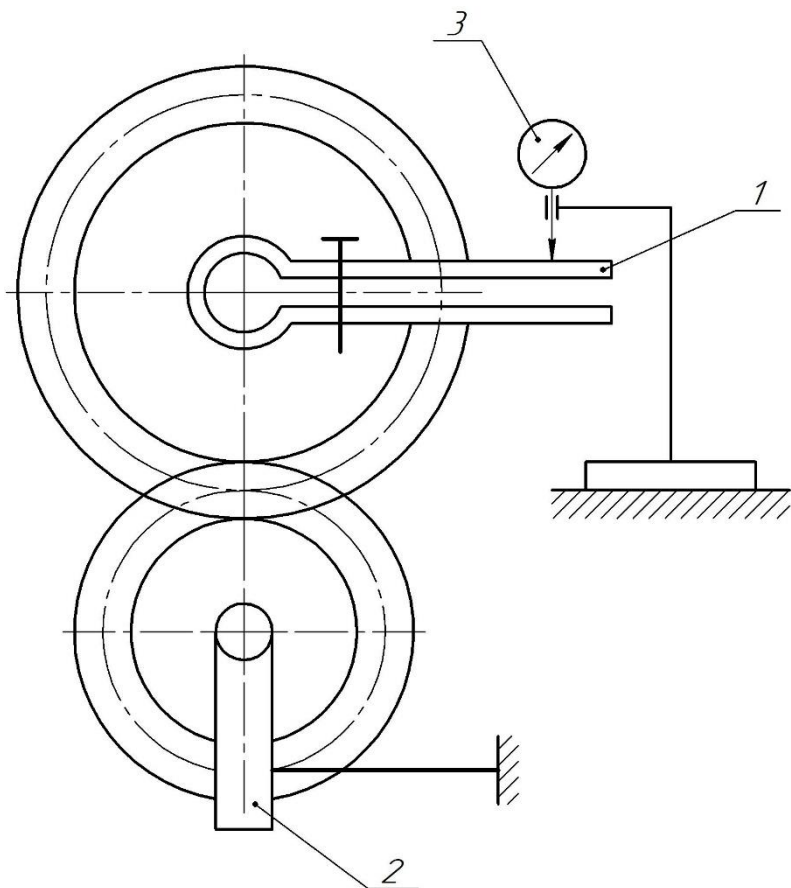


Рисунок 3.13 – Схема контролю бокового зазору в зубчастому з'єднанні: 1 – оправка; 2 – пристрій; 3 – індикатор

Різниця значень індикатора 3 під час похитування оправки 1, що належить до радіуса діляльного кола, буде дорівнювати боковому зазору в 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 з коліс наносять фарбу та обертають зубчасті колеса. Плями контакту повинні бути розміщеними рівномірно на поверхні зубця й займати не менше 60 % його площі. Зміщення плями в той чи інший бік дає підставу зробити висновок про похибки з'єднання. Кількісно оцінити похибки в цьому разі можна спеціальними вимірюваннями.

Складання конічних зубчастих передач. Однією з основних вимог правильного зачеплення конічної зубчастої передачі є збіг вершин ділільних конусів зубчастих коліс [14, 21]. Допустиме зміщення вершин ділільного конуса колеса щодо осі другого колеса й вершин ділільного конуса другого колеса щодо осі першого визначають за державним стандартом (ДСТУ ISO 17485:2008). Додержання цієї вимоги під час складання 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 застосовувати методи взаємозамінності під час складання конічних ЗП [14, 16]. Тому точність замикальної ланки A_0 досягають методом регулювання. У цьому разі дуже зручні для складальників конструкції ЗП, у яких передбачені рухомі компенсатори. Проте наявність рухомих компенсаторів робить конструкцію складною, і не завжди їх можна використати у виробках із ЗП. Частіше використовують нерухомі компенсатори – прокладки й кілеця [14, 16].

Регулювання положення зубчастих коліс може бути значно спрощено, якщо одне з коліс встановлювати по калібру щодо осі отвору в корпусі під опори вала другого конічного колеса. Для цього в отвір корпусу вставляють оправку, прикладають до неї калібр і до упору в ньому остаточно встановлюють перше конічне колесо. За таким вибором вимірювальної бази під час виготовлення зубчастого колеса необхідно в суворих межах забезпечити точність відстані K між вершиною ділільного конуса та торцем зубчастого колеса, використовуюваного як початок відліку.

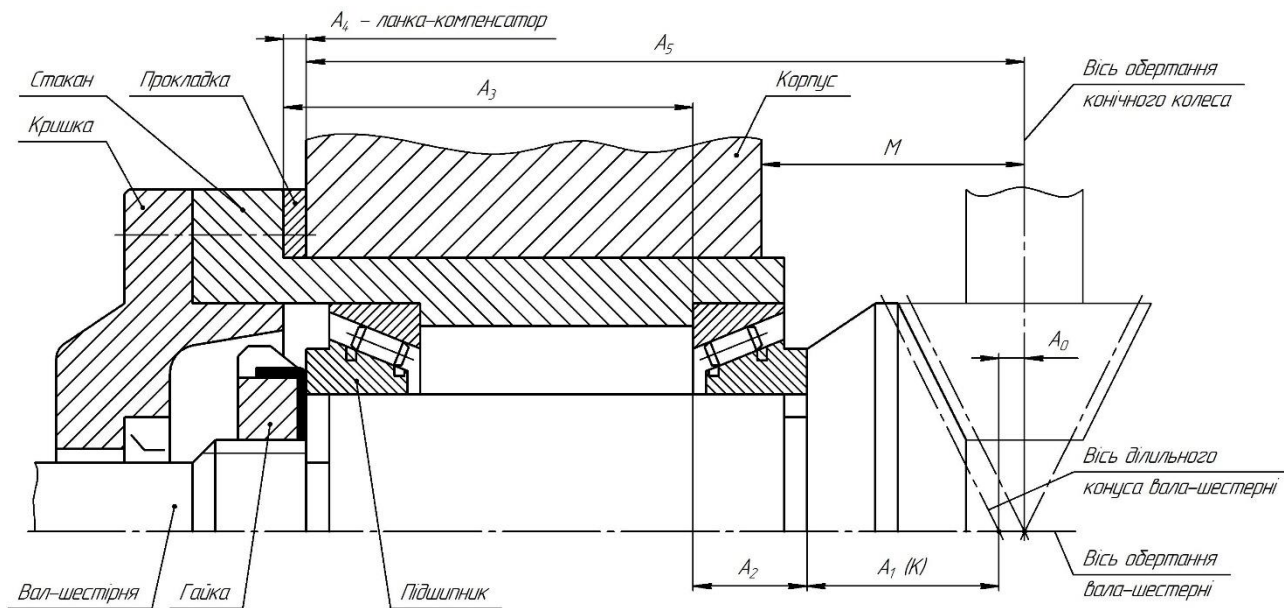


Рисунок 3.14 – Схема розмірного ланцюга, що визначає точність збігу вершин ділильного конуса вала-шестерні з віссю обертання кінцевого колеса

Іноді перше колесо встановлюють за допомогою калібра від торця корпусу. У цьому разі на точність установалення зубчастого колеса впливає не лише розмір K , а й M – відстань між віссю отвору в корпусі під опори вала другого зубчастого колеса та торцем корпусу. Відхилення розмірів K і M потребують обмеження допусками [14, 16].

Після встановлення першого зубчастого колеса друге зубчасте колесо зачіпляють із першим та переміщують його в осьовому напрямку, досягаючи потрібного бокового зазору між зубцями.

Боковий зазор під час регулювання положень зубчастих коліс контролюють за допомогою щупа або свинцевої пластинки, яку вміщують між зубцями коліс. Робити висновок про боковий зазор можна за «мертвим рухом» одного з коліс, вимірюваним за допомогою індикатора й нескладного пристрою [16].

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

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

Складання черв'ячних передач. За призначенням черв'ячні передачі (ЧП) поділяють на кінематичні й силові [21]. За стандартом ДСТУ ISO 1122-2:2006 установлено дванадцять ступенів точності ЧП. Кінематичні передачі, що повинні створювати точні передатні відношення, виготовляють 3–6 ступенів точності. Силові передачі виготовляють 5–9 ступенів точності.

Щоб ЧП могла виконувати своє службове призначення, у процесі її виготовлення потрібно забезпечити кінематичну точність передачі, необхідний боковий зазор у зачепленні черв'яка з колесом, збіг середньої площини колеса з віссю черв'яка, відповідну точність кутів схрещування осей обертання черв'яка й колеса [14, 16].

Поширеним методом поєднання середньої площини черв'ячного колеса з віссю черв'яка є метод регулювання, за яким використовують рухомі та нерухомі компенсатори [14, 16].

У конструкції вузла (див. рис. 3.15) передбачено регулювання осевого положення черв'ячного колеса щодо черв'яка способом змінення товщини однієї з прокладок. У разі вибору компенсатором правої прокладки завдання поєднання середньої площини черв'ячного колеса з віссю черв'яка вирішує розмірний ланцюг «*A*».

Завдання регулювання зазору в підшипниках виконують зміщенням зовнішнього кільця підшипника торцем лівого фланця й гвинтами. У створеному зазорі між корпусом і фланцем повинна бути встановлена прокладка, товщину якої B_0 визначають із розв'язання РЛ «*B*».

Потрібної точності кута схрещування осей обертання черв'яка і колеса досягають методами повної або неповної взаємозамінності. Регулюванням положень зовнішніх кілець підшипників, наданням відповідного напрямку ексцентриситету їх зовнішніх поверхонь можна збільшити точність кута схрещування осей обертання черв'яка та колеса.

Правильність зачеплення зубчастого колеса з черв'яком перевіряють за допомогою фарби. Фарбу наносять на гвинтову поверхню черв'яка. Потім його обертають та отримують відбиток на зубцях черв'ячного колеса. У разі правильного зачеплення черв'яка фарба повинна покрити поверхню зубця черв'ячного колеса не менше ніж на 50–70 %, а пляма контакту – залишатися з обох боків осі симетрії зубця.

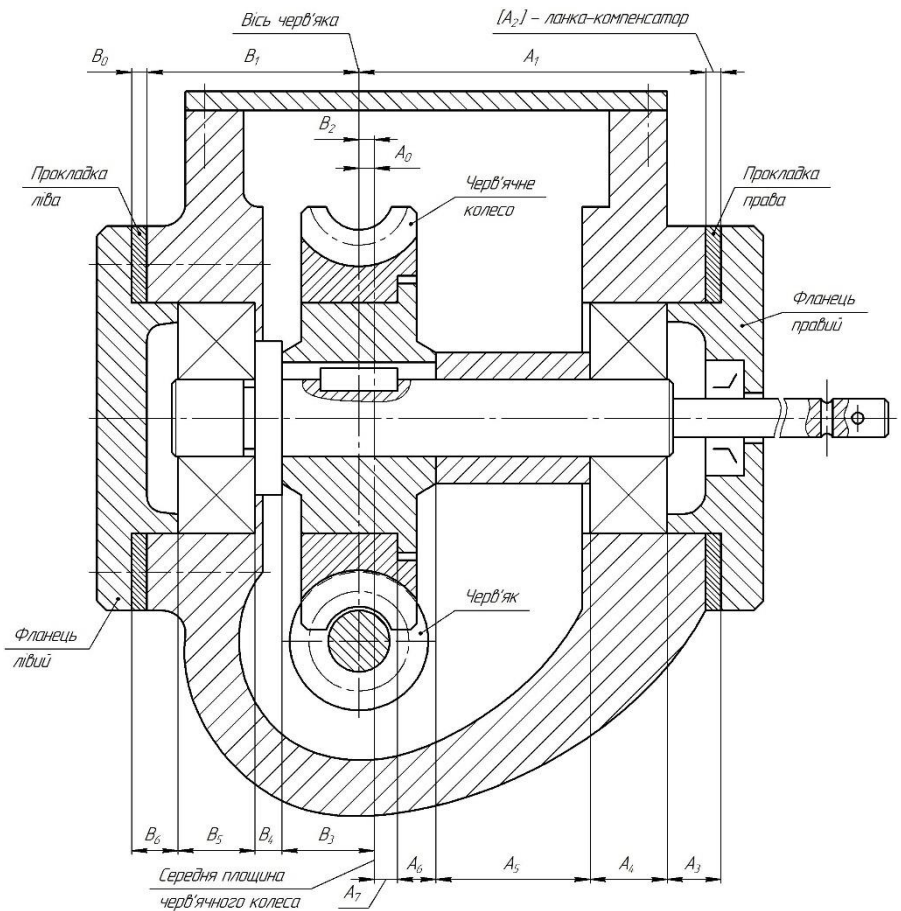


Рисунок 3.15 – Розмірні ланцюги, що визначають збіг середньої площини черв'ячного колеса з віссю черв'яка

За одностороннім розміщенням плям контакту на поверхнях зубців положення черв'ячного колеса щодо черв'яка виправляють переміщенням колеса в осьовому напрямку, а інколи розвертають зовнішні кільця підшипників черв'яка й вала

черв'ячного колеса, щоб забезпечити напрямок ексцентриситетів кілець у потрібний бік.

Під час монтажу ЗП використовують спеціальні інструменти та пристрої [16].

Питання для самоперевірки до розділу 3

1. Наведіть основні показники якості монтажу валів.
2. Сформулюйте особливості монтажу валів на опорах ковзання.
3. Як визначають радіальне биття вала в одній площині?
4. Зазначте фактори, що визначають виникнення осьового переміщення вала, змонтованого на опорах ковзання.
5. Які конструкції підшипників ковзання використовують для монтажу валів?
6. Поясніть основні вимоги до монтажу валів на підшипниках кочення.
7. Опишіть процедуру компенсації радіального биття вала ексцентриситетом внутрішнього кільця підшипника.
8. Які способи зменшення радіального биття вала ви знаєте?
9. Які способи складання підшипників кочення ви знаєте?
10. Поясніть основні вимоги до монтажу зубчастих передач.
11. Як впливає на роботу зубчастої передачі боковий зазор?
12. Запишіть формулу для визначення мінімального бокового зазору зубчастої передачі.
13. Зазначте способи встановлення зубчастого колеса на вал і «вузла вала» у корпус виробу.
14. Опишіть схему контролю бокового зазору в зубчастому з'єднанні.
15. Сформулюйте особливості складання конічних зубчастих передач.
16. Сформулюйте особливості складання черв'ячних зубчастих передач.

4 ТЕХНОЛОГІЯ БАЛАНСУВАННЯ

4.1 Одиниці вимірювання дисбалансів та основні поняття технології балансування (ДСТУ ISO 19499:2017)

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

Ротор – це деталь або складальна одиниця, що під час обертання утримується своїми поверхнями в опорах.

Одиницями дисбалансу є грам-міліметр ($\text{г} \cdot \text{мм}$) і градус (\dots°), використовувані для вимірювання дисбалансу й кута дисбалансу.

Питомий дисбаланс $[(\text{г} \cdot \text{мм})/\text{кг} = \text{мкм}]$ – це відношення модуля головного вектора дисбалансів до маси ротора.

Незалежно від причин (похибок виготовлення заготовки, механоскладального виробництва, зміни умов експлуатації), що спричинили зміщення центра маси з осі обертання, усі дисбаланси ротора приводять до двох векторів – головного вектора дисбалансів D_{cm} і головного момента дисбалансів M_D .

Головний вектор дисбалансів D_{cm} розміщений у центрі маси й дорівнює добутку маси неврівноваженого ротора на його ексцентриситет e .

Головний момент дисбалансів M_D дорівнює геометричній сумі моментів усіх дисбалансів ротора відносно центру маси. Головний момент дисбалансів перпендикулярний головній центральній 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. Його повністю визначають на роторі у вибраній площині за кутом дисбалансу, а також чисельним значенням дисбалансу згідно з формулою

$$D_i = m_i \cdot e_i,$$

де m_i – неврівноважена маса;
 e_i – модуль ексцентриситету щодо осі обертання.

Площину можуть використовувати для завдання дисбалансу (площина зведення дисбалансу), коригування маси ротора (площина коригування), вимірювання дисбалансу (площина вимірювання дисбалансу).

Дисбаланси в двох різних площинах уздовж осі ротора різні, їх кути та чисельні значення можна розрахувати або визначити за допомогою балансувального устаткування.

4.2 Структура технологічного процесу балансування

Структура технологічного процесу балансування (ТПБ) обумовлена призначенням балансування, типом виробництва, розмірами деталі або складальної одиниці, точністю балансування, технологічним устаткуванням та оснащенням.

Балансування – це визначення чисельних значень і кутів дисбалансів ротора й подальше їх зменшення коригуванням маси ротора.

Головний вектор дисбалансів можна виявляти та визначати в статичному (за дією сили ваги) або динамічному (за примусовим обертанням) режимах. Головний момент дисбалансів визначають лише в динамічному режимі.

Дію дисбалансів на ротор можна знижувати або усувати додаванням, зменшенням і переміщенням коригувальної маси (кількох мас), що створюють дисбаланс такого значення, як

неврівноважений ротор, але кут дисбалансу становить 180° щодо 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 й динамічне (миттєво-силове) балансування.

За допомогою статичного балансування визначають і зменшують головний вектор дисбалансів. У цьому разі центр маси ротора збігається з віссю обертання за допомогою розрахованої коригувальної маси (кількох мас).

За допомогою миттєвого балансування визначають та зменшують головний момент дисбалансів. Завдяки утворенню пари сил коригувальні маси розміщуються у двох площинах. Результатом повертання ротора є збігання центральної вісі інерції ротора з віссю обертання.

За допомогою динамічного балансування визначають та зменшують головний момент і головний вектор. Цього досягають коригувальними масами, розміщеними у двох площинах коригування (жорсткі ротори). Якщо коригувальні маси розміщені в багатьох (більше ніж двох) площинах коригування, то такі ротори мають назву гнучких. У цьому разі головна центральна вісь інерції зміщується, обертається в просторі й збігається з віссю обертання ротора.

Ротор може бути врівноважений за одну або декілька операцій. Операція складається з типових переходів.

Перший перехід – вимірjuвальний. Упродовж нього виявляють і визначають чисельне значення й кут дисбалансів.

Другий перехід – перетворювальний. На переході перетворюють визначені дані першого переходу на параметри технологічного методу, прийнятого для коригування мас дисбалансів.

Третій перехід – відсторонений. Під час нього коригують (усувають) дисбаланси до заданих значень.

Балансувальні операції можуть виконувати на різних стадіях виробничого процесу: на початку оброблення заготовки, після завершення всіх операцій механічного оброблення деталі, у технологічному процесі складання різних складальних одиниць, а також виробу.

Низка виробів має керівний балансувальний пристрій (КБП) або автоматизований балансувальний пристрій (АБП). Вони дають змогу періодично коригувати дисбаланси, що виникають під час використання виробу (зношення, нагрівання, змінювання маси тощо).

4.3 Пристрої та верстати для балансування

Стенди (верстати) для статичного балансування в статичному й динамічному режимах. Один із способів виявлення статичної неврівноваженості складальних одиниць полягає в зазначеному далі. Головний вектор дисбалансів ротора, що перебуває в стані спокою, під дією сили ваги створює момент щодо осі або точки, за яку підвішений ротор. Момент сил спонукає ротор повернутися таким чином, щоб так зване «важке» місце (центр його мас) розмістилося в нижній точці. На цьому базується дія різних засобів та стендів для статичного балансування в статичному режимі (див. рис. 4.1).

Ротор, що має отвір, надягають на базову поверхню оправки без зазору (див. рис. 4.1). Базова поверхня оправки виконана концентрично з її поверхнями, якими складальна одиниця котиться по призмах. Точність визначення «важкого» місця залежить від маси ротора й величини тертя між оправкою та призмами. Для зменшення величини тертя і підвищення точності балансування на опори стенда накладають вібрації (див. рис. 4.2).

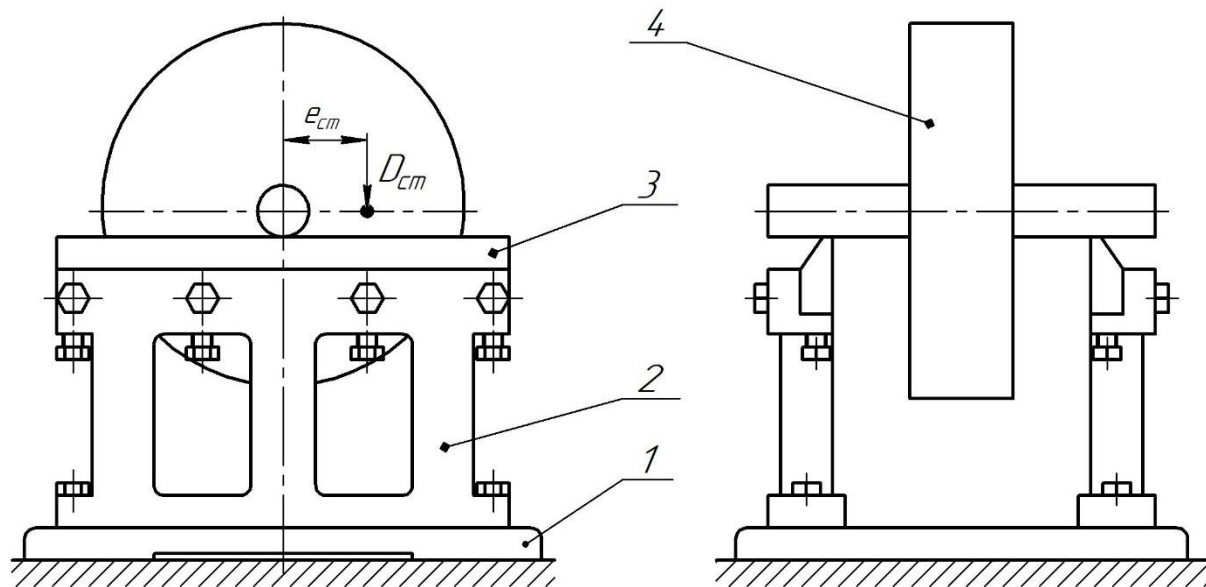


Рисунок 4.1 – Стенд із горизонтальними паралельними призмами:
1 – фундамент; 2 – стійка; 3 – призми з різним поперечним перерізом; 4 – ротор

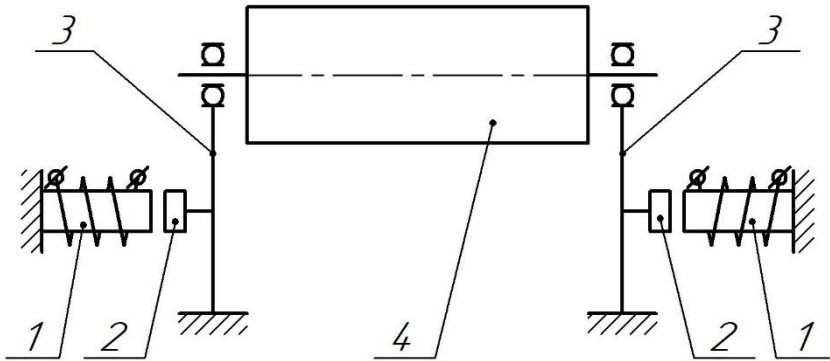


Рисунок 4.2 – Схема стенда для статичного балансування ротора з підшипниковими опорами й накладеними вібраціями:

- 1 – електромагніт; 2 – яркі; 3 – опори стенда з підшипниками;
4 – ротор

Другий спосіб, на якому базується дія пристроїв для виявлення статичної невірноваженості, полягає в зміні положення центра мас ротора в горизонтальній площині під час примусового обертання ротора. Таким пристроєм є балансувальні терези (див. рис. 4.3). Вони застосовуються для роторів із невеликою вагою.

Рівновагу забезпечують способом переміщення вантажу в різних кутових положеннях ротора (зміщується центр маси m_0 ротора на відстань $\pm e_{cm}$ – довжину важеля).

Для визначення ексцентриситету маси важких роторів із великим діаметром застосовують їх примусове обертання. Цей спосіб має назву статичного балансування в динамічному режимі. За цим способом функціонують спеціальні балансувальні верстати з вертикальною віссю обертання (див. рис. 4.4).

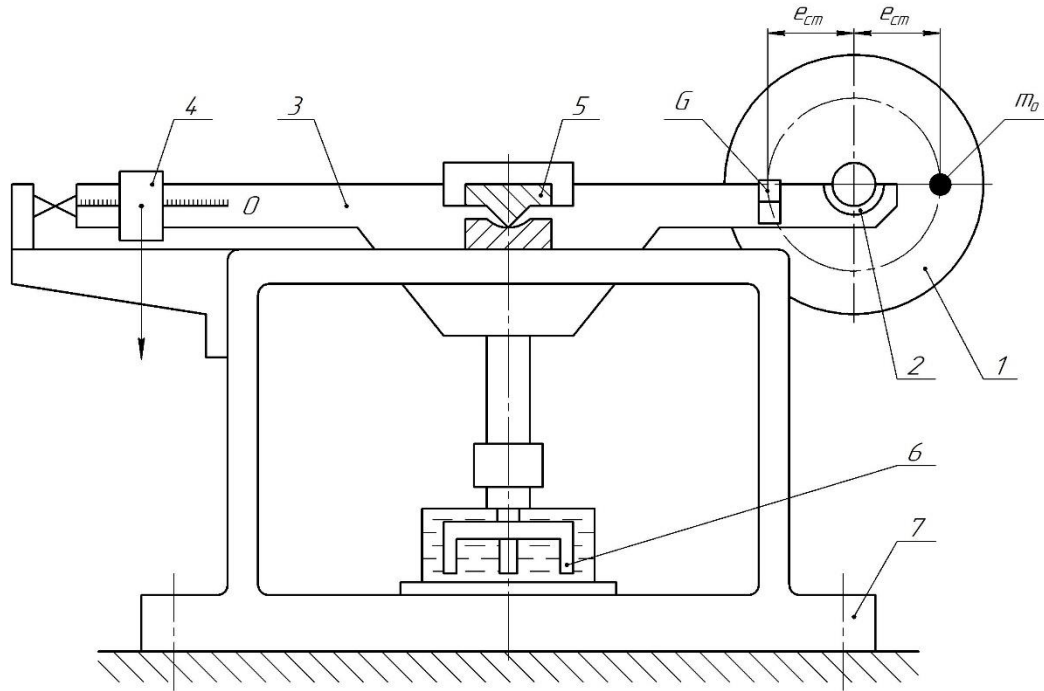


Рисунок 4.3 – Балансувальні терези з горизонтальною віссю ротора:
 1 – балансувальний ротор; 2 – опори; 3 – важіль терезів; 4 – рухома вага терезів;
 5 – опора-призма важеля; 6 – демпфер коливань; 7 – станина

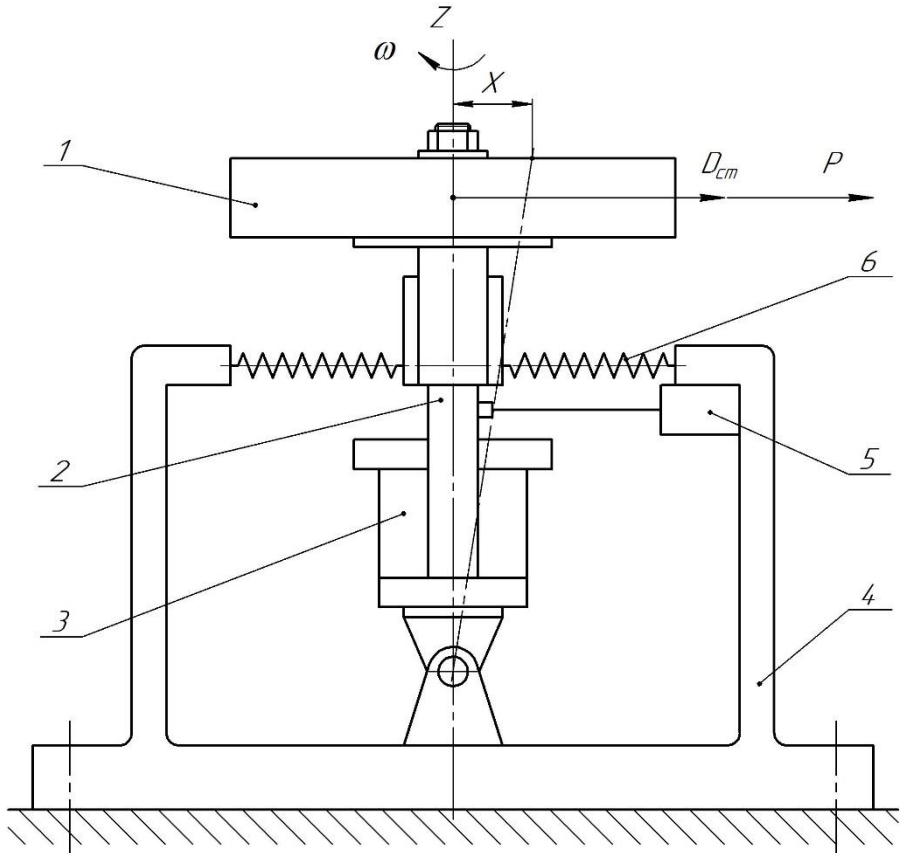


Рисунок 4.4 – Схема верстата для статичного балансування в динамічному режимі з фіксованою віссю: 1 – ротор; 2 – оправка шпинделя; 3 – електродвигун; 4 – станина; 5 – вібраційний перетворювач; 6 – пружина

Силу, що діє на опори або коливання системи, визначають за формулою

$$P = m_p \cdot e_{cm} \cdot \omega^2, \quad (4.1)$$

де m_p – маса ротора;

ω – кутова швидкість.

Ротору 1 (див. рис. 4.4), насадженому на оправку шпинделя 2, надають обертання від електродвигуна 3, що викликає коливання системи щодо фіксованої осі. Система «ротор – шпиндель – електродвигун» пов'язана із станиною жорстким зв'язком або пружинами 6. Вібраційний перетворювач 5 є першим ланцюгом системи для вимірювання кута ω і значення дисбалансу. Різновидом кінематики таких верстатів є коливання системи щодо фіксованої площини або вільного зв'язку із станиною.

Верстати для динамічного балансування деталей або складальних одиниць. Відхилення від паралельності осі обертання ротора його головної центральної осі інерції може бути визначено обертанням складальної одиниці або деталі на спеціальному балансувальному верстаті. Дію на ротор головного моменту й головного вектора змінюють дією еквівалентних систем. Під час обертання неврівноважених мас, розміщених на відстані e від осі обертання, виникають відцентрові сили, пропорційні дисбалансам у площинах опор: $F_A = m_A \cdot e_A \cdot \omega^2$,
 $F_B = m_B \cdot e_B \cdot \omega^2$.

Відцентрові сили викликають тиснення або вібрації в опорах ротора, які відчують вібраційні перетворювачі й фіксує спеціальна вимірювальна система. Наведений спосіб виявлення дисбалансів використовується практично у всіх балансувальних верстатах.

Балансувальні верстати розрізняють:

- за видом балансування (статичні й динамічні);
- за режимом балансування (статичні й динамічні);
- за робочою частотою обертання ротора (дорезонансні, резонансні, зарезонансні);
- за типом роторів (горизонтальні й вертикальні);

- за ступенем автоматизації (неавтоматичні, півавтоматичні, автоматичні);
- за кількістю та спеціалізацією робочих позицій (верстати й стрічки).

Технічні дані балансувальних верстатів для динамічного балансування наведені в довіднику [12].

4.4 Способи усунення дисбалансів ротора

Дисбаланси ротора зменшують завдяки коригувальній масі, що видаляється з тіла ротора або додається до нього, а також може переміщуватися по поверхні ротора.

Коригувальну масу за показниками балансувального устаткування видаляють різними технологічними методами: пилянням, відламуванням спеціальних приливів, точінням, фрезеруванням, шабруванням, шліфуванням, свердлінням.

Додавання коригувальної маси до ротора у протилежній фазі виконують зварюванням, клепанням, паянням, прикручуванням спеціальних елементів визначеної маси на розрахованому радіусі. За певних умов матеріал коригувальної маси напилують, наплавляють або застосовують інші методи.

Інколи під час експлуатації складальних одиниць виникає безперервна зміна дисбалансу під впливом зношення або зміни навантажень. У цьому разі економічно вигідно використовувати КБП або АБП, що в потрібний час коригують масу. Керівні балансувальні пристрої мають спеціальні елементи (втулки, сектори, сухарі, кулі, гвинти), що переміщуються в необхідне місце ротора.

4.5 Точність балансування

Точність балансування визначають за критерієм, що дорівнює добутку питомого дисбалансу e_{cm} на найбільшу частоту обертання ротора в умовах експлуатації $\omega_{e\ max}$. Згідно з визначеним критерієм ГОСТ ISO 1940-1-2007 передбачає 11 класів точності. Для визначення класу точності складальних одиниць можна використовувати дані, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані класи точності балансування для жорстких роторів

Клас точності балансування	Показник класу точності балансування (мм/с)	Види машин (роторів)
G 4000	4 000	Приводні колінчасті вали (конструктивно не зрівноважені) для великих низькошвидкісних суднових дизельних двигунів (швидкість руху поршня менша від 9 м/с)
G 1600	1 600	Приводні колінчасті вали (конструктивно зрівноважені) для великих низькошвидкісних суднових дизельних двигунів (швидкість руху поршня менша від 9 м/с)
G 630	630	Приводні колінчасті вали (конструктивно не зрівноважені) на віброізоляторах
G 250	250	Приводні колінчасті вали (конструктивно не зрівноважені) на жорстких опорах
G 100	100	Двигуни зворотно-поступальної дії в зборі для легкових автомобілів, вантажівок і локомотивів
G 40	40	Деталі автомобілів: колеса, колісні диски, колісні пари, трансмісії. Приводні колінчасті вали (конструктивно зрівноважені) на віброізоляторах
G 16	16	Сільськогосподарські машини. Приводні колінчасті вали (зрівноважені) на жорстких опорах. Дробарки. Приводні вали (карданні вали, гвинтові вали)

Продовження таблиці 4.1

Клас точності балансування	Показник класу точності балансування (мм/с)	Види машин (роторів)
G 6.3	6,3	Авіаційні газові турбіни. Центрифуги (сепаратори, відстійники). Електричні двигуни й генератори (з висотою осі вала не меншою від 80 мм) з максимальною номінальною частотою обертання до 950 хв ⁻¹ . Електричні двигуни з висотою осі вала, меншою від 80 мм. Вентилятори. Зубчасті передачі. Машини загального призначення. Металорізальні верстати. Обладнання паперової промисловості. Насоси. Турбонагнітачі. Водяні турбіни
G 2.5	2,5	Компресори. Приводи з управлінням від комп'ютера. Електричні двигуни й генератори (з висотою осі вала, не меншою за 80 мм) із максимальною номінальною частотою обертання понад 950 хв ⁻¹ . Газові та парові турбіни. Приводи металорізальних верстатів. Верстати текстильної промисловості
G 1	1	Приводи аудіо- та відеоапаратури. Приводи шліфувальних верстатів (машин)
G 0.4	0,4	Шпинделі й приводи високоточного обладнання. Гіроскопи

Точність технологічної операції залежить від вибраного методу коригування мас, конструкції ротора та інших факторів. Ефективність виконання і-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 δ_i – ступінь зменшення дисбалансу;

δ_N – похибка переходу за значенням дисбалансу;

Δ_φ – похибка переходу за значенням кута дисбалансу.

Часто дисбаланс усувають свердлінням «глухого» отвору вздовж осі ротора. Під час свердління виникають три елементарні

похибки: похибка величини маси матеріалу, який висвердлюють Δ_m ; похибка розміщення центра маси на радіусі R ротора Δ_R ; похибка розміщення центра маси вздовж осі ротора Δ_o .

Момент M_o , що виникає під час свердління маси матеріалу, розраховують за формулою

$$M_o = F_1 \cdot L = m \cdot R \cdot \omega^2 \cdot L, \quad (4.2)$$

де F_1 – відцентрова сила;

L – відстань між площинами, на яких розміщені маси корекції під час виконання динамічного балансування;

m – маса матеріалу, яку висвердлюють;

R – розрахований радіус корекції ротора;

ω – кутова швидкість ротора.

У формулі (4.2) зазначені величини, яких у практичних умовах дотримуються з певними похибками Δ_m , Δ_R , Δ_o , Δ_L . Якщо значення похибок мале, то можна визначити ступінь впливу кожної похибки на максимальну похибку δ_m за формулою

$$|\delta_m| = \left| \frac{\Delta_m}{m} \right| + \left| \frac{\Delta_R}{R} \right| + \left| \frac{2\Delta_o}{\omega} \right| + \left| \frac{\Delta_L}{L\delta} \right|. \quad (4.3)$$

Дослідження реального технологічного процесу та конструкції ротора дають змогу обчислити значення величин, зазначених у формулі (4.3) та вплив кожної похибки на величину дисбалансу.

Питання для самоперевірки до розділу 4

1. Наведіть основні одиниці вимірювання дисбалансів.
2. Опишіть структуру технологічного процесу балансування.
3. Як розрізняють незбалансованість вузла або деталі?

4. Зазначте верстати й пристрої, використовувані для статичного балансування.
5. Наведіть види верстатів для динамічного балансування.
6. Опишіть способи поєднання центрів мас та осі деталі (вузла), що обертається?
7. Опишіть способи усунення дисбалансу ротора.
8. Що розуміють під терміном «точність балансування»?
9. Які особливості визначення максимальної похибки балансування під час свердління «глухих» отворів?

5 АВТОМАТИЧНЕ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

5.1 Теоретичні положення автоматичного складання

Автоматичне з'єднання двох окремих деталей передбачає їх відносне положення й рух у просторі [22–24]. Співвідношення значень параметрів положення та руху поверхонь деталей, за яким вони повинні бути з'єднані, одержали назву умов складання.

Розглянемо це на прикладі з'єднання втулки з валиком (див. рис. 5.1). Для спрощення викладення розглянемо з'єднання втулки з валиком в одній площині. Рух втулки в напрямку A відбуватиметься доти, доки зміщення ε осі отвору втулки щодо осі шийки валика та відносний поворот α/L осей не перешкоджатимуть їх з'єднанню. Це означає, що умовою складання втулки з валиком варто вважати нерівність

$$\varepsilon_{\max} + \alpha_{\max} \leq \Delta_{\min},$$

де Δ_{\min} – найменший зазор між отвором втулки й шийкою валика.

Необхідне положення з'єднуваних деталей забезпечують їх базуванням.

Втулка та валик у системі координат XOZ забазовані згідно з рисунком 5.1, ураховуючи, що в початковому положенні деталі перебувають у стані спокою. У разі руху втулки в напрямку A потрібно замінити геометричний зв'язок (опора 5) кінематичним.

Вибір баз приводить до виникнення розмірних зв'язків з'єднуваних деталей, а вимоги до їх відносного положення обумовлюють значення параметрів замикальних ланок відповідних розмірних ланцюгів. Згідно з рисунком 5.1 це будуть розмірні ланцюги « A » і « β », що мають $A_A = 0$, $TA_A = \varepsilon_{\max}$, $E_c A_A = 0$, а також $\beta_A = 0$, $T\beta_{A\max} = \alpha_{\max}/L$, $E_c \beta_A = 0$.

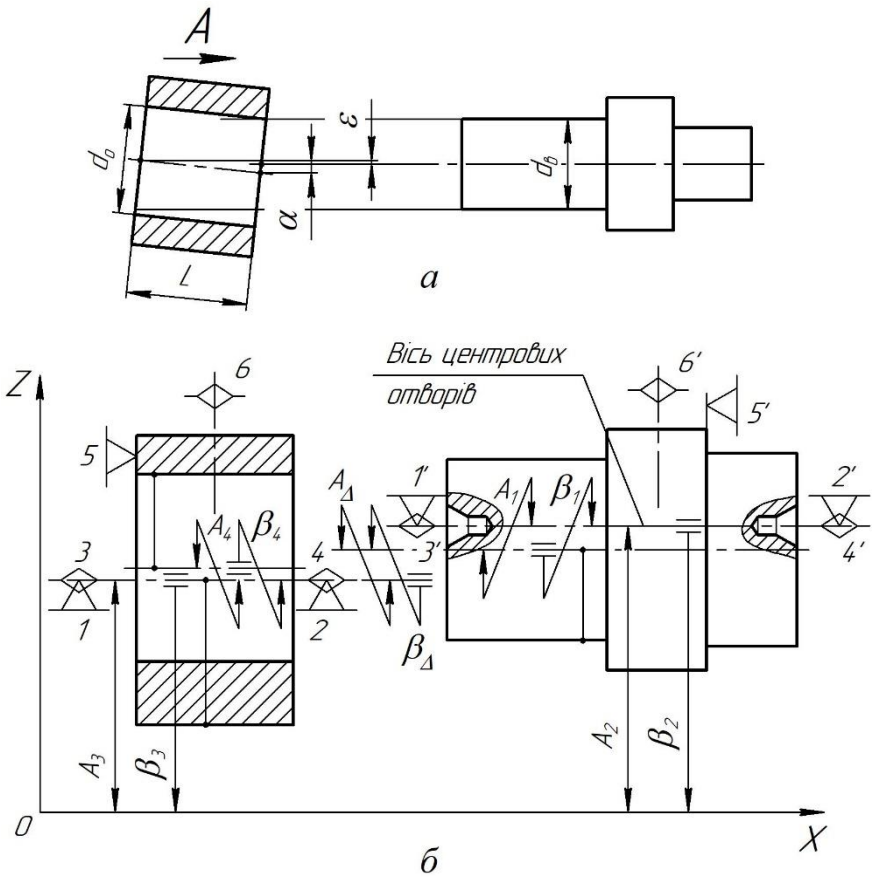


Рисунок 5.1 – Схеми: а – визначення умов складання втулки з валиком; б – базування втулки та валика й розмірні ланцюги, що визначають співвісність отвору втулки та шийки валика

Проаналізуємо фізичні значення складових ланок розмірних ланцюгів. Ланки A_1, A_4 та β_1, β_4 відображають точність базування з'єднаних деталей за допомогою будь-яких пристроїв. Ланки A_2, A_3 і β_2, β_3 показують, які положення повинні займати

базувальні пристрої в складальній машині або промислового роботі (ПР). Розмірні ланцюги « A » і « β » визначають вимоги до точності з'єднуваних деталей, базувальних пристроїв, а також складальної машини або ПР.

Здебільшого автоматичне з'єднання деталей неможливе без компенсації відхилень у їх відносному положенні, заданому їм пристроями складальної машини або ПР.

На практиці неможливо реалізувати рівність $\varepsilon + \alpha = 0$, тобто забезпечити співвісність отвору втулки з шийкою валика.

Умови складання деталей можуть бути поширені, якщо під час з'єднання створити можливість регулювання їх положення.

Наприклад, положення втулки під час установа її на вал регулювали за допомогою фаски. Якщо ширина фаски дорівнює « b », то умова з'єднання деталей розширюється і її визначають за нерівністю

$$\varepsilon_{\max} + \alpha_{\max} \leq \Delta_{\min} + b.$$

Потрібно мати на увазі, що для запобігання заклинюванню з'єднуваних деталей кут повертання осі отвору втулки відносно осі шийки валика не повинен перевищувати допустимого значення $[j]$. Останнє залежить від співвідношення параметрів фасок і розмірів поверхонь, якими деталі сполучають між собою. Формули, що визначають кут j , наведені в джерелах [4, 5, 8].

Відносно положення з'єднуваних деталей регулюють неодноразовою зміною схеми базування. Потрібну зміну однієї схеми базування іншою забезпечують відповідними пристроями складальної машини або ПР. Простежимо за базуванням втулки на різних етапах посадки її на вал і дією складальної машини, виконуваною під час складання (див. рис. 5.2).

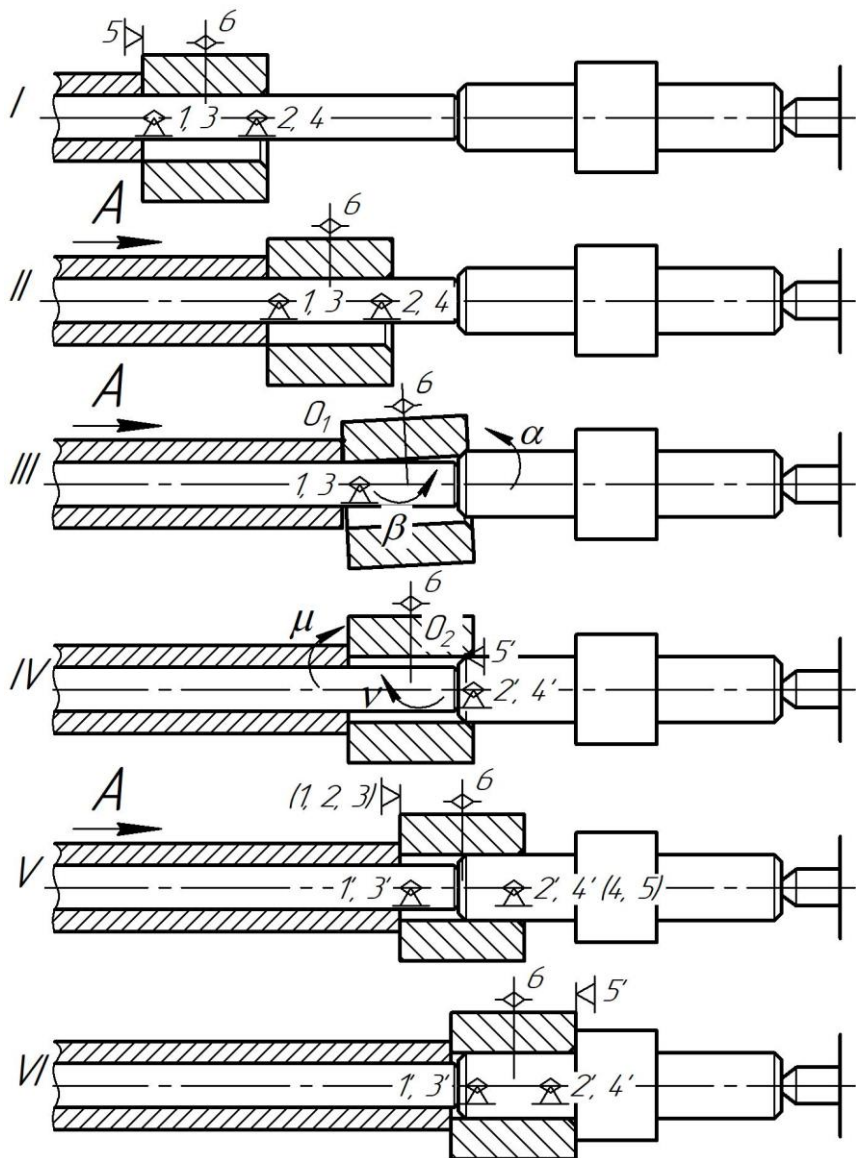


Рисунок 5.2 – Схеми базування втулки під час її встановлювання на вал (етапи I–VI)

I етап. У початковій позиції втулку встановлюють на один із центрів (до упору в торець штока приводу), на яких базується валик.

II етап. Втулці надають руху вздовж осі центра (геометричний зв'язок замінюють кінематичним A).

III етап. Втулка торкнулася фаскою вала й повинна повернутися навколо точки O_1 , щоб сісти на вал фаскою. У цей момент геометричні зв'язки 2 та 4 повинні бути замінені кінематичними α і β , що забезпечують повертання втулки у двох координатних площинах.

IV етап. Втулці необхідно 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 міру позбавлена осьового переміщення опорною точкою $5'$ та за дією створених кінематичних зв'язків μ і ν повернута щодо валика до суміщення осі отвору з віссю шийки валика.

V етап. Із моменту заходу втулки на валик її базування повністю здійснює валик. Для руху втулки в осьовому напрямку геометричний зв'язок $5'$ повинен бути замінений кінематичним A .

VI етап. Втулка зсунута до упору з торцем валика. У цей момент дія кінематичного зв'язку A повинна припинитися й бути заміненою геометричним $5'$.

Дію потрібних зв'язків під час складання забезпечують силами, створюваними приводами складальної машини або ПР; силами ваги з'єднаних деталей; силами реакцій і тертя, що виникають.

Із наведеного прикладу можна зробити висновок, що на кожному етапі складання повинна бути створена своя система сил відповідно до завдання, яке потрібно виконати.

Технологічна система складання не повинна бути абсолютно жорсткою. Процес складання варто виконувати за допомогою мінливих режимів, що забезпечують тонке коригування 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 й забезпечувати на окремих етапах необхідну систему діючих сил. Ефективність дії таких пристроїв цілком залежить від глибини вивчення й реалізації в практичних умовах фізичної суті процесу та явищ, за якими складають вироби.

Отже, для запровадження автоматизації процесу складання варто виконати такі завдання:

1) виявити умови складання деталей та одночасно вибрати бази й метод автоматичного складання з урахуванням власної точності деталей;

2) досконало описати суть процесу автоматичного з'єднання деталей, їх базування під час складання, створення потрібних для процесу складання системи сил;

3) розрахувати діючі сили, режими на кожному етапі складального процесу, визначити функції складальної машини та встановити вимоги до неї;

4) виявити розмірні зв'язки, що повинні діяти під час автоматичного складання, розробити вимоги до точності пристроїв складальної машини або ПР;

5) розробити технічне завдання на проєктування складальної машини або ПР з відображенням усіх особливостей процесу складання, функцій машини або приладу, а також технічних умов, що вони повинні задовольняти.

5.2 Автоматичне складання з використанням складальних машин

Склад автоматичного складального обладнання обумовлений конструкцією виробу й технологією його складання [22–24]. Здебільшого автоматичні складальні машини використовують для складання виробів одного найменування або

вужкої номенклатури подібних виробів з річним обсягом випуску 200–500 тисяч штук і більше, у результаті чого вони мають спеціальне призначення.

Складання вузлів залежно від їх складності можуть виконувати окремими складальними машинами або автоматичними лініями, що мають певну кількість складальних машин, об'єднаних транспортними засобами [4, 5, 8].

Крім виконання складальних переходів, складальні машини мають функції транспортування, завантаження, орієнтації, контролю якості складання, випробування й розвантаження.

Під час побудови автоматичного процесу складання виробу важливим є питання компоновання складального обладнання. Зокрема, однопозиційні складальні машини мають невеликий обсяг транспортних операцій і кількість самостійних завантажувальних, орієнтувальних, постачальних, складальних пристроїв повинна дорівнювати кількості послідовно монттованих деталей у складальну одиницю (див. рис. 5.3). Ця вимога зменшує можливість концентрації операцій, ускладнює конструкцію складальної машини й доступу до неї під час налагодження. Тому однопозиційні складальні машини використовують для складання вузлів із невеликої кількості деталей або, якщо складають однакові деталі та їх можна монтувати одночасно.

Багатопозиційні машини можуть виконувати складальні операції паралельно (див. рис. 5.4). На завантажувальній позиції такої машини в пристрій встановлюється базова деталь виробу, що періодично переміщується разом із пристроєм з однієї позиції на другу. У кожній позиції виконуються свої складальні операції.

Здебільшого пристрої розміщують на поворотному столі, за одне обертання якого виконується повний цикл складання виробу.

Зазвичай багатопозиційні машини мають не більше ніж шість – вісім робочих позицій, що обмежує їх використання для складання складних виробів [4, 5].

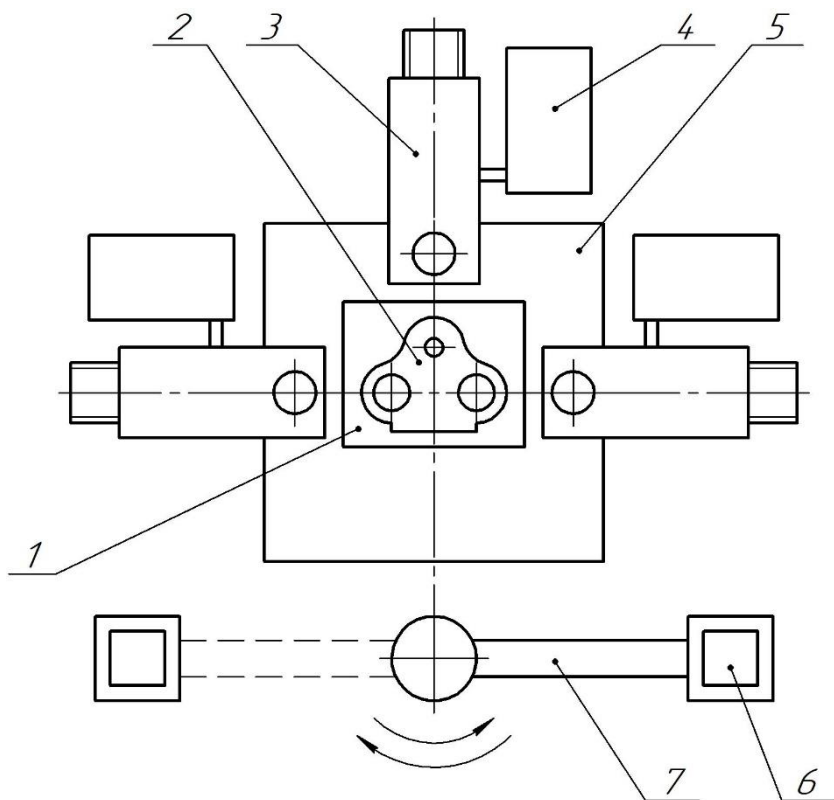


Рисунок 5.3 – Схема компонування складального однопозиційного автомата: 1 – пристрій; 2 – складаний виріб; 3 – складальна головка; 4 – магазинний пристрій; 5 – стіл складального автомата; 6 – стіл; 7 – маніпулятор

Складні вироби складають на автоматичних лініях, що містять у собі як однопозиційні, так і багатопозиційні машини. На автоматичних лініях може бути суміщено складання окремих вузлів і всього виробу, наприклад блок двигуна внутрішнього згорання, електродвигун тощо.

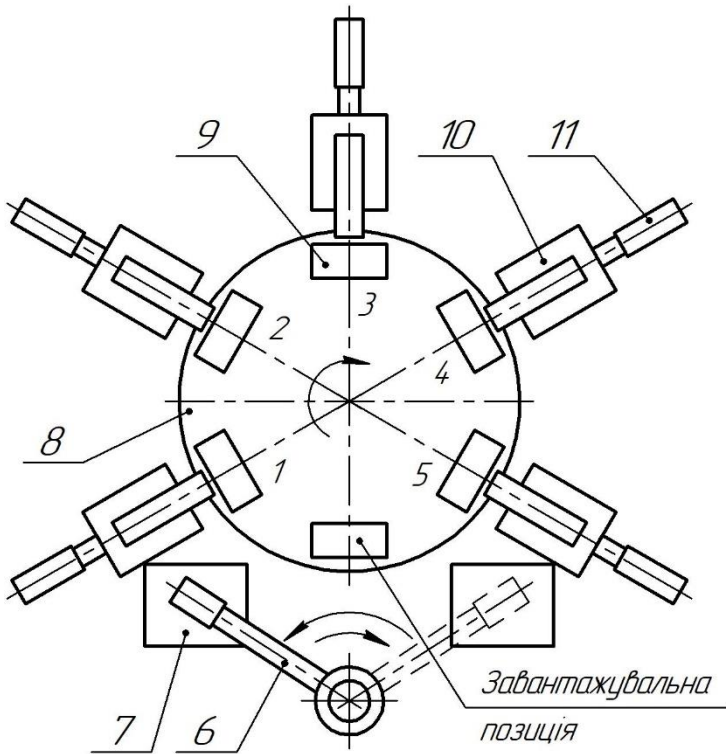


Рисунок 5.4 – Схема компоновки складального багатопозиційного автомата: 1, 2, 3, 4, 5 – робочі позиції; 6 – маніпулятор; 7 – стіл; 8 – поворотний стіл; 9 – пристрій; 10 – складальна головка; 11 – магазинний пристрій

Усі позиції автоматичної лінії з'єднані між собою транспортними пристроями, що доставляють до складальних машин супутники з встановленими в них базовими деталями. Виконання операцій складання на кожній позиції можливо одночасно з трьох сторін, що залишає свободу для суміщення операцій.

Вироби, що мають дуже великий річний обсяг, наприклад роликові ланцюги, складають на роторних автоматичних лініях. Роторні лінії складаються зі складальних, транспортних механізмів, засобів автоматичного завантаження збиральних деталей, контролю тощо. Процес складання відбувається безперервно, водночас у кожному технологічному роторі за його один повний оборот виконується одна складальна операція [4, 5, 8].

5.3 Автоматичне складання з використанням промислових роботів

Головною перевагою ПР перед складальними машинами є їх спроможність перебудови для складання інших виробів. Наявність пристроїв програмного керування збільшує рівень універсальності цих машин і робить можливим їх використання для автоматичного складання в серійному виробництві [22–25].

Функції будь-якого робота зводяться до низки типових дій у просторі: узяти – покласти, підняти – опустити, повернути, перенести тощо. На базі функцій робота можна здійснити транспортування деталей до місця складання, їх орієнтування, виконання різноманітних технологічних операцій, контроль якості складання тощо.

Суттєвим під час виготовлення роботів є рівень електронних і мікропроцесорних пристроїв, що значно розширюють можливості роботів упродовж складання виробів. Останнім досягненням у цій галузі є пристрої візуального (технічного) зору, тактильні й кінетостатичні (дотик і відчуття тиску) прилади.

Наприклад, візуальні сенсорні пристрої (ВСП) дають змогу:

- спостерігати за процесом з'єднання деталей і керувати адаптивними складальними пристроями;
- комплектувати вузли;

- провадити 100 % контроль зовнішнього вигляду й розмірів виробів та надавати статистичні відомості про характер цих відхилень від норми;
- сортувати вироби за виглядом зовні й розмірами та вибирати потрібну деталь, якщо її потрібно вилучити з рушійного конвеєра, стелажа або тари;
- здійснювати 100 % контроль кольорової характеристики покриття виробів;
- дистанційно керувати процесом складання та ін.

Форма організації складання з використанням ПР залежить від складності виробів. Його можна цілком виконувати або на одному робочому місці або на лінії, оснащій ПР.

Під час автоматичного складання на одному робочому місці навколо робота розміщують постачальників із деталями, набір захоплювальних пристроїв, різні інструменти, якими робот переоснащується сам, а також стаціонарні устаткування (свердлильні головки, преси та ін.), до яких робот подає складаний виріб для виконання ними певних операцій.

Розширення можливості складання дає змогу використовувати «багаторуки» роботи. У джерелах [22–25] 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 з диференційним. Це дає змогу використовувати два або три роботи для обслуговування однієї позиції. Кількість роботів у позиціях можуть змінювати, що забезпечує гнучкість складальних дільниць. Приклади таких автоматичних ліній наведені в літературі [4, 5, 22–25].

Останнім часом усе більше використовують ПР, що комплектують сенсорними системами, такими як «технічний зір», «відчуття тиску» та ін. Не дивлячись на те, що такі ПР

значно дорожчі за звичайні маніпулятори, вони забезпечують підвищення продуктивності та економлять витрати людської праці.

Загалом можна зробити висновок, що в робототехніці відбувається перехід від опанування окремих ПР до створення адаптивних роботизованих технологічних систем, які з успіхом можуть бути використані для автоматизації складального виробництва.

Питання для самоперевірки до розділу 5

1. Сформулюйте теоретичні положення автоматичного складання.
2. Опишіть схеми базування втулки під час її встановлення на вал.
3. Наведіть завдання, що потрібно виконувати під час автоматичного складання.
4. Опишіть особливості автоматичного складання виробів під час використання однопозиційних автоматів.
5. Опишіть особливості автоматичного складання виробів під час використання багатопозиційних автоматів.
6. Зазначте типові функції промислових роботів, використовуваних для автоматичного складання виробів.
7. Зазначте функції промислових роботів, оснащених візуальними сенсорними пристроями.
8. Охарактеризуйте форму організації автоматичного складання з використанням промислових роботів.

6 ПРИКЛАДИ РОЗРОБЛЕННЯ ОКРЕМИХ ЕТАПІВ 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-СК обладнання АТ «Хімпром», місто Суми) призначений для подання сірчаного газу під час вироблення сірчаної кислоти. Основні параметри нагнітача впродовж стискування сірчаного газу наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні параметри нагнітача

Найменування	Кількісний показник
Обсяг продуктивності щодо початкових вимог усмоктування, м ³ /с (м ³ /хв)	27,8 (1 670)
Підвищення тиску (різниця між статичним кінцевим і початковим тисками), Па (мм вод. ст.)	2,94·10 ⁴ (3 000)
Тиск усмоктування на вході в усмоктувальний патрубок, Па (кгс/см ²)	9,32·10 ⁴ (0,95)
Температура газу на вході в усмоктувальний патрубок, К (°С)	313 (40)
Частота обертання ротора нагнітача, с ⁻¹ (об/хв)	50 (3 000)
Споживана потужність, Вт (кВт)	1 050 000 (1 050)
Густина вологого газу за 0°С і 760мм рт. ст., кг/м ²	1,38

Нагнітачу надають обертів від електродвигуна з частотою обертання 50 с⁻¹ (3 000 об/хв). Напрямок обертання ротора нагнітача – проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку електродвигуна. Маховий момент ротора нагнітача становить 334 кг·м². Критична частота обертання ротора – 75 с⁻¹ (4 500 об/хв). Нагнітач має ручне регулювання для подання сірчаного газу засувкою, установленою в усмоктувальному

трубопроводі. Момент на муфті електродвигуна в 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 постачають, без головного електродвигуна – 6,5 т (теоретична).

Підшипники нагнітача змащують турбінним маслом Т₂₂ ГОСТ 32-74 (замінники: ТП-22 ГОСТ 9972-74, ВРEnergy ТН65НВ, TurboOil 27, Vacolaine light, Teresso 43), водночас змішування зазначених масел не допускається. Змащування підшипників нагнітача циркуляційне, під тиском здійснюється за допомогою мастильної системи.

Відцентровий нагнітач складається з корпусу нагнітача, ротора, корпусу підшипників з опорними й опорно-упорними укладками. Виріб має мастильну систему та синхронний турбодвигун потужністю 1 250 кВт, а також асинхронний електродвигун із короткозамкнутим ротором для пуску маслососа, з'єднувальну муфту між нагнітачем і електродвигуном, пристрій для підняття ротора під час розбирання й складання 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 з високоякісної сталі. Робоче колесо в зібраному стані підлягає статичному балансуванню. На кінці вала попереду робочого колеса нагвинчений обтічник 7, що забезпечує вільне подання газу до робочого колеса 2. За робочим колесом на валу 3 насаджена втулка лабіринтного ущільнювання 6 і крильчатка 1 вентиляторного типу, що створює повітряний затвор. Вал має два бурти, що фіксують положення ротора щодо корпусу 14, і передають уздовж осі тиск на опорно-упорний підшипник 15.

На валу 3 насаджена ведуча зубчата шестерня 4, призначена для передавання обертів до головного масляного насоса. На кінці вала насаджена зубчата втулка, за допомогою якої ротор з'єднаний із валом електродвигуна.

У середній частині вал 3 має стовщення, що забезпечує положення центра ваги ротора між опорами. Після складання ротор підлягає динамічному балансуванню. Допустимий небаланс у площині К – 160 г · см, у площині І – 50 г · см (див. креслення 398Н-25СК).

Робоче колесо, втулку лабіринтного ущільнювання, крильчатку й зубчасту шестерню насаджують на вал ротора в гарячому стані. Щоб виконати натяг конічного з'єднання робочого колеса з валом у потрібних межах, робоче колесо насаджують на вал до упору в спеціальне дистанційне кільце (креслення 190-90-7СК), яке вилучають із ротора після його охолодження.

Різниця температури між деталлю, що надівають, і валом повинна бути не меншою за 70 °С. Колесо нагрівають до температури, не більшої ніж 140 °С.

Основне службове призначення ротора полягає в проходженні сірчаного газу крізь поверхні робочого колеса (виконавчі поверхні). Аналіз технічних вимог складального креслення ротора виявив, що для його нормальної роботи під час складання потрібно забезпечити зазор 6–10 мм між робочим колесом і торцем втулки лабіринтного ущільнювання. Крім цього, ротор варто динамічно балансувати з напресованими на ньому деталями. Остаточні основні технічні умови складання ротора можна сформулювати таким чином.

1. Забезпечити зазор 6–10 мм між торцями робочого колеса й втулкою лабіринтного ущільнення. Контроль зазору здійснити дистанційним кільцем (креслення 190Н-90-7СК), розміри якого повинні бути меншими за вимірювану величину на 0,7–0,75 мм.

2. Виконати динамічне балансування ротора з напресованими на ньому деталями. Допустимий небаланс у площині К – 160 г · см, у площині И – 50 г · см.

Вибір та обґрунтування методу досягнення норми точності зазору між робочим колесом і втулкою лабіринтного ущільнювання. За вимогами креслення потрібно забезпечити зазор між робочим колесом і втулкою лабіринтного ущільнювання в 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 та координату середини поля допуску.

Беремо $A_0 = 7(+3;-1)$, $A_0 = 7$ мм; $TA_0 = 4$ мм; $E_cA_0 = +1$ мм = +1000 мкм; $ESA_0 = +3$ мм = +3000 мкм; $EIA_0 = -1$ мм = -1000 мкм.

Потім визначимо номінальні розміри складових ланок згідно з робочими кресленнями деталей. Перевіримо правильність задання номінального розміру A_0 за формулою (1.20). У цьому разі ланки РЛ A_2, A_4, A_{10} беремо як збільшувальні (A_i), а ланки $A_1, A_3, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{11}, A_{12}, A_{13}$ – як зменшувальні (A_j).

Зважаючи на це,

$$\begin{aligned} A_0 &= (A_2 + A_4 + A_{10}) - \\ &- (A_1 + A_3 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{11} + A_{12} + A_{13}) = \\ &= (1753 + 134 + 93) - \\ &- (270 + 138 + 334 + 150 + 670 + 110 + 210 + 28 + 0 + 60) = \\ &= 10 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Для розрахунку РЛ складемо таблицю (див. табл. 6.1), до якої занесемо дані з робочих креслень вала й деталей, що становлять 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; $TA_0 = 4000$ мкм; $E_c A_0 = -2000$ мкм; $ESA_0 = 0$; $ESA_0 = -4000$ мкм.

Якщо допуск замикальної ланки $TA_0 = 4000$ мкм більший за суму допусків складових ланок, тобто $T'A_0 = \sum_i TA_i + \sum_j TA_j$, то РЛ розраховують за методом повної взаємозамінності (способом єдиного квалітету точності) [13, 14].

У цьому разі

$$T'A_0 = \sum_i TA_i + \sum_j TA_j = 210 + 600 + 160 + 400 + 400 + 1000 + \\ + 400 + 35 + 100 + 200 + 84 + 400 + 120 = 4109 \text{ мкм.}$$

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 відносно малою величиною. Тому розрахунок може бути виконаний запропонованим методом.

Середній допуск TA_{cp} складових ланок РЛ визначимо за формулою (1.11)

$$TA_{cp} = \frac{4000}{14-1} \approx 308 \text{ мкм,}$$

де $TA_0 = 4000$ мкм – допуск на розмір замикальної ланки;
 $m = 14$ – загальна кількість ланок РЛ.

Згідно з аналізом $TA_{cp} = 308$ мкм, що дорівнює 10–11-му квалітетам точності розмірів складових ланок РЛ. За рекомендаціями [13, 14] такий РЛ розраховують способом єдиного квалітету точності.

Таблиця 6.1 – Розміри ланок для розрахунку розмірного ланцюга

Позначення ланки (індекс розміру) $A_{i,j}$	Квалітет точності	Номінальний розмір ланки A_i, A_j , мм	Допуск TA_i , TA_j , мкм	Координата середини поля допуску $E_c A_i$, $E_c A_j$, 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 (ДСТУ ISO 286-1:2002, ДСТУ ISO 286-2:2002)
A_2^*	$Js10$	1753	600	0	+300	-300	Розмір, що забезпечують і контролюють за складанням (ДСТУ ISO 286-1:2002, ДСТУ ISO 286-2:2002)
A_3^*	$h10$	138	160	-80	0	-160	Розмір зубчастої втулки 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 та втулкою лабіринтного ущільнювання
A_{13}^*	$h10$	60	120	–60	0	–120	Розмір втулки лабіринтного ущільнювання
A_0	–	10	4 000	–2 000	0	–4 000	Розмір замикальної ланки A_0

* Допуски розмірів, одержані після розрахунку РЛ

Цей спосіб застосовують для РЛ, у яких кількість ланок становить ($m > 4$). За цим способом на всі складові ланки призначають допуски одного квалітету точності.

Потрібний квалітет визначають за кількістю одиниць допуску, однакового для всіх складових ланок РЛ.

Якщо РЛ має стандартні деталі й допуски на їх розміри вже визначені та не можуть бути замінені, то кількість одиниць допуску « a » визначають за формулою

$$a = \frac{(TA_0 - \sum TA_{cm})}{0,45 \cdot \sum \sqrt[3]{Q_i}}, \quad (6.1)$$

де $\sum TA_{cm}$ – сума допусків стандартних деталей (або розмірів), що не можуть бути замінені. У нашому разі це допуски $TA_4, TA_5, TA_6, TA_7, TA_8, TA_9, TA_{10}, TA_{12}$;

$$\sqrt[3]{Q_i} = \sqrt[3]{D_i + 0,001 \cdot D_i},$$

де D_i – середнє геометричне значення, що визначають за таблицею допусків;

i – одиниця допуску;

$\sqrt[3]{Q_i}$ – обчислюють без урахування інтервалів стандартних деталей (розмірів).

У формулі (6.1) Q_i – у мм; TA_0 і TA_{cm} – у мкм.

Зважаючи на це,

$$\begin{aligned} a &= \frac{TA_0 - (TA_4 + TA_5 + TA_6 + TA_7 + TA_8 + TA_9 + TA_{10} + TA_{12})}{0,45 \cdot (\sqrt[3]{Q_1} + \sqrt[3]{Q_2} + \sqrt[3]{Q_3} + \sqrt[3]{Q_{11}} + \sqrt[3]{Q_{13}})} = \\ &= \frac{4000 - (400 + 400 + 1000 + 400 + 35 + 100 + 200 + 400)}{0,45 \cdot (\sqrt[3]{280,5} + \sqrt[3]{1886} + \sqrt[3]{146,97} + \sqrt[3]{23,24} + \sqrt[3]{63,24})} = 76,2. \end{aligned}$$

За кількістю одиниць допуску «*a*» визначимо квалітет точності розмірів. Якщо кількість «*a*» збігається з табличним і відповідає 10–12 квалітетам та вище, то на всі ланки ланцюга, крім однієї, що є регулювальною, призначають допуски за цим квалітетом. Беремо «*a*» = 64, що відповідає 10-му квалітету точності [7, 13].

Згідно з ДСТУ ISO 286-2:2002 визначимо й запишемо в таблицю 6.1 допуски та номінальні відхилення розмірів $A_1, A_2, A_3, A_{11}, A_{13}$. Допуск регулювальної ланки A_p визначимо за формулою

$$TA_p = TA_0 - \sum TA_{i,j-1}, \quad (6.2)$$

де $\sum TA_{i,j-1}$ – сума допусків збільшувальних і зменшувальних ланок (за винятком регулювальної ланки, що є зменшувальною).

Регулювальною може бути будь-яка складова ланка РЛ (бажано з найбільшим номінальним значенням). Беремо $A_p = [A_7] = 670 \pm 0,2$ мм, що є зменшувальною ланкою.

З огляду на це

$$TA_p = 4000 - (210 + 600 + 160 + 400 + 400 + 1000 + 35 + 100 + 200 + 84 + 400 + 120) = 291 \text{ мкм.}$$

Визначимо координату середини поля допуску регулювальної ланки E_{cA_p} та її відхилення.

$$\begin{aligned} E_{cA_p} &= (E_{cA_2} + E_{cA_4} + E_{cA_{10}}) - (E_{cA_1} + E_{cA_3} + E_{cA_5} + E_{cA_6} + \\ &+ E_{cA_8} + E_{cA_9} + E_{cA_{11}} + E_{cA_{12}} + E_{cA_{13}}) - E_{cA_0} = (0 + 0 + 0) - \\ &- (-105 - 80 + 0 + 0 - 17,5 + 50 - 42 + 300 - 60) - (-2000) = \\ &= +1954,5 \text{ мкм;} \end{aligned}$$

$$ESA_p = E_c A_p + \frac{TA_p}{2} = 1954,5 + \frac{291}{2} = +2100 \text{ мкм},$$

$$EIA_p = E_c A_p - \frac{TA_p}{2} = 1954,5 - \frac{291}{2} = +1809 \text{ мкм}.$$

Перевіримо розрахунки:

$$ESA_p - EIA_p = TA_p = 2100 - 1809 = 291 \text{ мкм}.$$

Остаточню візьмемо розмір $[A_7] = 672(0; -0,2)$ мм.

Перевіримо правильність виконаних розрахунків:

$$\begin{aligned} A_0 = & 1753 \pm 0,3 + 134 \pm 0,2 + 93 \pm 0,1 - (270_{-0,21} + 138_{-0,16} + \\ & + 334 \pm 0,2 + 150 \pm 0,5 + 672_{-0,2} + 110^{+0,035} + 210^{+0,1} + 28_{-0,084} + \\ & + 0_{+0,1}^{+0,5} + 60_{-0,12}) = 8_{-1,935}^{+1,974} \text{ мм}. \end{aligned}$$

Розрахований розмір перебуває 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 й надати нового значення – $[A_7] = 672(0; -0,2)$ мм, урахувавши точність операційного розміру та засіб вимірювання.

2. Рішення РЛ дає змогу відмовитися від остаточного припасування розмірів на стадії складання ротора та 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 та схеми складання виробу.

Аналіз службового призначення вузла й розрахунок РЛ дає змогу встановити послідовність виконання технічних вимог на складальну одиницю.

Спочатку базову деталь – вал (поз. 3) установлюють на опорний (поз. 16) та опорно-упорний (поз. 15) підшипники. Потім шабрують втулки підшипників за розмірами шийок вала $\varnothing 125^*$ і $\varnothing 100^*$. Шабрування виконують до появи блискучих точок, що з'являються на поверхнях отворів втулок під час обертання в них нефарбованих шийок вала. Якщо до роботи вала ставлять високі вимоги, то, крім шабрування, притирають поверхні вала та втулок (спочатку отвори втулок по спеціальному притиру – «фальшивому» валу, а завершують цю роботу по робочому валу). Таке припасування забезпечує якість контакту вала з підшипниками. Під час роботи цього вузла тепловіддача від вкладишів (бабіт Б83 ДСТУ EN 611-1:2004) до корпусу (поз. 14) не перевищує $70\text{ }^\circ\text{C}$ і внаслідок цього забезпечує безпеку плавлення підшипників.

Складання ротора починають з установки вала 3 (див. рис. 6.1) опорними шийками на підшипники 15 і 16. У шпонковий паз уставляють шпонку 11, потім пресують зубчасту шестерню 4, контролюють розмір $0,1\text{ мм}$, укручують гвинт 13 та кернують його в трьох місцях. Потім уставляють дві шпонки 5, свердлять два отвори $\varnothing 6,65\text{ мм}$ і нарізають різь $M8 \times 1,25$, укручують гвинти 12, пресують зубчасту втулку (креслення 295-27-02). Після цього складання відбувається з другого кінця вала. Ставлять шпонку 9, пресують крильчатку 1, втулку лабіринтного ущільнювання 6, роблять контроль межі зміни розміру $0,1\text{--}0,5\text{ мм}$ ($A_{12} = 0(+0,5; +0,1)\text{ мм}$). Потім ставлять дві шпонки 8 і пресують робоче колесо 2, виконують контроль розмір $A_0 = 8 \pm 2\text{ мм}$ дистанційним кільцем (креслення 190Н-90-7СК), а розмір $A_2 = 1753 \pm 0,3\text{ мм}$ – спеціальним шаблоном.

Якщо задані ТВ виконані, то ставлять шайбу 10 і її вусики заводять в один з отворів $M24$ маточини робочого колеса 2. Потім

вкручують обтічник 7, водночас лиска обтічника не повинна збігатися з вусиком шайби 10.

Схему складання ротора наведено 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 $\varnothing 100H7/r6$ (див. табл. 6.2). Складання відбувається за методом теплової дії. Втулку лабіринтного ущільнення гріють у масляній ванні індукційним пристроєм. Допустима температура нагріву $[T] = 140$ °С.

Спочатку розрахуємо натяг з'єднання $\varnothing 100H7/r6(+0,035; 0 / +0,073; +0,051)$, у якому $ES = 35$ 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.

Потім 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_{Σ} натягу обчислюють за формулою

$$t_{\Sigma} = N_{max} - N_{min} = -73 - (-16) = -57 \text{ мкм}.$$

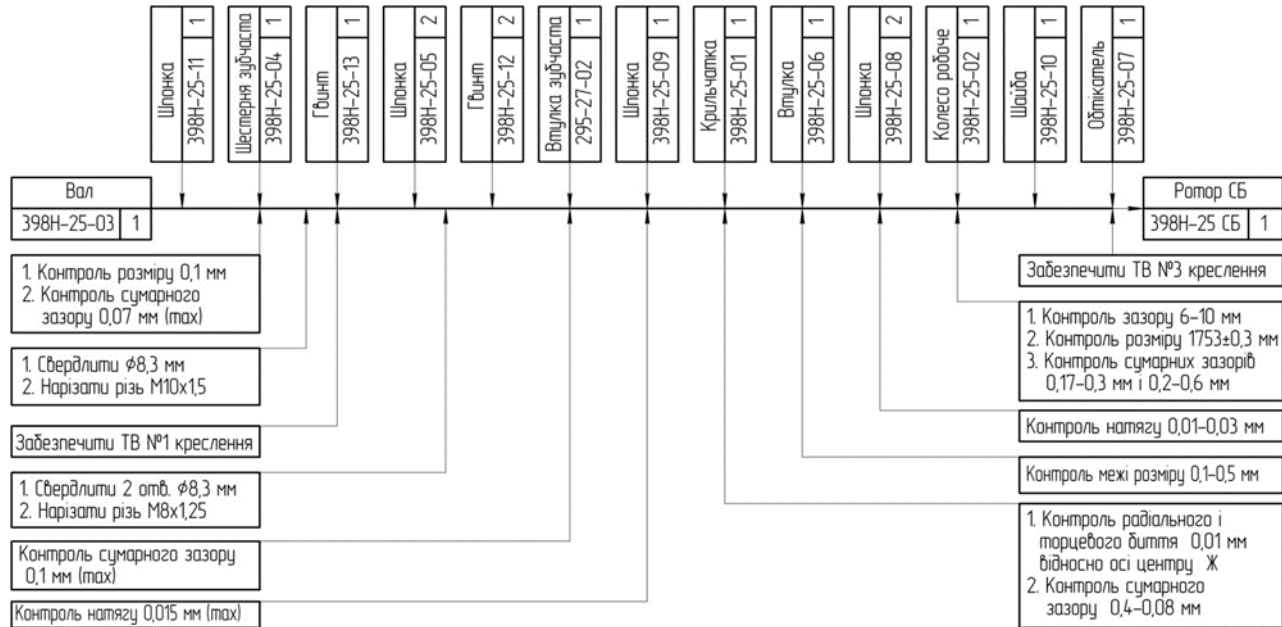


Рисунок 6.2 – Схема складання ротора (креслення 398H-25CK)

Таблиця 6.2 – Технологічна карта складання ротора

Но- мер пере- ходу	Зміст переходу	Інструмент		Обладнання й пристрої	Розряд робіт- ника	Норма штуч- ного часу, хв
		різальний і монтажний	контрольно- вимірюваль- ний			
1	2	3	4	5	6	7
1	Уставити вал 3 діаметрами $\varnothing 125$ і $\varnothing 100$ на опорний 16 та опорно-упорний 15 підшипники корпусу 14	–	–	Стаціонарна підвісна таль, $Q = 2$ т ГОСТ 22584-96	3	2,4
2	Шабрувати поверхні втулок підшипників 15 і 16	Шабер механізований, ручний	Еталон шорсткості ДСТУ 2413-94; «фальшивий вал»	Важільно-шатунний механізм (пристрій для шабрування)	5	35
3	Пресувати шпонку 11 у паз вала 3, виконати натяг 12Н7/г6	Молоток слюсарний; дерев'яна підкладка	Штанген-циркуль ШЦ І-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018	–	3	0,59
4	Гріти зубчасту шестерню 4 до температури 137 °С	–	Термометр 100–200 °С ДСТУ ISO 1770:2005	Індукційний пристрій $W = 100\text{--}150$ 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 шестерню 4 із валом 3; забезпечити посадку $\varnothing 125H7/s6$.	Спеціальний захват	Набір щупів 0,01–0,1 мм	–	4	0,95
7	Свердлити отвір $\varnothing 8,3$ мм довжиною 22(+1; 0) мм	Свердло $\varnothing 8,3$ 2300-0198 ДСТУ ISO 235:2018, P6M5	Пробка $\varnothing 8,3$ ПР/НЕ ГОСТ 14810-69	Електрична свердлильна машина II класу захисту з подвійною ізоляцією; двигун типу КНД, модель ІС 1019А, N = 340 Вт	4	1,8

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
8	Нарізати різь $M10 \times 1,5$ довжиною 18 ± 1 мм	Мітчики №1, №2 $M10 \times 1,5$ H2 P6M5 ДСТУ ISO 8051:2015	Нарізна пробка $M10 \times 1,5$ ПР/НЕ ДСТУ ISO 1502:2006	Електрична різенарізна ручна машина моделі ЄП-3401, N = 0,4 кВт	4	1,8
9	Закрутити гвинт 13 до упору різі	Слюсарно- монтажна викрутка, тип 1 ГОСТ 30092-93	–	–	2	0,23
10	Стопорити гвинт 13, кernити його в трьох місцях	Керн $d = 2$ мм	–	–	2	0,1
11	Пресувати дві шпонки 5 у пази вала 3; забезпечити посадку з натягом 32N9/h9	Слюсарний молоток; дерев'яна підкладка	Штанген- циркуль ШЦ І-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018	–	3	3

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
12	Свердлити два отвори Ø6,65 мм довжиною 29 мм	Свердло Ø6,65 P6M5 2300-0198 ДСТУ ISO 235:2018	Пробка Ø6,65ПР/НЕ ГОСТ 14810-69	Електрична свердлильна машина II класу захисту з подвійною ізоляцією; двигун типу КНД, модель ИС 1019А, N = 340 Вт	4	3,6
13	Нарізати дві різі M8×1,25 довжиною 14 мм	Мітчики №1, №2 M8×1,25 H2 P6M5 ДСТУ ISO 8051:2015	Нарізна пробка M8×1,25 ПР/НЕ ДСТУ ISO 1502:2006	Електрична різенарізна ручна машина моделі ЄП-3401, N = 0,4 кВт	4	3,6
14	Закрутити два гвинти 12 до упору різі	Слюсарно- монтажна викрутка, тип 1 ГОСТ 30092-93	–	–	2	0,49

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
15	Транспортувати зубчасту втулку (креслення 295-27-02) із 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 $\varnothing 120 H7/r6$	Спеціальний захват	Набір щупів 0,01-0,1 мм	–	4	1,3
17	Пресувати шпонку 9 у паз вала 3, забезпечити посадку з найбільшим натягом 0,015 мм	Молоток слюсарний; дерев'яна підкладка	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018	–	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 $\varnothing 100 H7/s6$	Спеціальний захват	Набір щупів 0,01–0,1 мм	–	4	0,95

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4	5	6	7
20	Транспортувати втулку лабіринтного ущільнювання 6 із тернопечі до робочого місця (час перенесення 50–80 с)	–	–	Візок із пристроєм для піднімання вантажу $Q = 0,75$ т	2	1,2
21	Установити втулку лабіринтного ущільнювання 6 на вал 3; забезпечити посадку $\varnothing 100H7/r6$ і зазор 0,1–0,5 мм	Спеціальний захват	Набір щупів 0,01–0,1 мм	–	4	0,6
22	Пресувати дві шпонки 8 у пази вала 3; забезпечити натяг 24H9/n8	Слюсарний молоток; дерев'яна підкладка	Штангенциркуль ШЦ І-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018	–	3	2,8
23	Транспортувати робоче колесо 2 із тернопечі 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
24	Установити колесо 2 на вал 3; забезпечити посадку $\varnothing 98,6H7/n6$ мм	Спеціальний захват	Набір щупів 0,01–0,1 мм	–	4	2,6
25	Контроль розмірів $A_0 = 8 \pm 2$ мм $i A_2 = 1\ 753 \pm 0,3$ мм	–	Кільце (креслення 190Н-90-7СК); спеціальний шаблон $l = 2\ 000$ мм (ціна поділки – 0,1 мм)	–	5	1,8
26	Установити стопорну шайбу 10 на вал 3	–	–	–	4	0,22
27	Закрутити обтічник 7; забезпечити незбігання лиски обтічника з вусиком шайби 10; завести вусик шайби 10 в один з отворів $M24$ маточини робочого колеса 2	Спеціальний вороток $\varnothing 15$, $l = 300$ мм. Слюсарний молоток	–	–	3	0,42
Загальна трудомісткість складання ротора						95,8

Середнє значення натягу $E_c N$ та імовірне розсіювання T_p натягу визначають за формулами [7]:

$$E_c N = E_c - e_c - 0,1(T_o + T_B) = 17,5 - 62 - 0,1(35 + 22) = -50,2 \text{ мкм},$$

$$T_p = \left(\frac{1}{k_0} \right) \sqrt{T_o^2 + T_B^2} = \sqrt{35^2 + 22^2} = 41,34 \text{ мкм},$$

де $k_0 = 1,0$ – коефіцієнт відносного розсіювання «натягу».

Найбільший N_{max} і найменший N_{min} імовірні натяги обчислюють за формулами:

$$N_{p \max} = E_c N - 0,5T_p = -50,2 - 0,5 \cdot 41,34 = -70,87 \text{ мкм} \approx -71 \text{ мкм},$$

$$N_{p \min} = E_c N + 0,5T_p = -50,2 + 0,5 \cdot 41,34 = -29,53 \text{ мкм} \approx -29 \text{ мкм}.$$

Потім визначимо силу пресування P [Н], що повинна забезпечити з'єднання цих деталей, за формулою

$$P = f \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot p_0,$$

де f – коефіцієнт тертя (зчеплення) подовжнього зміщення сталевих деталей; $f = 0,08-0,1$ [7];

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, що виникає під дією натягу N , МПа.

Тиск p_0 визначають за формулою [7]:

$$p_0 = \frac{E_c N \cdot 10^{-3}}{d \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)},$$

де $E_c N$ – середнє значення натягу, мкм; $E_c N = 50,2$ мкм;

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 = \frac{100^2 + 0^2}{100^2 - 0^2} - 0,3 = 0,7,$$

$$C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{138^2 + 100^2}{138^2 - 100^2} + 0,3 = 3,5,$$

де C_1, C_2 – безрозмірні коефіцієнти для втулки й вала відповідно;

$E_1 = E_2 = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модулі пружності матеріалів, відповідно втулки та вала;

$\mu_1 = \mu_2 = 0,3$ – коефіцієнти Пуассона матеріалів, відповідно втулки й вала;

d_1 – діаметр порожнистого вала (для суцільного вала $d_1 = 0$);

$d_2 = 138$ мм – діаметр втулки лабіринтного ущільнювання.

У цьому разі

$$p_0 = \frac{50,2 \cdot 10^{-3}}{100 \left(\frac{0,7}{2,1 \cdot 10^5} + \frac{3,5}{2,1 \cdot 10^5} \right)} \approx 25 \text{ МПа.}$$

У результаті сила пресування становитиме

$$P = 0,1 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 60 \cdot 25 = 47,1 \text{ кН.}$$

Під час пресування зростає діаметр захоплювальної деталі (Δd_2), тобто діаметр втулки лабіринтного ущільнювання. Зростання діаметра визначають за формулою [7]:

$$\Delta d_2 = \frac{2p_0 \cdot d_2 \cdot d^2 \cdot 10^3}{E_2(d_2^2 - d^2)} = \frac{2 \cdot 25 \cdot 138 \cdot 100^2 \cdot 10^3}{2,1 \cdot 10^5 (138^2 - 100^2)} \approx 0,363 \text{ мкм.}$$

Зростання діаметра приблизно дорівнює 0,4 мкм, що порівняно з допуском (400 мкм) є незначною величиною. Цього зростання в розрахунках можна не враховувати.

Визначимо температуру й час нагрівання з'єднаних деталей.

Під час нагрівання втулки збільшується діаметр Δd її посадочної поверхні, що визначають за формулою [7]:

$$\Delta d = N_{max} + i,$$

де $i = 12$ мкм – гарантований зазор, який забезпечує потрібне з'єднання під час складання (рекомендовано брати мінімальне значення зазору посадки $\varnothing 100H7/g6$).

Зважаючи на це,

$$\Delta d = 73 + 12 = 85 \text{ мкм.}$$

Температуру нагрівання T_B , що повинна бути на початку з'єднання втулки лабіринтного ущільнювання з валом, визначають 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 переносу деталі з нагрівального пристрою на складальну позицію неминуче її охолодження. Визначимо температуру T_A , яку повинна мати деталь на початку її вивантаження з нагрівального пристрою:

$$T_A = T + \frac{T_B - T}{e^{-kt}},$$

де T – температура повітря, °С; беремо $T = 20$ °С;

k – показник, який визначають експериментально і залежить від розмірів та конфігурації деталі, її матеріалу й методу нагрівання. За даними праці [7] $k = 0,78$;

t – час переносу деталі з нагрівального пристрою на складальну позицію; беремо $t = 1,2$ хв (див. табл. 6.2);

$e = 2,72$ – основа логарифма.

З огляду на це

$$T_A = 20^\circ + \frac{70,8^\circ - 20^\circ}{2,72^{-(0,78 \cdot 1,2)}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура нагрівання $T_A = 130$ °С < $[T] = 140$ °С визначена технічними вимогами складаного з'єднання. Отже, потрібні технічні норми точності складання втулки лабіринтного ущільнювання з валом виконуються і режим з'єднання розрахований правильно.

6.2 Аналіз складального розмірного ланцюга двоходового крана

Службове призначення виробу та опис його роботи.

Розвиток нафтогазового комплексу України потребує виготовлення надійної та якісної гідравлічної й пневматичної апаратури для її експлуатації. Одним із таких виробів є двоходовий кран, установлюваний на трубопроводах. Газ або рідина надходить через отвір I у порожнини пробки та розподіляється на два трубопроводи II і III під тиском 0,2 МПа (див. рис. 6.3 а, б, в, г).

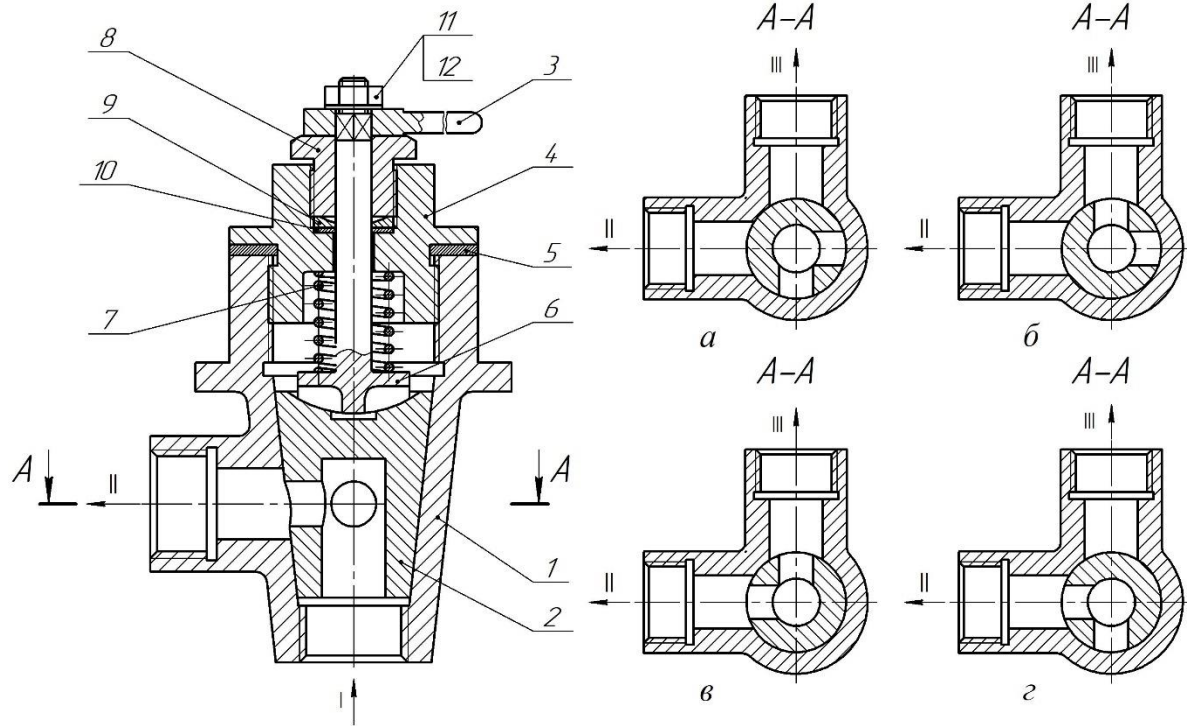


Рисунок 6.3 – Двоходовый кран: а – положения (1); б – положения (2);
в – положения (3); г – положения (4)

Спочатку пробка 2 перебуває в зачиненому положенні (1) і газ або рідина не надходить у трубопровід II або III (див. рис. 6.3, а). Під час обертання рукоятки 3 в положення (2) на кут 90° газ або рідина надходить у трубопровід III (див. рис. 6.3, б). Для одночасної подачі палива в трубопроводи II і III (положення 3), рукоятку крана варто повернути на кут 180° від початкового положення 1 (див. рис. 6.3 в). Для подачі газу або рідини в трубопровід II (положення 4), пробку крана обертають на кут 270° від положення (1) (див. рис. 6.3 г). Робота двоходового крана на різних режимах повинна забезпечуватися герметичністю кінцевого з'єднання пробки з корпусом. Це основна вимога до експлуатації виробу.

Розглянемо роботу двоходового крана. Для змінювання напрямку проходження робочого середовища крізь порожнини крана необхідно рукояткою 3 повернути на потрібний кут кінчну пробку 2. Під час обертання або знаходження пробки в статичному положенні обов'язково варто забезпечити герметичність з'єднання. Для цього кінчну пробку 2 притирають за місцем із внутрішньою поверхнею корпусу 1. Між кришкою 4 і корпусом 1 встановлюють прокладку 5. Ключ 6 своїми виступами з'єднують із пазами пробки 2. Пружина 7 передбачена для надійного притиснення кінчних поверхонь пробки 2 та корпусу 1. Для внеможливлення витікання рідини з порожнини виробу стрижень ключа 6 ущільнений прокладкою 10. Плавність обертання ключа 6 регулюють гайкою 8 і шайбою 9. Гайка 11 із шайбою 12 фіксують розміщення рукоятки 3 на стрижні ключа 6. Для регулювання жорсткості пружини 7 використовують спеціальну прокладку 5, товщину якої варто розрахувати.

Наведена робота крана дає змогу визначити службове призначення виробу. Відповідно до стану середовища (рідина або газ) можна сформулювати низку основних вимог, що необхідно забезпечити під час роботи двоходового крана.

Припустимо, що середовищем є рідина. Сформулюємо вимоги до виконання краном його службового призначення.

1. Кран передбачений для розподілення подачі палива з бака до бензонасоса.

2. Максимальний об'єм палива, що проходить крізь порожнини крана під тиском 0,2 МПа, становить 0,6 м³/год (600 л/год).

3. Навантаження на рукоятку, що обертає пробку, $P = 5 \pm 1$ Н.

4. Кран передбачений для роботи з усіма марками автомобільного палива: дизельним паливом (ДП) ДСТУ 3868-99, бензином марок А92, А95, А98 ДСТУ 4063-2001.

5. В умовах підвищеного забруднення, наявності мастил та інших речовин повітряного середовища, роботи в умовах відносної вологості повітря наближеної до 100 %, можлива незначна корозія елементів виробу.

6. Діапазон температури експлуатації виробу – (–40– +60) °С.

7. Допустимий рівень шуму під час роботи виробу – не більший за 70 дБ.

8. Кран передбачений для безперервної роботи, без обслуговування. Термін використання до планового ремонту або регулювання – не менше ніж 2 000 робочих циклів.

9. Перед подачею палива в кран необхідно встановити очисний елемент, який затримує сторонні частинки, більші за 0,01 мм, що надходять із бака разом із паливом.

10. Маса крана – 0,24 кг. Габарити: 125 мм × 125 мм × 80 мм.

Припустимо, що кран використовують для розподілення потоків газу. Сформулюємо вимоги до службового призначення крана для цього випадку.

1. Двоходовий кран є складовою частиною батареї, передбаченої для зберігання й випуску газової вогнегасної речовини (ГВР). Абревіатура газової вогнегасної речовини в разі постачання батареї на експорт – ГВРВ.

2. Установки передбачені для гасіння пожеж класів А, В, С згідно з ДСТУ EN 2:2014 та електричного обладнання під напругою до 1 000 В, що функціонують разом із приладами установок пожежної сигналізації.

3. Робоче середовище – двоокис вуглецю, що має високий тиск або сорт згідно з ДСТУ 4817:2007.

4. Батареї використовують за кліматичним виконанням У2 за ДСТУ ІЕС 60654-1-2001 для роботи в інтервалі температур 263–323 °К.

5. Робота за відносної вологості повітря, не вищої за 80 %, і 298 °К (+25 °С).

6. Робочий тиск – 0,5 МПа.

7. Маса – 20,5 кг. Габарити 230 мм × 150 мм × 270 мм.

В обох наведених службових призначеннях виробу основною вимогою є забезпечення надійного герметичного з'єднання пробки та корпусу. Невиконання цієї вимоги не дасть змоги виробу виконувати своє службове призначення безпосередньо.

Технічні вимоги (норми точності) виробу, їх аналіз або складання. Основна вимога службового призначення двоходового крана – герметичність. Кран використовують для розподілення рідкого палива по мережі трубопроводів. Основна мета крана – подання потрібного об'єму рідини до трубопроводів, що забезпечують точним виготовленням отворів пробки та корпусу. Вимогу герметичності реалізують конічними (виконавчими) поверхнями корпусу й пробки, високою точністю їх розмірів та низькою шорсткістю сполучених поверхонь. Для надійної роботи з'єднання необхідно забезпечити високу точність форми конічних поверхонь корпусу й пробки, а на стадії складання – потрібну посадку. Стабільна, надійна герметичність з'єднання за час експлуатації виробу залежить від жорсткості пружини, що забезпечує необхідний тиск на пробку.

Отже, можна навести перелік технічних вимог (норм точності) для складання двоходового крана (див. креслення МЧ00.21.00.00 СК).

1. Притерти сумісно конічні поверхні пробки поз. 2 і корпусу поз. 1. Забезпечити герметичність їх з'єднання.

2. Виконати контроль герметичності з'єднання пробки поз. 2 та корпусу поз. 1 мильним розчином під тиском 5 МПа рідкого

палива впродовж 10 хв.

3. Регулювати жорсткість пружини поз. 7 набором прокладок поз. 5 на потрібний тиск.

4. Регулювати плавність обертання стрижня ключа поз. 6 гайкою поз. 8.

5. Фіксувати чотири положення рукоятки поз. 3 рисками на кришці поз. 4 для позначення напрямку потоку рідини по трубопроводах.

6. Неробочі поверхні фарбувати емаллю ЕП-51, слонова кістка згідно з ДСТУ ISO 12944-5:2020.

7. Маркувати: номер креслення ударним способом, шрифтом 3-Пр.5 згідно з ДСТУ 8768:2018.

Вибір та обґрунтування методу для досягнення норми точності виробу. Перша вимога службового призначення – герметичність крана, що повинна зберігатися впродовж усього терміну експлуатації виробу. Вимога реалізується конічними поверхнями корпусу 1 та пробки 2 і потребує призначення потрібної точності розмірів і форм сполучених поверхонь, що варто забезпечувати на стадії складання (див. рис. 6.4).

У виробничих умовах потрібної посадки конічних поверхонь не розраховують, а призначають на підставі досвіду експлуатації подібних виробів у промисловості. Необхідну вимогу забезпечують окремою обробкою конічних поверхонь пробки й корпусу проміжним інструментом – притиром, а потім сумісним притиранням сполучених поверхонь. Відсутність аналізу конструкції збільшує трудомісткість оздоблювального етапу виготовлення виробу. Перевірковий розрахунок дійсної величини допуску конічної ланки h дає змогу спростити поставлену вимогу (див. рис. 6.5).

Для виконання завдання потрібно побудувати РЛ, за яким визначають розмірні зв'язки в конструкції виробу.

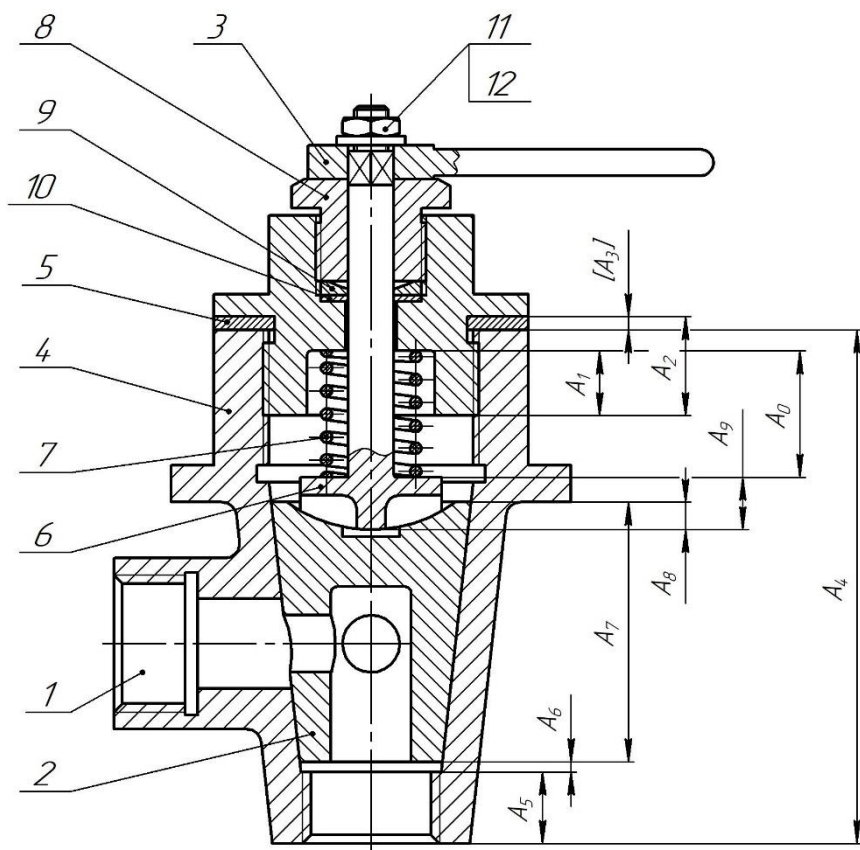


Рисунок 6.4 – Складальне креслення двоходового крана та його розмірний ланцюг

Розв'язання РЛ дасть змогу обґрунтувати метод досягнення точності виробу, вибраний конструктором, а також точність розмірів технологічного оснащення, вимірювальних пристроїв, допусків на робочих кресленнях деталей двоходового крана.

Умова завдання: «Забезпечити під час складання кінцевий розмір $h = 1,8(+0,2; -0,1)$ мм» (див. рис. 6.5).

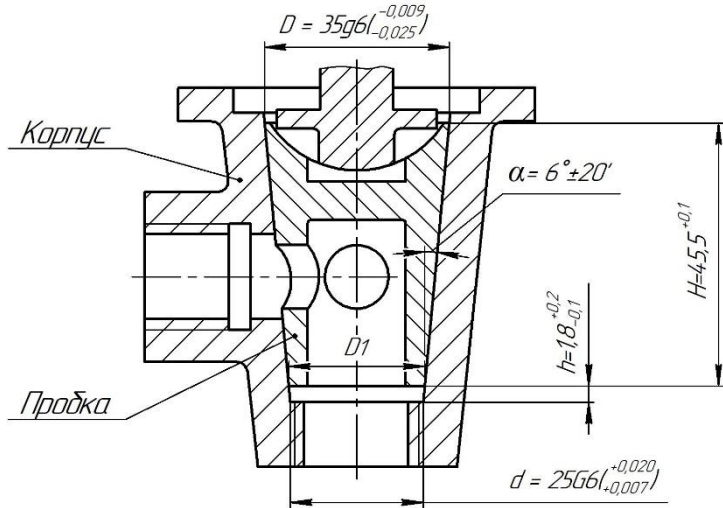


Рисунок 6.5 – Схематизоване креслення складальної одиниці корпусу крана й пробки

Першим кроком є виконання перевіркового розрахунку дійсної величини допуску кінцевої ланки h . Розрахований допуск Th необхідно порівняти з допуском креслення, а саме: перевірити правильність розмірів кінчних поверхонь пробки й корпусу.

За схемою РЛ складемо рівняння номінальних значень розмірів (див. рис. 6.6).

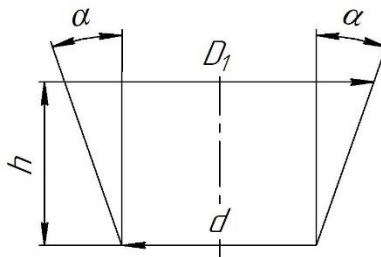


Рисунок 6.6 – Розмірний ланцюг складальної одиниці корпусу та пробки

$$h = \frac{D_1 - d}{2 \operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (6.3)$$

Діаметр D_1 визначимо з детального РЛ пробки (див. рис. 6.7).

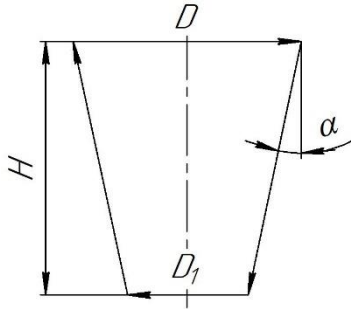


Рисунок 6.7 – Детальний розмірний ланцюг пробки

$$D_1 = D - 2H \cdot \operatorname{tg}(\alpha). \quad (6.4)$$

Розрахований діаметр D_1 за формулою (6.4) підставимо в рівняння (6.3) і обчислимо кінцеву ланку h

$$h = \frac{D - d}{2 \operatorname{tg}(\alpha)} - H.$$

Визначимо коефіцієнти зведення складових ланок:

$$\frac{\partial h}{\partial H} = 1,$$

$$\frac{\partial h}{\partial D} = \frac{1}{2\operatorname{tg}(\alpha)} = \frac{1}{2\operatorname{tg}(6^\circ \pm 20')} \approx 4,757,$$

$$\frac{\partial h}{\partial d} = -\frac{1}{2\operatorname{tg}(\alpha)} = -\frac{1}{2\operatorname{tg}(6^\circ \pm 20')} \approx -4,757.$$

Кут α має постійне значення, тому що технологічний процес виготовлення конічних поверхонь пробки й корпусу забезпечує дуже малі відхилення їх кутів у межах усього обсягу партії деталей.

Другим кроком визначимо середні значення складових ланок (розміри, що відповідають середині полю допуску):

$$E_c D = \frac{ESD + EID}{2} = \frac{34,991 + 34,975}{2} = 34,983 \text{ мм},$$

$$E_c d = \frac{ESd + Eid}{2} = \frac{25,020 + 25,007}{2} = 25,0135 \text{ мм},$$

$$E_c H = \frac{ESH + EIH}{2} = \frac{45,6 + 45,5}{2} = 45,55 \text{ мм}.$$

Обчислимо середнє значення кінцевої ланки:

$$\begin{aligned} E_c h &= \frac{E_c D - E_c d}{2\operatorname{tg}(\alpha)} - E_c H = \\ &= \frac{34,983 - 25,0135}{2\operatorname{tg}(6^\circ \pm 20')} - 45,55 = 1,879 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Визначимо допуск Th кінцевої ланки за формулою [13]:

$$Th' = \left| \frac{\partial h}{\partial D} \right| TD + \left| \frac{\partial h}{\partial d} \right| Td + \left| \frac{\partial h}{\partial H} \right| TH =$$

$$= 4,757 \cdot 0,016 + 4,757 \cdot 0,013 + 1 \cdot 0,1 = 0,238 \text{ мм.}$$

Беремо симетричне поле розміщення допуску щодо середнього розміру Ech та обчислимо його граничні відхилення за формулами

$$ESh = E_c h + \frac{Th}{2} = 1,879 + \frac{0,238}{2} = +1,998 \text{ мм,}$$

$$EIH = E_c h - \frac{Th}{2} = 1,879 - \frac{0,238}{2} = +1,76 \text{ мм.}$$

Отже, остаточно 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 вимогою креслення $h = 1,8(+0,2; -0,1)$ мм і визначимо, що розрахований допуск не виходить за граничні відхилення допуску за кресленням. Зважаючи на це, точність розмірів D , d , H , заданих конструктором, забезпечить службове призначення виробу.

Друга вимога під час складання конструкції двоходового крана – забезпечення розміру стиснутої пружини $22 \pm 0,15$ мм. Пружина тисне на пробку силою $P = 5 \pm 0,5$ Н, що під час експлуатації виробу повинна бути постійною. Наведені параметри є вихідними.

Для виконання завдання складаємо РЛ, у якому замикальною ланкою є розмір стиснутої пружини $A_0 = 22 \pm 0,15$ мм, а складовими ланками – розміри деталей, із яких складається виріб.

Методом досягнення точності замикальної ланки візьмемо метод регулювання, тому що конструкцією виробу передбачена спеціальна деталь – прокладка, яка безпосередньо впливає на точність ланки A_0 і є ланкою-компенсатором (див. рис. 6.4).

Побудуємо РЛ для ланки A_0 і визначимо кількість збільшувальних та зменшувальних ланок (див. рис. 6.8).

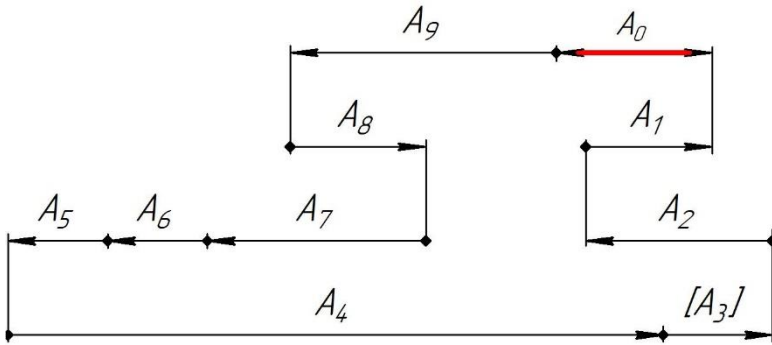


Рисунок 6.8 – Розмірний ланцюг двоходового крана

$$A_0 = A_1 - A_2 + A_3 + A_4 - A_5 - A_6 - A_7 + A_8 - A_9, \quad (6.5)$$

де A_1, A_3, A_4, A_8 – збільшувальні ланки;

A_2, A_5, A_6, A_7, A_9 – зменшувальні ланки.

Запишемо в таблицю (див. табл. 6.3) номінальні розміри ланок, їх допуски й граничні відхилення, наведемо потрібний коментар.

Щоб забезпечити допуск $TA_0 = 0,3$ мм замикальної ланки A_0 , потрібно одну з ланок РЛ зробити регульованою. На всі ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначені легко здійснювані допуски згідно із середньо-економічною точністю методів механічної обробки [12]. Потрібна точність замикальної ланки буде забезпечена набором прокладок однакових або різних товщин.

Таблиця 6.3 – Розміри ланок для розрахунку розмірного ланцюга

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 $E_cA_{i,j}$ мкм	Верхнє граничне відхилення ланки $ESA_{i,j}$ мкм	Нижнє граничне відхилення ланки $EIA_{i,j}$ мкм	Коментар
A_0	–	22	300	0	+150	–150	Довжина пружини в стиснутому стані
$A_1 = B_1$	$js12$	11,3	180	0	+90	–90	Розмір виймки кришки
$A_2 = B_3$	$js12$	17,3	180	0	+90	–90	Довжина сходинки з різьбою кришки
$A_4 = B_3$	$h12$	90	350	–175	+0	–350	Довжина корпусу
$A_5 = B_4$	$h12$	15	180	–90	0	–180	Довжина отвору корпусу
$B_0 = [A_3]^*$	$h7^*$	2,3*	10*	–5*	+0*	–10*	Розмір ланки-компенсатора
$A_6 = B_5$	–	1,8	300	+50	+200	–100	Розмір частини конічного отвору корпусу
$A_7 = B_6$	$h10$	45,5	100	–50	0	–100	Довжина пробки
$A_8 = B_7$	$js12$	4,8	120	0	–60	+60	Розмір виймки пробки під ключ
$A_9 = B_8$	$h12$	9,3	150	–75	0	–150	Розмір ключа
B_9	$h9$	22	50	–25	0	–50	Розмір довжини еталона
B_{10}	–	0	200	+100	+200	0	Похибка установки еталона

* Параметри ланки-компенсатора $[A_3]$, занесені до таблиці після розрахунку РЛ

Із рівняння (6.5) визначимо номінальний розмір ланки-компенсатора $[A_3]$:

$$\begin{aligned} [A_3] &= A_0 - A_1 + A_2 - A_4 + A_5 + A_6 + A_7 - A_8 + A_9 = \\ &= 22 - 11,3 + 17,3 - 9,0 + 12,5 + 1,8 + 45,5 - 4,8 + 9,3 = 2,3 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Для визначення точності розміру A_0 методом регулювання потрібно передчасно зібрати корпус 1, пробку 2, ключ 6 та еталон 8. Останній імітує пружину в стиснутому стані (див. рис. 6.9). Потім необхідно виміряти зазор $B_0 = [A_3]$ і згідно з його значенням визначити розмір компенсатора, що під час кінцевого складання крана компенсує похибку замикальної ланки A_0 .

Точність розміру A_0 залежить від виготовлення еталона T_{B_9} , точності його встановлення $T_{B_{10}}$, точності вимірювання зазору T_{B_0} між корпусом і кришкою, точності виготовлення компенсатора T_ω і не залежить від точності складових ланок РЛ «А».

Значення $TA_0 = 0,3$ мм допускає відхилення розмірів еталона $T_{B_9} = 0,05$ мм (7-й квалітет точності), похибку встановлення еталона $T_{B_{10}} = 0,2$ мм, точність вимірювання зазора $T_{B_0} = 0,01$ мм, точність виготовлення компенсатора $T_\omega = 0,01$ мм (7-й квалітет точності).

Отже,

$$\begin{aligned} TA_0 &= 0,3 \text{ мм} > T_{B_9} + T_{B_{10}} + T_{B_0} + T_\omega = \\ &= 0,05 + 0,2 + 0,01 + 0,01 = 0,27 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Визначені дані запишемо в таблицю 6.3.

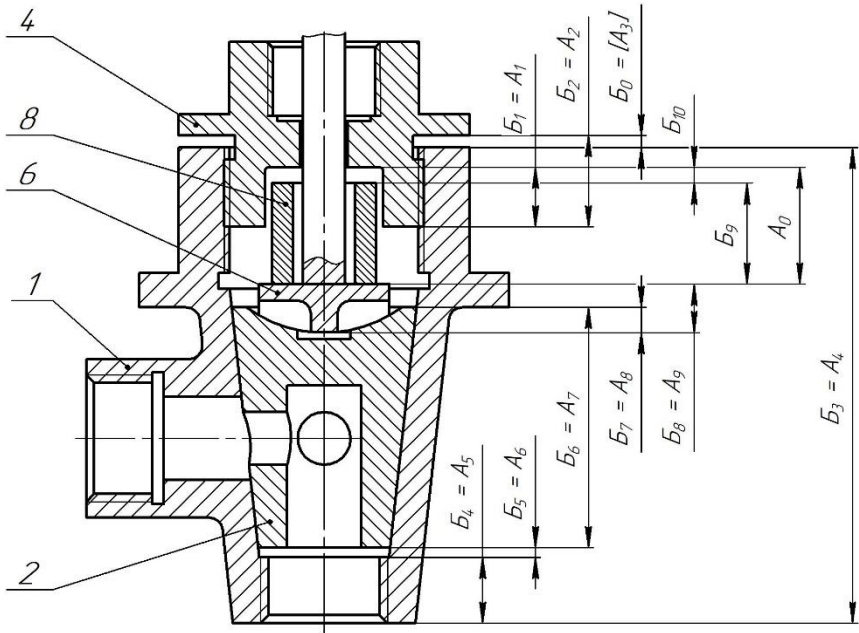


Рисунок 6.9 – Технологічний розмірний ланцюг для визначення зазору B_0

Розміри компенсаторів та їх кількість визначають розв'язанням РЛ « B » (див. рис. 6.9):

$$B_0 = B_2 - B_1 - B_3 + B_4 + B_5 + B_6 - B_7 + B_8 + B_9 + B_{10}, \quad (6.6)$$

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 встановлення еталона.

Методом регулювання точність TA_0 забезпечується побічно й залежить від відповідності розміру компенсатора дійсному значенню зазору B_0 та некомпенсувальних ланок B_9 і B_{10} .

Очікувану похибку замикальної ланки $T'B_0$ визначимо за формулою

$$T'B_0 = \sum_{i=1}^{10} TB_i = 180 + 180 + 350 + 180 + 300 + 100 + \\ + 120 + 150 + 50 + 200 = 1810 \text{ мкм.}$$

Значення $T'B_0 = 1810$ мкм повинно перевищувати значення $TB_0 = 10$ мкм, тобто $T'B_0 > TB_0$. Потрібної компенсації досягають прокладкою, допуск якої дорівнює похибці методу її оброблення (методу компенсації). Допуск методу компенсації T_{mk} не повинен перевищувати допуск замикальної ланки TB_0 ($T_{mk} \leq TB_0$). Візьмемо $T_{mk} = 10$ мкм = $[TA_3]$ і запишемо дані в таблицю 6.3 (див. графу з позначкою *).

Потрібну величину компенсації K обчислимо за формулою

$$K = T'B_0 - TA_0 + T_{mk} = 1810 - 300 + 10 = 1520 \text{ мкм.}$$

Визначимо координату середини поля компенсації E_cK :

$$E_cK = \pm(E_c'B_0 - E_cB_0) = \pm \left(\sum_{i=1}^7 E_cB_i - \sum_{j=1}^3 E_cB_j - E_cB_0 \right), \quad (6.7)$$

де i – збільшувальні, а j – зменшувальні ланки РЛ.

$$E_c K = \pm [0 - 25 + 100 - 75 - 50 + 50 - 90 - 0 - 0 + 175 - 0] =$$

$$= \pm [+85] = -85 \text{ мкм.}$$

Значення середніх розмірів визначасмо з таблиці 6.3, а також беремо знак «-» перед дужкою, тому що (див. рис. 6.10) замикальна ланка A_0 та ланка-компенсатор $B_0 = [A_3]$ знаходяться в різних гілках РЛ « B ».

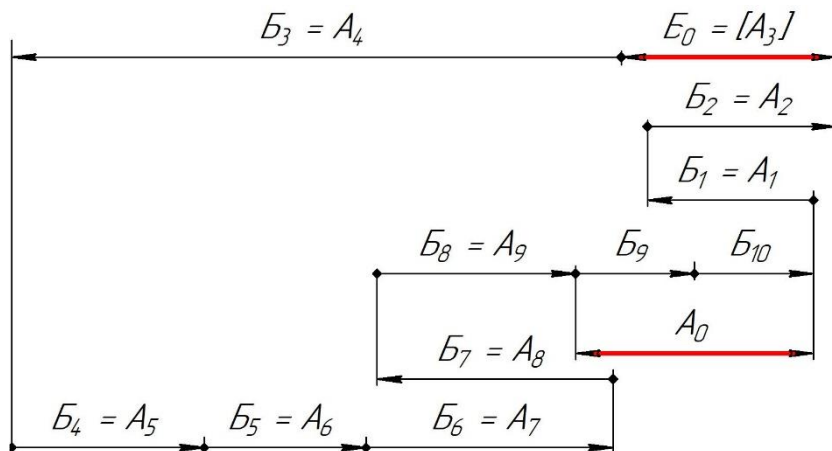


Рисунок 6.10 – Схема РЛ для визначення знака у формулі (6.5)

За формулою (6.7) $E_c K = -85 \text{ мкм.}$

Розмір компенсаційної прокладки розрахуємо за формулою

$$A_k = B_0 = [A_3] + E_c K \pm \frac{K}{2} =$$

$$= 2,3 - 0,085 \pm \frac{1,52}{2} = (2,215 \pm 0,76) \text{ мм.}$$

Остаточно запишемо розмір компенсаційної прокладки

$$B_0 = [A_3] = 2,3_{-0,845}^{+0,675} \text{ мм.}$$

За розрахованими даними $ESB_0 = +0,675 \text{ мм} > 0 \text{ мм}$, а $EIB_0 = -0,845 \text{ мм} < 0 \text{ мм}$. Потрібно виключити умову, за якої $EIB_0 < 0$. Для цього варто змінити номінальний розмір будь-якої складової ланки, наприклад $B_3 = A_4 = 90 \text{ мм}$.

Нове номінальне значення можна обчислити за формулою

$$B_3' = A_4' = A_4 - EIB_0 = 90 - 0,845 = 89,155 \text{ мм.}$$

У цьому разі на величину $EIB_0 = 0,845 \text{ мм}$ буде зсунута середина поля розсіювання очікуваної похибки замикальної ланки. Отже, компенсацію величини K забезпечують лише потрібною кількістю прокладок.

Розмірний аналіз РЛ визначив, що компенсацію краще виконувати набором прокладок різної товщини. Найбільша сумарна величина всіх прокладок дорівнює $ESA_k = 2,975 \text{ мм}$. Візьмемо крок компенсації, кратний допуску TB_0 . У цьому разі розміри товщин прокладок будуть мати такі значення:

$$S_1 = TB_0 = 0,01 \text{ мм}, S_2 = 2S_1 = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ мм},$$

$$S_3 = 2S_2 = 2 \cdot 0,02 = 0,04 \text{ мм}, S_4 = 2S_3 = 2 \cdot 0,04 = 0,08 \text{ мм},$$

$$S_5 = 2S_4 = 2 \cdot 0,08 = 0,16 \text{ мм}, S_6 = 2S_5 = 2 \cdot 0,16 = 0,32 \text{ мм},$$

$$S_7 = 2S_6 = 2 \cdot 0,32 = 0,64 \text{ мм}, S_8 = 2S_7 = 2 \cdot 0,64 = 1,28 \text{ мм},$$

$$S_9 = 2S_8 = 2 \cdot 1,28 = 2,56 \text{ мм}.$$

Розмір останньої (дев'ятої) прокладки $S_9 = 2,56$ мм повинен перевищувати $ESA_k/2 = 2,975/2 = 1,4875$ мм – половину товщини змінних прокладок.

Найбільшу товщину прокладок, що є інтервалом регулювання, визначають за формулою

$$S_{\Sigma} = (2^Z - 1) \cdot TB_0 = (2^9 - 1) \cdot 0,01 = 5,11 \text{ мм} > 2,975 \text{ мм},$$

де $Z = 9$ – кількість прокладок у наборі.

У межах інтервалу регулювання можна одержувати розміри компенсатора через кожні 0,01 мм способом різного сполучання дев'яти прокладок різної товщини.

Отже, розмірний аналіз конструкції крана дає змогу на початковому етапі виробництва обґрунтувати вибір методу досягнення точності виробу для виконання ним свого службового призначення.

Мета розрахунку РЛ – чітко визначити вимоги конструктора до роботи виробу, точність розмірів у робочих кресленнях деталей, технологічному оснащенні, вимірювальних пристроях.

Розмірний аналіз конструкції крана необхідний, щоб на етапі конструкторської та технологічної підготовки виробництва запобігти недолікам, що виникають під час проєктування

оптимального технологічного процесу складання, а також знизити трудомісткість механоскладальних операцій.

6.3 Розроблення технологічного процесу складання механізму перемикання швидкості

Визначення фонду часу й розрахунки, пов'язані з обсягом випуску. Складальна одиниця «Механізм перемикання швидкості МЧ00.54.00.00 СК» є частиною комбайна, що містить гідравлічний циліндр, уставлений в отворі кришки 1 (див. рис. 6.11).

Гідравлічний циліндр складається з корпусу 3, кришки 6, штока 4, виконаного як одне ціле з поршнем. Корпус, кришка й шток мають ущільнені резинові кільця 11, 15 і 16, що забезпечують герметичність складальної одиниці виробу. Масло надходить до гідравлічного циліндра з двох різьбових отворів корпусу 3. Шток 4 шарнірно з'єднаний віссю 5 ізвилкою 2. Вилка 2 розміщена на поверхні шліцьового валика 8. Якщо обертати валик 8 ключем через сходи́нку у вигляді чотирьох граней (вид А), то можна вмикати й вимикати блок-шестерню в ручному режимі. У разі подання масла в гідравлічний циліндр через різьбові отвори шток 4 буде виконувати зворотно-поступальний рухвилки 2, що також вмикає та вимикає блок-шестерню.

Дійсний річний фонд часу F_d роботи працівників залежно від режиму роботи (однозмінна, двозмінна) визначають за таблицею 6.4.

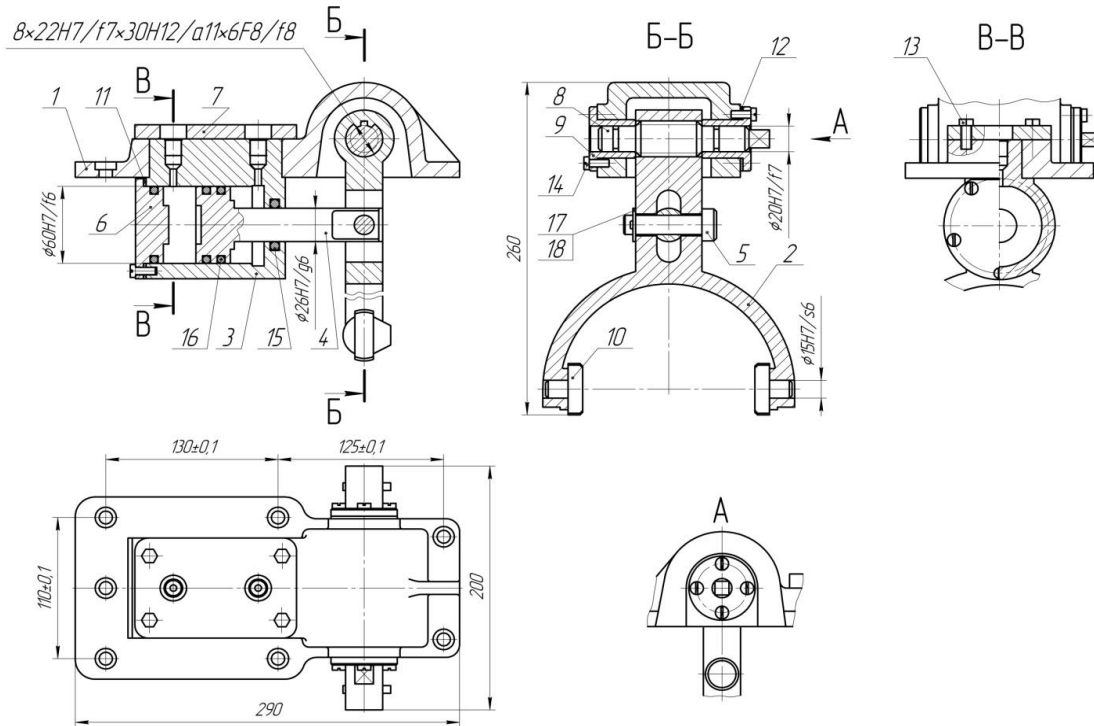


Рисунок 6.11 – Механізм перемикання швидкості МЧ00.54.00.00 СК

Таблиця 6.4 – Дійсний (розрахунковий) річний фонд часу роботи працівників

Тривалість робочого тижня, год	Тривалість основної відпустки, дн.	Номінальний річний фонд часу F_n , год	Відсоток втрат від номінального фонду Π , %	Дійсний річний фонд часу роботи працівника F_d , год
40	15	2 045	10	1 840
40	18	2 045	11	1 820
40	24	2 045	12	1 800

За тривалості робочого дня 40 год і тривалості основної відпустки 24 робочі дні, номінальний річний фонд часу становить $F_n = 2\,045$ год. Відсоток втрат $\Pi = 12\%$, з огляду на що дійсний річний фонд $F_d = 1\,800$ год. Беремо двозмінний режим роботи, 40-годинний робочий тиждень із двома вихідними.

Потім визначаємо дійсний фонд роботи обладнання $F_{d.o}$ (у годинах) з округленням у разі 40-годинного робочого тижня за формулою (1.31), для якої беремо кількість календарних днів на рік – 365 дн., кількість вихідних (субот та неділь) на рік – 104 дн., кількість свят за поточний рік (установлюють за даними Кабінету Міністрів України) – 9 дн., тривалість робочого дня (за 40 год роботи за тиждень і двох вихідних) – 8 год, кількість змін роботи обладнання – 2, витрата часу на ремонт, обслуговування та налагоджування обладнання – 4%. Як відомо, 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 добу	Відсоток втрат часу, M , %
Обладнання з категорією ремонтної складності, меншою ніж 30	1	2
	2	3
	3	4

Продовження таблиці 6.5

Назва обладнання	Кількість змін на добу	Відсоток втрат часу, M , %
Обладнання з категорією ремонтної складності, більшою за 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	–

У результаті цього

$$F_{\text{д.о}} = [(365 - 104 - 9) \cdot 8] \cdot 2 \cdot \left(1 - \frac{4}{100}\right) = 3871 \text{ год.}$$

Відповідно до заданого річного обсягу випуску виробів $N = 40000$ шт., обчислюємо місячний обсяг виробів $N_m = N / 12 = 40000 / 12 = 3334$ шт., де 12 – кількість місяців у році.

Такт випуску T (у хвилинах) виробів із ділянки складання визначимо за формулою (1.29):

$$T = \frac{3871 \cdot 60}{40000} = 5,8 \text{ хв.}$$

Розрахований місячний обсяг порівняємо з аналогічним показником, наведеним у таблиці 6.6. Для цього визначимо трудомісткість складання виробу. Трудомісткість комбайна приблизно становить 126 год. Згідно з таблицею 6.3 трудомісткість складання виробів у автомобілебудуванні становить $126 \cdot 20 / 100 = 25,2$ год.

Таблиця 6.6 – Витрати часу на складальні роботи в різних галузях машинобудування

Галузь машинобудування	Відсоток від загальної трудомісткості виготовлення машин і 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 $25,2 \cdot 0,03 = 0,76$ год. Згідно з визначеними даними $N_m = 3334$ шт. та трудомісткості 0,76 год порівняно з показниками таблиць 6.5 і 6.6 це буде великосерійне виробництво.

Службове призначення виробу та опис його роботи.

Сформулюємо службове призначення складальної одиниці комбайна – механізму перемикання швидкості.

1. Механізм перемикання швидкості призначений для вмикання блок-шестерні маневрової або робочої швидкості руху комбайна.

2. Для запобігання заклинюванню вилки 2 потрібно передбачити зазор між втулкою 9 і вилкою 2.

3. Допускається нагрівання втулки 9 до температури $+50$ °С.

4. Механізм перемикання швидкості функціонує в середовищі, що не містить парів агресивних речовин. Допускається незначне потрапляння мастила на вилку 2 та сухарі 10.

5. Робота механізму перемикання швидкості доцільна за температури в межах від $+10$ до $+40$ °С.

6. Термін використання механізму перемикання швидкості до першого ремонту – не менше 5 000 годин.

7. Маса механізму перемикання швидкостей становить 14 кг.

8. Сила на штоку гідравлічного циліндра перебуває в межах 920–1130 Н.

9. Габаритні розміри: 290 мм × 200 мм × 200 мм.

Технічні вимоги (норми точності) виробу, їх аналіз або складання. Механізм перемикання швидкості має складальну одиницю (див. рис. 6.11), що складається з кришки 1, вилки 2, валика 8 та двох втулок 9. Вилка 2 за допомогою шліців установлена на валик 8, уставлений у дві втулки 9. Втулки за допомогою гвинтів 14 прикріплено до кришки 1. Поворот вилки 2 механізму перемикання швидкості здійснюється за допомогою поршня 4. Крім повертання, вилка має можливість незначного переміщення («люфту») уздовж своєї осі.

Однією з умов нормальної роботи складальної одиниці є вимога, згідно з якою між втулкою та вилкою повинен бути зазор у межах 0,1–0,5 мм (див. рис. 6.12).

Для виконання вимоги конструктором передбачена спеціальна прокладка (на рисунку вона показана розміром $[A_5]$), установлювана між однією з втулок та кришкою.

Так можна сформулювати норму точності, що потрібно забезпечити під час складання: «Забезпечити зазор між втулкою та вилкою в межах 0,1–0,5 мм упродовж усієї експлуатації виробу».

Вибір та обґрунтування методу досягнення норми точності виробу. На норму точності, сформульовану вище, установлюють метод досягнення точності. Згідно з попередніми розрахунками тип виробництва великосерійний. Аналіз розглянутих методів визначив метод регулювання найбільш економічним, за яким буде досягнута сформульована вимога.

Розмірний ланцюг механізму перемикання швидкості наведений на рисунку 6.13.

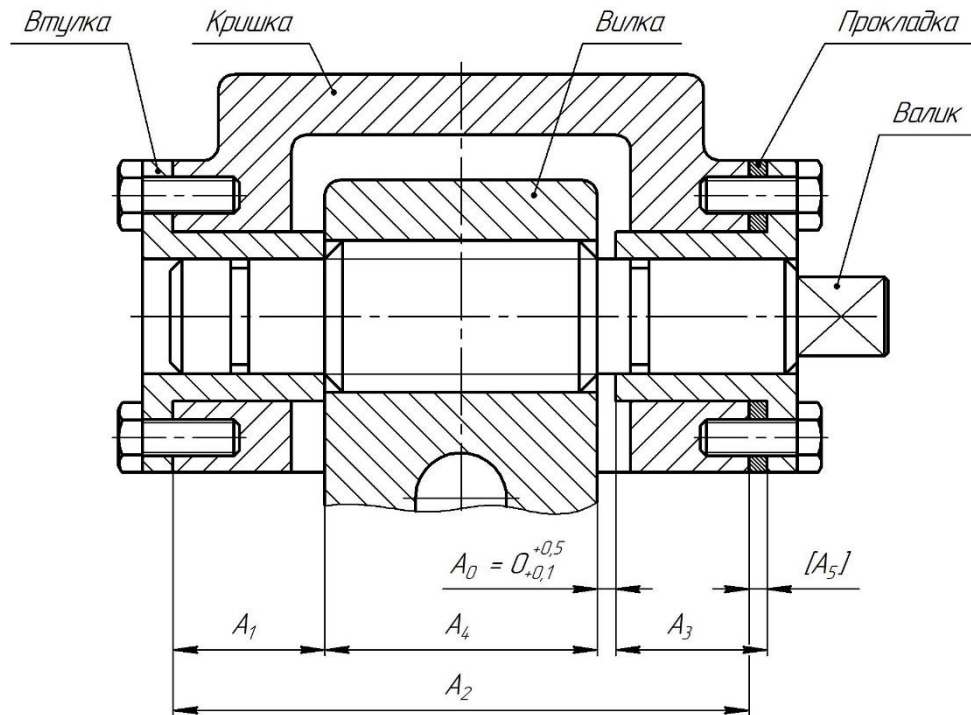


Рисунок 6.12 – Схема складальної одиниці механізму перемикання швидкості та його РЛ

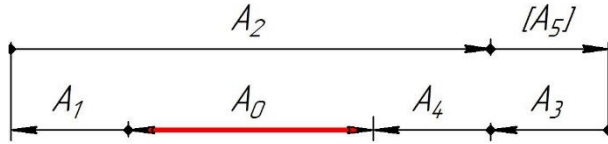


Рисунок 6.13 – Складальний розмірний ланцюг механізму перемикання швидкості

Попередньо (згідно зі сформульованою вимогою) визначимо вихідні дані розміру замикальної ланки $A_0 = 0(+0,5; +0,1)$ мм. У цьому разі допуск $TA_0 = 0,4$ мм; верхнє та нижнє відхилення відповідно $ESA_0 = +0,5$ мм; $EIA_0 = +0,1$ мм; координата середини поля допуску $E_cA_0 = +0,3$ мм.

Згідно з методом регулювання беремо номінальний розмір ланки-компенсатора $[A_5] = 0$ і допуск на неї не призначаємо.

Складемо рівняння РЛ, за яким визначимо номінальні розміри складових ланок:

$$A_0 = A_2 - A_1 - A_3 - A_4 + [A_5].$$

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 РЛ обчислимо номінальний розмір ланки-компенсатора $[A_5]$:

$$[A_5] = -A_2 + A_1 + A_3 + A_4 - A_0 = -108 + 30 + 30 + 50 - 0 = 2 \text{ мм.}$$

На всі складові ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначаємо легко здійснювані допуски:

$$A_1 = A_3 = 30js12(\pm 0,105) \text{ мм,}$$

$$A_2 = 108h12(0; -0,35) \text{ мм,}$$

$$A_4 = 50h14(0; -0,62) \text{ мм.}$$

Похибку замикальної ланки $T'A_0$ розрахуємо за формулою

$$T'A_0 = 1,2\sqrt{TA_1^2 + TA_2^2 + TA_3^2 + TA_4^2}.$$

У результаті

$$T'A_0 = 1,2\sqrt{210^2 + 350^2 + 210^2 + 620^2} = 930 \approx 1000 \text{ мкм.}$$

Визначимо середнє значення $E_c A_0'$ замикальної ланки:

$$\begin{aligned} E_c'A_0 &= E_cA_2 - E_cA_1 - E_cA_3 - E_cA_4 = \\ &= -175 - 0 - 0 - (-310) = +135 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Обчислимо координату середини поля компенсації $E_c A_k$:

$$E_c A_k = \pm(E_c A_0' - E_c A_0) = \pm(135 - 300) = \pm(-165) = +165 \text{ мкм.}$$

Якщо ланки $[A_5]$ і A_0 знаходяться в різних гілках РЛ (див. рис. 6.13), то беремо знак «-». У цьому різі $E_c A_k = +165$ мкм.

Визначаємо верхнє ESA_k і нижнє EIA_k відхилення величини компенсації A_k :

$$ESA_k = E_c A_k + \frac{TA_k}{2} = +165 + \frac{700}{2} = +515 \text{ мкм,}$$

$$EIA_k = E_c A_k - \frac{TA_k}{2} = +165 - \frac{700}{2} = -185 \text{ мкм,}$$

де TA_k – величина компенсації.

Величину компенсації розрахуємо за формулою

$$TA_k = T' A_0 - TA_0 + T_{mk} = 1000 - 400 + 100 = 700 \text{ мкм},$$

де $T_{mk} = 100$ мкм – допуск методу компенсації (точність методу виготовлення компенсаційної прокладки).

Якщо $EIA_k = -185$ мкм < 0 , то необхідно змінити найбільший номінальний розмір складової ланки $A_2 = 108$ мм.

Нове номінальне значення A_2'' обчислимо за формулою

$$A_2'' = A_2 - EIA_k = 108 - 0,185 = 107,815 \text{ мкм}.$$

Остаточний розмір A_k буде становити

$$A_k = [A_5] + E_c A_k \pm \frac{T_k}{2} = 2 + 0,165 \pm 0,35 = 2_{-0,185}^{+0,515} \text{ мм}.$$

Визначені дані напишемо в таблицю 6.7.

Варіант 1: визначимо набір однакових прокладок Z за товщини кожної $S = T_{mk} = 0,1$ мм = 100 мкм:

$$Z = \frac{TA_k}{S} = \frac{700}{100} = 7 \text{ шт.}$$

Варіант 2: зробимо розрахунок компенсатора, який має набір прокладок різної товщини:

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

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

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

Таблиця 6.7 – Розміри ланок для розрахунку розмірного ланцюга

Позначення ланки $A_{i,j}$	Квалітет точності	Номинальний розмір ланки $A_{i,j}$, мм	Допуск ланки $TA_{i,j}$, мкм	Координата середини поля допуску $E_c A_{i,j}$, мкм	Верхнє граничне відхилення ланки $ESA_{i,j}$, мкм	Нижнє граничне відхилення ланки $EIA_{i,j}$, мкм	Коментар
A_0	–	0	400	+300	+500	+100	Зазор між втулкою та вилкою
A_1	$js12$	30	210	0	+105	–105	Довжина втулки
A_2	$h12$	108	350	–175	0	–350	Відстань між правою й 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 $[A_5]$, унесені до таблиці після розрахунку РЛ

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

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

Розроблення послідовності та схеми складання виробу.
Послідовність загального складання вузла обумовлена його конструктивними особливостям й 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 і деталей у належній послідовності до місць складання, планування виробництва.

Схема складання механізму перемикачності швидкості та його складальних одиниць наведена на рисунках 6.14–6.19.

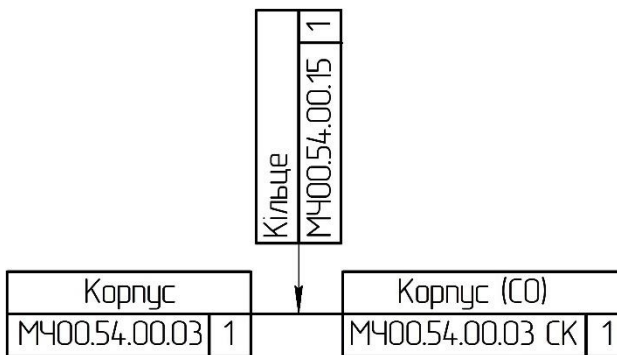


Рисунок 6.14 – Схема складання корпусу

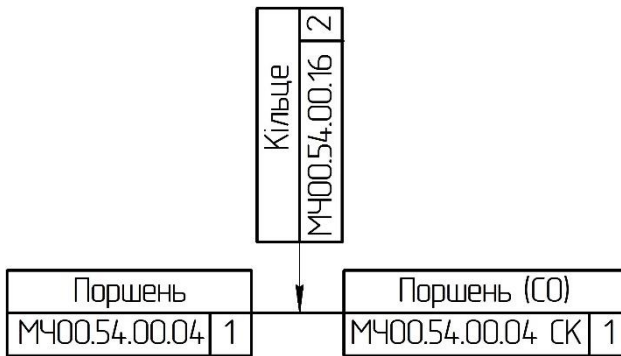


Рисунок 6.15 – Схема складання поршня

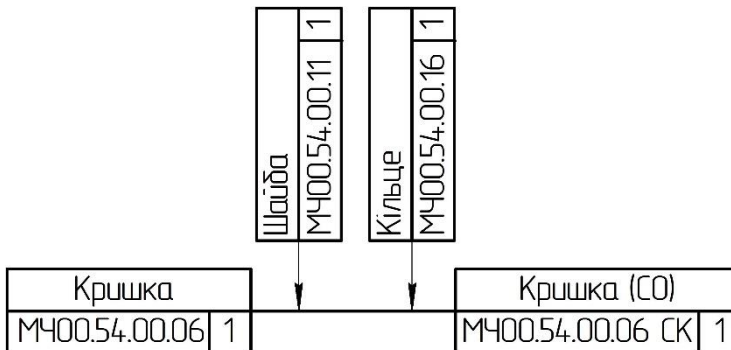


Рисунок 6.16 – Схема складання кришки

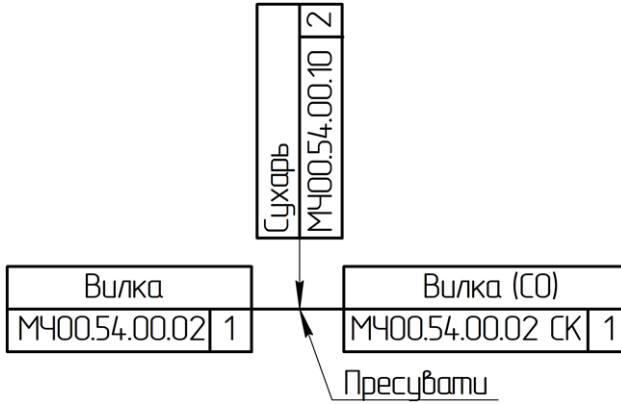


Рисунок 6.17 – Схема складання вилки

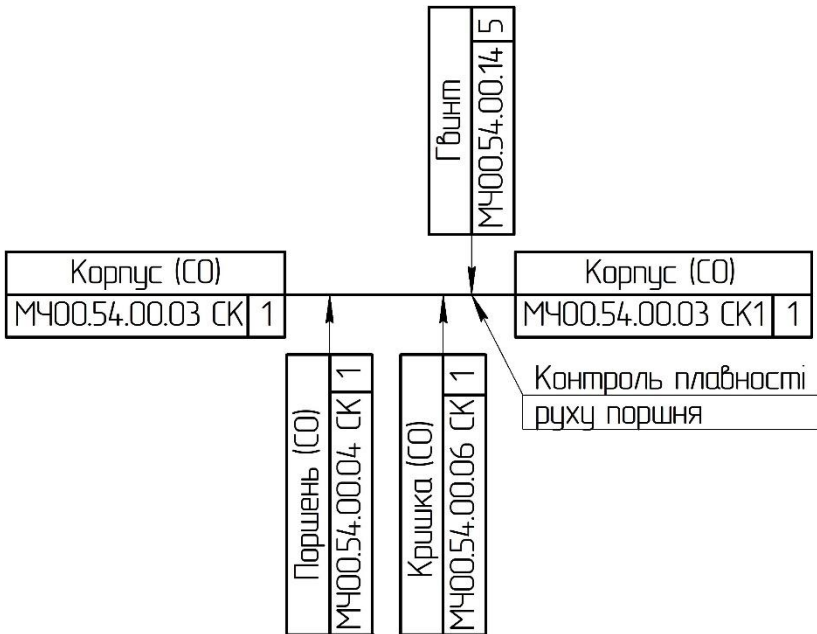


Рисунок 6.18 – Схема складання складальної одиниці корпусу

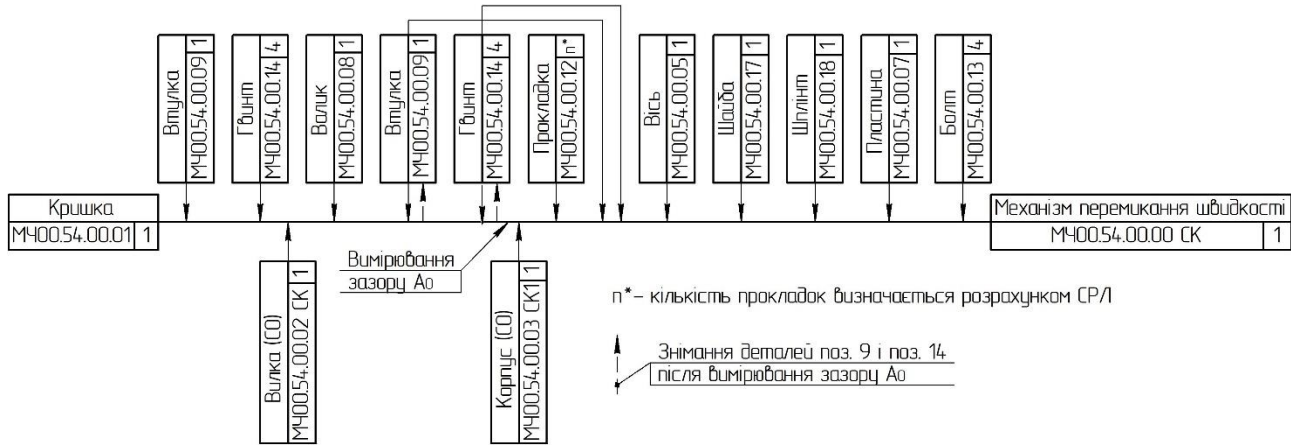


Рисунок 6.19 – Схема складання механізму перемикання швидкості

Після побудови схем складання проводять нормування за переходами, для яких за довідником [17] визначають 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 $\Sigma T_{оп} = 9,17$ хв								

Штучний час $T_{ум}^o$ для складання одного виробу визначимо за формулою (1.42):

$$T_{ум}^o = 9,17 \cdot \left(1 + \frac{3+2}{100} \right) \cdot 1,1 \approx 10,6 \text{ хв,}$$

де $\Sigma T_{оп} = 9,17$ хв – сумарний оперативний час за всіма переходами технологічного процесу складання (див. табл. 6.8);

$\alpha = 3 \%$ – відсоток від оперативного часу, що відповідає часу на обслуговування робочого місця;

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

$K_n = 1,1$ – поправковий коефіцієнт оперативного часу, що враховує кількість прийомів, виконуваних робітником;

$i = 26$ – кількість переходів для складання одного виробу.

Штучно-калькуляційний час $T_{ш.к}$ на один виріб у разі складання вузла партіями у великосерійному виробництві обчислюють за формулою $T_{ш.к} = T_{шт}^o = 10,6$ хв. У цьому разі підготовчо-завершений час $T_{п.з} = 60$ хв і кількість виробів у партії $N = 40000$ шт. не впливають на загальну трудомісткість виробу, тому що відношення $T_{шт}/N = 60/40000 = 0,0015$ хв та становить дуже малий (0,15 %) відсоток похибки.

Вибір та обґрунтування складального устаткування, технологічної оснастки, кількості робітників і робочих місць. Тип складального устаткування, оснащення, інструменту й піднімально-транспортних засобів визначають за змістом операції. Для запресування сухарів використовують слюсарний молоток, а гвинти загвинчують слюсарно-монтажними викрутками ГОСТ 30092-93. З метою скорочення допоміжного часу та зменшення трудомісткості складання передбачено спеціальний поворотний стіл. Для вимірювання зазору використовують штангенциркуль ШЦ I-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (див. табл. 6.9).

Побудова циклограми складання виробу. Для вдосконалення технологічного процесу складання будують циклограму складання.

Циклограму складання будують у прямокутних координатах (див. табл. 6.10). По вертикалі стисло записують переходи складання, по горизонталі – тривалість їх виконання. Далі технологічні переходи комплектують в операції, що дорівнюють трудомісткості такту складання або кратні йому.

Ураховуючи характер виробів (габарити й вагу) і тип виробництва, візьмемо поточну форму організації складального процесу із стаціонарним складальним стандом для вузлового та загального складання.

Потім за вузловим і загальним складанням згідно з формулою (1.32) визначимо кількість слюсарів-складальників:

$$q = \frac{10,6}{5,8} \approx 1,83.$$

Беремо $q = 2$ особи – кількість слюсарів-складальників, потрібних для складання вузлів й загального складання виробу.

Таблиця 6.9 – Технологічна карта складання механізму перемикання швидкості

Номер переходу	Зміст переходу	Інструмент		Обладнання й пристрої	Розряд робітника	Норма штучного часу, хв
		Різальний і монтажний	Контрольно- вимірвальний			
1	2	3	4	5	6	7
1	Уставити кільце 15 у корпус 3				2	0,1
2	Установити два кільця 16 на поршень 4				2	0,2
3	Установити шайбу 11 на кришку 6				2	0,06
4	Вставити кільце 16 у кришку 6				2	0,13
5	Пресувати два сухарі 10 у вилку 2	Слюсарний молоток			3	0,7
6	Вставити поршень 4СК у корпус 3СК				3	0,7
7	Вставити кришку 6СК у корпус 3СК				3	0,17
8	Загвинтити п'ять гвинтів 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 30092-93			2	0,9
9	Установити одну втулку 9 у кришку 1				2	0,06
10	Загвинтити чотири гвинти 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 30092-93			2	0,74
11	З'єднати вилку 2СК із кришкою 1 валиком 8				2	0,3
12	Установити другу втулку 9 у кришку 1				2	0,06

Продовження таблиці 6.9

1	2	3	4	5	6	7
13	Загвинтити чотири гвинти 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 30092-93			2	0,74
14	Виміряти зазор $A_0 = 0(+0,5; +0,1)$ мм		ШЦ І-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018		3	0,81
15	Викрутити чотири гвинти 14 із другої втулки 9	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 30092-93			2	0,7
16	Зняти другу втулку 9				2	0,06
17	Установити прокладку 12 на кришку 1				2	0,1
18	Вставити другу втулку 9 у кришку 1				2	0,1
19	Загвинтити чотири гвинти 14 до упору	Викрутка слюсарно-монтажна, тип 1 ГОСТ 30092-93			2	0,6
20	Вставити корпус 3СК у кришку 1			Поворотний пристрій	2	0,14
21	З'єднати поршень 4СК із вилкою 2СК віссю 5				2	0,1
22	Установити шайбу 17 на вісь 5				2	0,06
23	Шплінтувати вісь 5 шплінтом 18	Круглогубці 7814-0113 Х9 ГОСТ 7283-93			2	0,31
24	Установити пластину 7 на кришку 1			Поворотний пристрій	2	0,06
25	Загвинтити чотири болти 13 до упору	Ключ 7811-0109 Н С 1 Х9 ГОСТ ISO 4229-2017			2	0,9
26	Регулювати хід поршня 4СК і вилки 2СК				3	1,8
Загальна трудомісткість складання механізму перемикання швидкості						10,6

Таблиця 6.10 – Циклограма складання

Номер операції	Зміст операції (переходу)	Норма штучного часу, хв	Щільність роботи	Час T, хв		
1	2	3	4	5		
<i>Складання корпусу</i>						
1	Вставити кільце 15 у корпус 3	0,1	1	4,86 (0,94)		
<i>Складання поршня</i>						
1	Установити два кільця 16 на поршень 4	0,2				
<i>Складання кришки</i>						
1	Вставити шайбу 11 у кришку 6	0,06				
2	Вставити кільце 16 у кришку 6	0,13				
<i>Складання вилки</i>						
1	Пресувати два сухарі 10 у вилку 2	0,7				
<i>Складання корпусу СК1</i>						
1	Установити поршень 4СК у корпус 3СК (забезпечити посадку Ø30H7/f6)	0,7				
2	Вставити кришку 6СК у корпус 3СК	0,17				
3	Загвинтити й затягнути п'ять гвинтів 14 до упору різі (забезпечити герметичність з'єднання)	0,9				
<i>Складання механізму перемикання швидкості</i>						
1	Установити одну втулку 9 у кришку 1	0,06				
2	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	0,74				
3	З'єднати вилку 2СК із кришкою 1 валиком 8	0,3				
4	Вставити другу втулку 9 у кришку 1	0,06				
5	Загвинтити і затягнути чотири гвинти 14 до упору	0,74				
	Усього	4,86				

Продовження таблиці 6.10

1	2	3	4	5		
6	Виміряти зазор $A_0 = 0(+0,5; +0,1)$ мм	0,81	1	5,74 (0,06)		
7	Викрутити чотири гвинти 14	0,7				
8	Зняти другу втулку 9	0,06				
9	Установити прокладку 12 на кришку 1	0,1				
10	Установити втулку 9 у кришку 1	0,1				
11	Загвинтити та затягнути чотири гвинти 14 до упору	0,6				
12	Вставити корпус 3СК у кришку 1	0,14				
13	З'єднати поршень 4СК із вилкою 2СК віссю 5	0,1				
14	Установити шайбу 17 на вісь 5	0,06				
15	Шплінтувати вісь 5 шплінтом 18	0,31				
16	Установити пластину 7 на кришку 1	0,06				
17	Загвинтити й затягнути чотири болти 13 до упору	0,9				
18	Регулювати сумісний хід поршня 4СК і вилки 2СК	1,8				
	Усього	5,74				
	Усього $T_{шт}^o$	10,6			2	5,8

6.4 Аналіз складального розмірного ланцюга шестеренного насоса

Службове призначення виробу та опис його роботи.
Шестеренний насос 39.000 СК (див. додатки А, Б) із зовнішнім зачепленням, нереверсивний, призначений для подавання мастильного матеріалу до частин двигуна, що функціонують у режимі тертя, під тиском.

Тиск на виході:

- номінальний – 16 МПа;
- максимальний – 21 МПа.

Номинальна потужність – не менше ніж 4,3 кВт, за коефіцієнта подачі мінімум 0,9.

Об'єм робочої порожнини – 4 см³.

Номинальна частота обертання – 50 об/с.

Номинальна подача – 10,3 л/хв.

Насос призначений для роботи в гідравлічній системі автомобіля, що не містить парів агресивних речовин, допускається попадання на корпус насоса бруду.

Діапазон температур навколишнього середовища – (-20)–(+50)°С.

Призначений для безперервної роботи за номінальних навантажень. Термін використання до ремонту – не менше ніж 30 000 годин.

Маса виробу – 1,5 кг ± 50 г.

Габарити: 195 мм × 165 мм × 105 мм.

Технічні вимоги (норми точності) виробу, їх аналіз або складання. Шестеренний насос (див. рис. 6.20, рис. 6.21) складається з втулки привода 1, вала-шестерні 2, осі 3, корпусу 4, кришки корпусу 5, зубчастого колеса 6, чотирьох болтів 7, чотирьох стопорних шайб 8 та штифта 9.

Насос приводиться в дію від шестерні розподільного вала двигуна через проміжний вал. Під час обертання ведучої осі вала-шестерні поз. 2 мастильний матеріал із піддону картера через маслоприймач надходить до зони всмоктування й потрапляє в западини між зубцями шестерень поз. 6 та 2, що входять у зачеплення та обертаються в протилежних напрямках. Мастильний матеріал витискається із западин зубців шестерень, переноситься й збирається в зоні нагнітання. За результатом накопиченого мастила його тиск підвищується і потім мастильний матеріал прямує до фільтра грубого очищення. З фільтра мастильний матеріал надходить безпосередньо в магістраль.

Отже, можна сформулювати норму точності (технічну вимогу), що потрібно забезпечити під час складання

шестеренного насоса: «Забезпечити незбігання ділительних кіл двох зачеплених шестерень у межах відстані 0,05–0,15 мм».

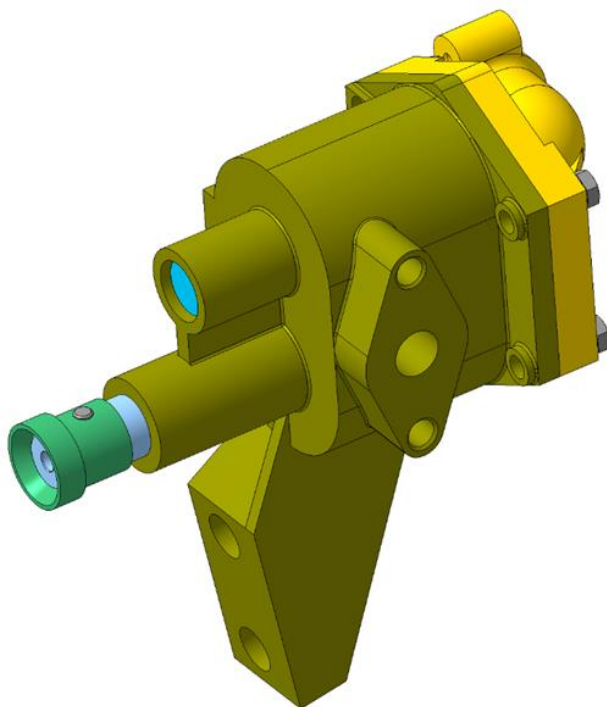


Рисунок 6.20 – Загальний вигляд шестеренного насоса 39.000 СК

Обґрунтування вибору методу досягнення норми точності виробу. Для роботи насоса потрібно на стадії складання виконати потрібні з'єднання вал-шестерні поз. 2, корпусу поз. 4 і шестерні поз. 6. Один кінець осі поз. 3 необхідно запресувати в один з отворів корпусу поз. 4. Другій кінець осі поз. 3 варто з'єднати з отвором шестерні поз. 6 посадкою із зазором. Вал-шестерню поз. 2 потрібно з'єднати посадкою з зазором із другим отвором корпусу поз. 4.

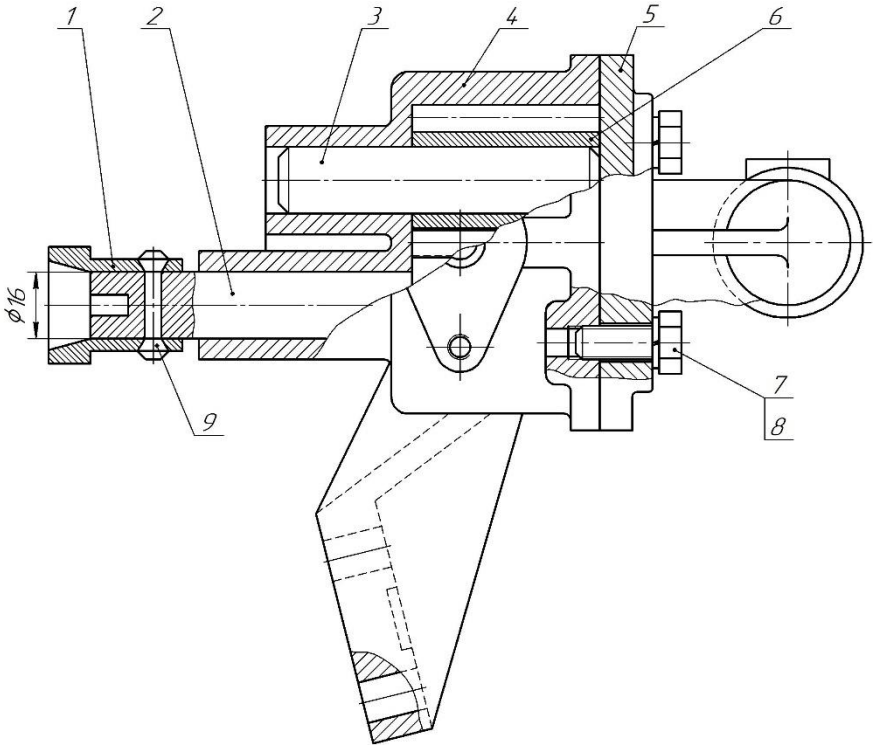


Рисунок 6.21 – Ескіз шестеренного насоса

Відповідно до циклу роботи шестеренного насоса й потрібних складальних операцій деталей, на яких формується виріб, можна забезпечити його службове призначення та виконання необхідних вимог під час експлуатації.

На виробництвах, на яких складають шестеренні насоси, здебільшого застосовують метод повної взаємозамінності (спосіб пробних розрахунків). На дільницю складання надходять деталі з розмірами, що мають випадковий порядок. Кожний складений насос повинен відповідати визначеному службовому призначенню, що містить у собі окремі вимоги. Однією з таких вимог, як було зазначено вище, є необхідність забезпечення

незбігання ділительних кіл двох зачеплених шестерень у межах відстані 0,05–0,15 мм. Ця вимога внеможливілює заклинювання зачеплених шестерень під час їх обертання в процесі роботи виробу.

Для реалізації зазначеної вимоги на всі складові ланки розмірного ланцюга призначають економічні допуски (див. рис. 6.22).

До уваги беруть характер роботи деталі й метод оброблення її поверхонь. Конструктором призначає граничні відхилення розмірів «в тіло» для поверхонь, що «охоплюють» (+), та поверхонь, які «охоплюються» (-), а для уступів – «симетричні відхилення» (\pm).

Похибку замикальної ланки εA_0 визначимо за формулою

$$\varepsilon A_0 = \sum TA_{i,j}, \quad (6.8)$$

де $TA_{i,j}$ – допуски складових ланок розмірного ланцюга.

Координату середини поля розсіювання похибки замикальної ланки $\varepsilon_c A_0$ розраховують за формулою

$$\varepsilon_c A_0 = \sum E_c A_i - \sum E_c A_j, \quad (6.9)$$

де $E_c A_i$ – координати середини полів допусків збільшувальних ланок;

$E_c A_j$ – координати середини полів допусків зменшувальних ланок.

Визначені дані повинні задовольняти рівняння

$$\varepsilon A_0 = TA_0 \text{ та } \varepsilon_c A_0 = E_c A_0, \quad (6.10)$$

де TA_0 – допуск замикальної ланки;

$E_c A_0$ – координата середини поля допуску замикальної ланки.

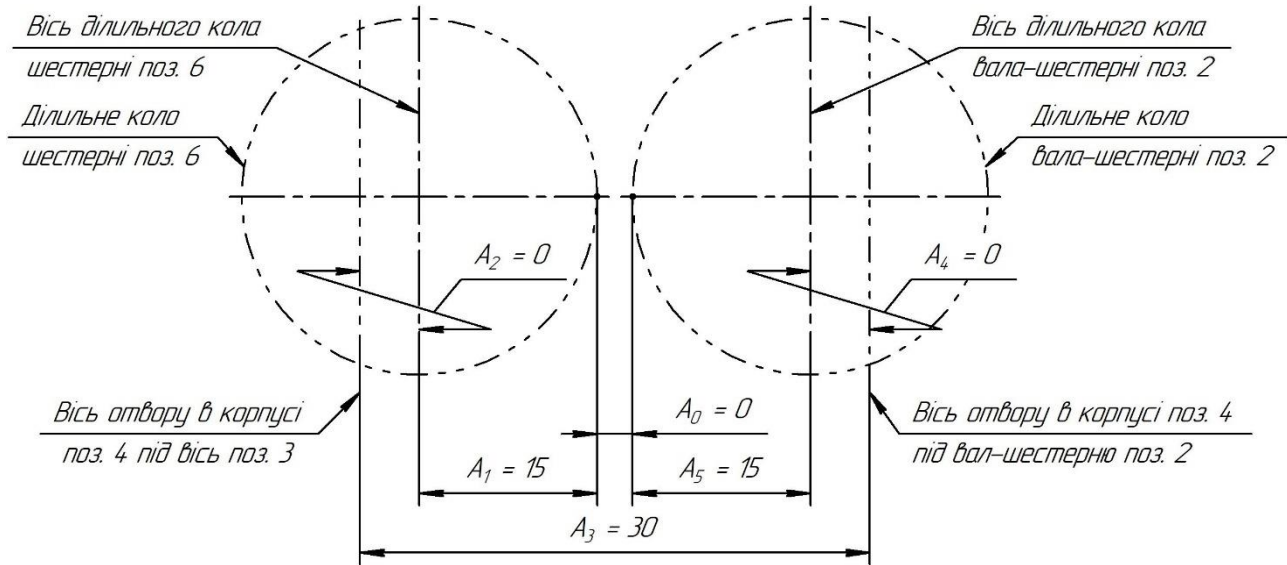


Рисунок 6.22 – Схема складального розмірного ланцюга

Якщо наведені рівняння не виконуються, то корегуванню підлягають допуски та граничні відхилення на всі або частину розмірів складових ланок. Розрахунок коригування повторюють доти, доки не будуть виконані наведені рівняння.

Вихідні дані для розрахунку РЛ: межа відстані $\varepsilon = 0,05-0,15$ мм; номінальні величини складових ланок (одержані із складального креслення): $A_1 = A_5 = 15$ мм, $A_2 = A_4 = 0$, $A_3 = 30$ мм.

Визначимо параметри замикальної ланки: $\varepsilon = A_0 = 0_{+0,05}^{+0,15}$ мм, $A_0 = 0$ мм, $TA_0 = 0,1$ мм, $ESA_0 = +0,15$ мм, $EIA_0 = +0,05$ мм, $E_cA_0 = +0,1$ мм.

Запишемо рівняння розмірного ланцюга (див. схему розмірного ланцюга на рис. 6.22) і перевіримо правильність номінальних розмірів складових ланок РЛ:

$$A_0 = A_3 - A_1 - A_2 - A_4 - A_5 = 30 - 15 - 0 - 0 - 15 = 0 \text{ мм.}$$

За рівнянням номінальних розмірів розмірного ланцюга вимогу $A_0 = \sum A_i$ буде додержано.

Визначимо середній допуск TA_{cp} окремої ланки, що припадає на одну складову ланку розмірного ланцюга, за формулою (1.11):

$$TA_{cp} = \frac{100}{8-1} \approx 14 \text{ мкм,}$$

де $TA_0 = 100$ мкм – допуск на розмір замикальної ланки;
 $m = 8$ – загальна кількість ланок РЛ.

Призначимо квалітети точності складових ланок згідно з даними таблиць допусків і посадок за ДСТУ 2500-94. Допуски на складові ланки зазначимо відповідно до умови визначеного середнього допуску TA_{cp} окремої складової ланки.

$A_1 = 15j_s6(\pm 0,0055)$ мм, $TA_1 = 0,011$ мм, $ESA_1 = +0,0055$ мм, $EIA_1 = -0,0055$ мм, $E_cA_1 = 0$ мм.

$A_5 = 15js6(\pm 0,0055)$ мм, $TA_5 = 0,011$ мм, $ESA_5 = +0,0055$ мм,
 $EIA_5 = -0,0055$ мм, $E_cA_5 = 0$ мм.

$A_3 = 30js6(\pm 0,0065)$ мм, $TA_3 = 0,013$ мм, $ESA_3 = +0,0065$ мм,
 $EIA_3 = -0,0065$ мм, $E_cA_3 = 0$ мм.

$A_2 = 0_{-0,017}^{+0,011}$ мм, $TA_2 = 0,028$ мм, $ESA_2 = +0,011$ мм,
 $EIA_2 = -0,017$ мм, $E_cA_2 = -0,003$ мм.

$A_4 = 0_{-0,017}^{+0,011}$ мм, $TA_4 = 0,028$ мм, $ESA_4 = +0,011$ мм,
 $EIA_4 = -0,017$ мм, $E_cA_4 = -0,003$ мм.

Перевіримо умову (6.10):

$$\begin{aligned} TA_0 &= 0,1 \text{ мм} > TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5 = \\ &= 0,011 + 0,028 + 0,013 + 0,028 + 0,011 = 0,091 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Перша умова (6.10) не виконується.

Вибираємо регулювальну ланку $[A_3]$, у якій допуск є максимальним (не враховують посадок складових ланок і ланок ділильних кіл шестерень).

Обчислимо новий допуск регулювальної ланки:

$$\begin{aligned} [TA_3] &= TA_0 - TA_1 - TA_2 - TA_4 - TA_5 = \\ &= 0,1 - 0,011 - 0,028 - 0,028 - 0,011 = 0,022 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Визначимо середнє значення регулюючої ланки за формулою

$$\begin{aligned} [E_cA_3] &= E_cA_0 + E_cA_1 + E_cA_2 + E_cA_4 + E_cA_5 = \\ &= +0,1 + 0 + (-0,003) + (-0,003) + 0 = +0,094 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Розрахуємо граничні відхилення замикальної ланки за формулами

$$[ESA_3] = E_c A_3 + \frac{[TA_3]}{2} = +0,094 + \frac{0,022}{2} = +0,105 \text{ мм},$$

$$[EIA_3] = E_c A_3 - \frac{[TA_3]}{2} = +0,094 - \frac{0,022}{2} = +0,083 \text{ мм}.$$

Перевіримо одержані дані з визначеним новим полем допуску, а також верхнім, нижнім та середнім значеннями ланки $[A_3]$:

$$0_{+0,05}^{+0,15} = 30_{+0,083}^{+0,105} - 15_{+0,0055}^{+0,0055} - 0_{-0,017}^{+0,011} - 0_{-0,017}^{+0,011} - 15_{+0,0055}^{+0,0055}.$$

Перевірка показала, що визначені способом пробних розрахунків (методом повної взаємозамінності) значення складових ланок РЛ повністю відповідають вихідному значенню замикальної ланки.

6.5 Аналіз складального розмірного ланцюга розсувної призми

Службове призначення виробу та опис його роботи. Розсувна призма МЧ00.07.00.00 СК (див. додатки В, Г) виконує функцію фіксованої опори під час оброблення деталей діаметром 40–200 мм на свердлильних, розточувальних, фрезерних і стругальних верстатах.

Розсувна призма забезпечує базування і закріплення заготовок під час механічного оброблення їх поверхонь. Конструкція призми має високу жорсткість.

Зусилля регулювання положення призми під час налагодження на оброблення заготовок становить $3 \pm 1 \text{ Н}$.

Розсувну призму використовують в умовах підвищеного забруднення робочої зони верстата, наявності мастил та інших

речовин у повітряному середовищі, роботи з відносною вологістю повітря, вищою за 75 %. Допускається поява окремих ділянок корозії на зовнішніх поверхнях пристрою.

Діапазон температур навколишнього середовища – (0)–(+40)°С.

Режим роботи пристрою – періодичний, підлягає додаткового обслуговування після обробки окремої заготовки.

Термін використання до планового ремонту – не менше ніж 10 000 робочих циклів.

Для забезпечення плавного ходу призми різьбові поверхні й поверхні тертя варто змащувати мастилом.

Маса виробу – 35 кг.

Габарити: 294 мм × 183 мм × 120 мм.

Технічні вимоги (норми точності) виробу, їх аналіз або складання. Розсувна призма (див. рис. 6.23, 6.24) складається з корпусу поз. 1, фіксованого щодо інструмента шпонками (на кресленні не зазначені) і закріпленого верстатними болтами.

Гвинт поз. 4 із правою та лівою різьбами *M24* обертають повертанням рукоятки поз. 6. Під час обертання гвинт поз. 4 залишається нерухомим уздовж осевого напрямку, а ліва поз. 2 та права поз. 3 призми рухаються назустріч одна одній.

У разі обертання гвинта за годинниковою стрілкою призми розсовуються (відстань між ними збільшується), і навпаки: у разі обертання гвинта проти годинникової стрілки вони зсовуються (відстань між ними зменшується). Зазначений механізм роботи призми забезпечує установку заготовок різних діаметрів від 40 до 200 мм.

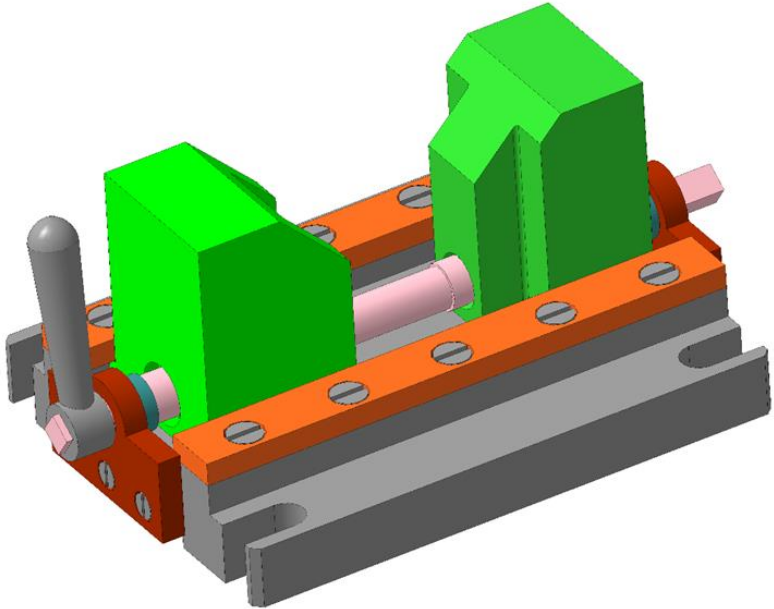


Рисунок 6.23 – Загальний вигляд розсувної призми
МЧ00.07.00.00 СК

Робота пристрою в зоні верстата з підвищеною температурою та його налагодження під час установлення заготовок супроводжується інтенсивним теплоутворенням гвинта, призми, опор тертя і спричиняє їх деформацію. Температурна деформація деталей розсувної призми може призвести до їх заклинювання.

Для запобігання заклинюванню гвинта між його торцевими поверхнями й опорами під час складання виробу потрібний так званий «тепловий» зазор (див. рис. 6.24).

Отже, можна сформулювати норму точності (технічну вимогу), якої необхідно дотримуватися під час складання розсувної призми: «Забезпечити осьове переміщення гвинта в межах зазору 0,1–0,2 мм».

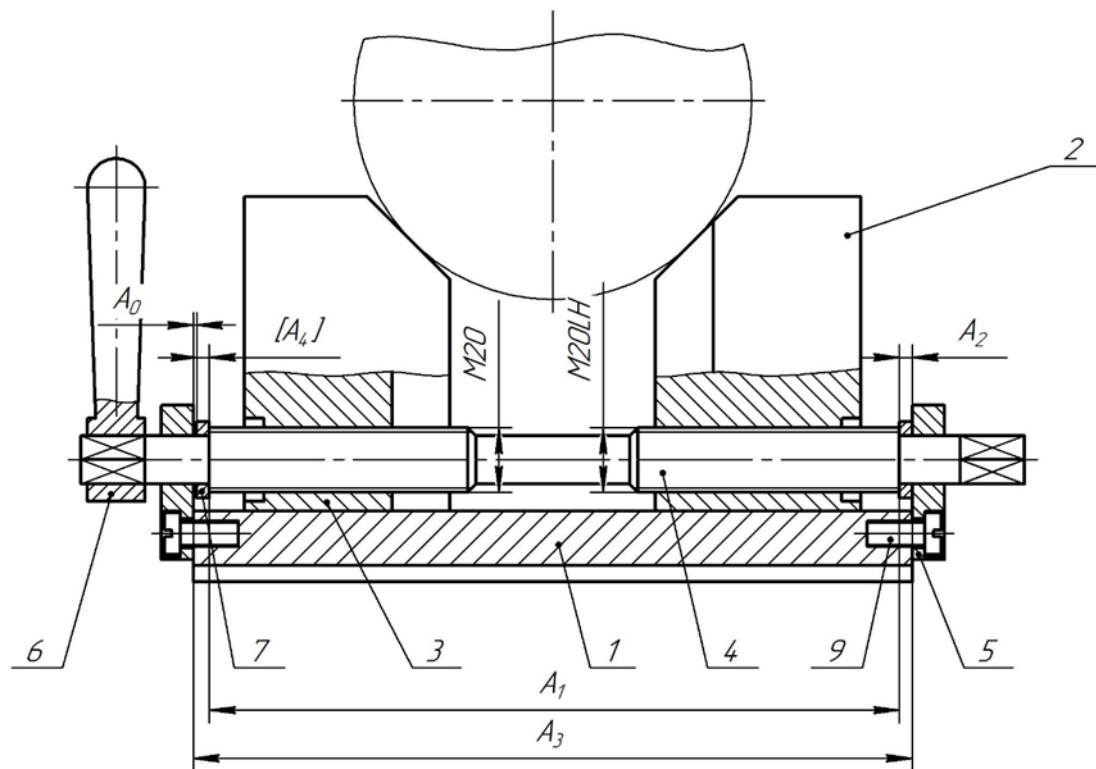


Рисунок 6.24 – Схематизоване креслення розсувної призми МЧ00.07.00.00 СК та її РЛ

Обґрунтування вибору методу досягнення потрібної норми точності виробу. Перед вибором методу точності складальної одиниці необхідно виявити конструкторський розмірний ланцюг (РЛ) (див. рис. 6.25).

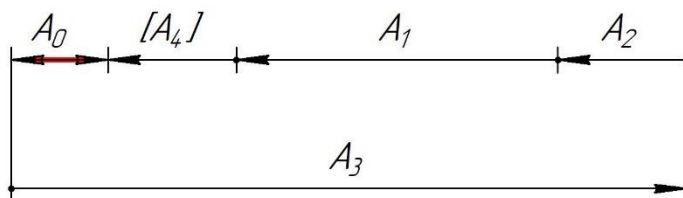


Рисунок 6.25 – Схема складального розмірного ланцюга розсувної призми

Під час розв'язування прямої задачі першою виявляється замикальна ланка A_0 (див. рис. 6.24, 6.25). Величину замикальної ланки визначають із сформульованої технічної вимоги – осьового переміщення гвинта в межах зазору 0,1–0,2 мм.

$A_0 = 0(+0,1; +0,2)$ мм; $A_0 = 0$ мм; $TA_0 = 0,1$ мм; $ESA_0 = +0,2$ мм, $EIA_0 = +0,1$ мм, $E_cA_0 = +0,15$ мм.

Потім визначають номінальні розміри складових ланок РЛ (див. рис. 6.24, 6.25), що є розмірами деталей, із яких складається виріб.

Запишемо рівняння РЛ для замикальної ланки A_0 з урахуванням наявних збільшувальних (A_3) та зменшувальних (A_1, A_2, A_4) ланок (див. рис. 6.25).

$$A_0 = \overrightarrow{A_3} - \overleftarrow{A_1} - \overleftarrow{A_2} - \overleftarrow{A_4}. \quad (6.11)$$

Спочатку запропонуємо метод повної взаємозамінності досягнення точності замикальної ланки. Визначимо середній

допуск TA_{cp} , що припадає на кожну складову ланку РЛ, за формулою (1.11):

$$TA_{cp} = \frac{100}{5-1} = 25 \text{ мкм},$$

де $TA_0 = 100$ мкм – допуск на розмір замикальної ланки;
 $m = 5$ – загальна кількість ланок РЛ.

Забезпечити допуск $TA_0 = 0,1$ мм методом повної взаємозамінності не є економічним рішенням, тому що потрібно виконати підвищену точність розмірів ланок $A_1 = 216$ мм та $A_3 = 224$ мм. Для цього допуски цих розмірів варто призначити за 6–7-м квалітетами точності й увести в технологічні процеси виготовлення зазначених деталей додаткові оздоблювальні операції. Це ускладнює технологічний процес цих деталей, хоча за службовим призначенням розсувної призми в цьому немає потреби.

Іншим методом можна запропонувати метод регулювання [10], тому що конструкцією виробу передбачена спеціальна деталь (прокладка), яка є компенсатором – [A4].

На всі ланки РЛ, крім ланки-компенсатора, призначимо легко здійснювані допуски із середньою економічною точністю методів обробки [12]. Потрібну точність замикальної ланки забезпечують набором прокладок однакової або різної товщини.

Економічно вигідними допусками будуть: $A_1 = 216h11(-0,29)$, $A_2 = 4h12(-0,12)$, $A_3 = 224h12(-0,46)$.

Визначимо координати полів допусків складальних ланок:

$$TA_1 = 0,29 \text{ мм}, ESA_1 = 0 \text{ мм}, EIA_1 = -0,29 \text{ мм}, EcA_1 = -0,145 \text{ мм}.$$

$$TA_2 = 0,12 \text{ мм}, ESA_2 = 0 \text{ мм}, EIA_2 = -0,12 \text{ мм}, EcA_2 = -0,06 \text{ мм}.$$

$$TA_3 = 0,46 \text{ мм}, ESA_3 = 0 \text{ мм}, EIA_3 = -0,46 \text{ мм}, EcA_3 = -0,23 \text{ мм}.$$

Із рівняння (6.11) обчислимо номінальний розмір ланки-компенсатора [A4]:

$$[A_4] = A_3 - A_1 - A_2 - A_0 = 224 - 216 - 4 - 0 = 4 \text{ мм}.$$

Розрахуємо похибку замикальної ланки за формулою (1.21):

$$T' A_0 = 1,2\sqrt{0,46^2 + 0,12^2 + 0,29^2} \approx 0,7 \text{ мм} = 700 \text{ мкм.}$$

Визначимо координату середини поля допуску замикальної ланки за формулою

$$\begin{aligned} E_c' A_0 &= \sum E_c A_i - \sum E_c A_j = -0,23 - [(-0,145) + (-0,06)] = \\ &= -0,025 \text{ мм} = 25 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Обчислимо координату середини величини потрібної компенсації за формулою

$$\begin{aligned} E_c A_k &= E_c A_4 = \pm(E_c' A_0 - E_c A_0) = \pm(-0,025 - 0,15) = \\ &= \pm(-0,175) \text{ мм} = \pm(-175) \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Беремо у формулі знак «+», тому що ланка-компенсатор $[A_4]$ та замикальна ланка A_0 знаходяться в одній гілці РЛ (див. рис. 6.25):

$$E_c A_k = E_c A_4 = +(-0,175) = -0,175 \text{ мм} = -175 \text{ мкм.}$$

Допуск величини ланки-компенсатора розрахуємо за формулою (1.22):

$$T A_k = 0,7 - 0,1 + 0,05 = 0,65 \text{ мм} = 650 \text{ мкм,}$$

де $T_{mk} = 0,05 \text{ мм} = 50 \text{ мкм}$ – допуск, обумовлений точністю методу компенсації. Під час вибору величини T_{mk} потрібно додержуватися виконання умови

$$T_{mk} \leq TA_0.$$

Визначимо верхнє та нижнє граничні відхилення величини ланки-компенсатора:

$$ESA_{\kappa} = E_c A_{\kappa} + \frac{TA_{\kappa}}{2} = -0,175 + \frac{0,65}{2} = +0,15 \text{ мм} = +150 \text{ мкм},$$

$$EIA_{\kappa} = E_c A_{\kappa} - \frac{TA_{\kappa}}{2} = -0,175 - \frac{0,65}{2} = -0,5 \text{ мм} = -500 \text{ мкм}.$$

Перевірка правильності розрахунків: $150 + 500 = 650 \text{ мкм}$.
У цьому разі виконуються умови:

$$ESA_{\kappa} = +150 \text{ мкм} > 0 \text{ мкм},$$

$$EIA_{\kappa} = -500 \text{ мкм} < 0 \text{ мкм}.$$

Виконання другої умови потребує коригування номінального розміру однієї зі складових ланок розмірного ланцюга. За рекомендаціями [10] коригують найбільшу за величиною ланку A_3 :

$$A_3' = A_3 - EIA_{\kappa} = 224 - 0,5 = 223,5 \text{ мм}.$$

Обчислимо остаточний розмір ланки-компенсатора:

$$\begin{aligned} A_{\kappa} &= [A_4] + E_c A_{\kappa} \pm \frac{TA_{\kappa}}{2} = 4 + (-0,175) \pm \frac{0,65}{2} = \\ &= 3,825 \pm 0,325 = 4,0_{-0,5}^{+0,15} \text{ мм}. \end{aligned}$$

Визначення кількості й товщини прокладок. Варіант 1: використання прокладок однакової товщини $S = T_{mk} = 0,05$ мм = 50 мкм. Кількість прокладок обчислимо за формулою

$$Z = \frac{TA_k}{S} = \frac{650}{50} = 13 \text{ шт.}$$

Товщину основної прокладки розрахуємо за формулою

$$S_0 = A_k - EIA_k = 4,0 - 0,5 = 3,5 \text{ мм.}$$

Товщину найбільшого набору прокладок визначимо за формулою

$$S_\Sigma = S_0 + Z \cdot S = 3,5 + 13 \cdot 0,05 = 4,15 \text{ мм.}$$

Інтервал регулювання обчислимо за формулою

$$S_\Sigma - S_0 = 4,15 - 3,5 = 0,65 \text{ мм.}$$

Отже, виконується рівність $S_\Sigma = TA_k$, що є прийнятним.

Висновок: для компенсації найбільшого зазору в партії виробів необхідно використати одну основну та 13 допоміжних прокладок.

Варіант 2: використання прокладок різної товщини.

Визначимо необхідну сумарну товщину всіх прокладок у наборі:

$$ESA_k = 4,0 + 0,15 = 4,15 \text{ мм.}$$

З урахуванням $S = T_{mk} = 0,05$ мм = 50 мкм товщини прокладок становитимуть:

$$S_1 = S = 0,05 \text{ мм}, S_2 = 2S_1 = 2 \cdot 0,05 = 0,1 \text{ мм},$$

$$S_3 = 2S_2 = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ мм}, S_4 = 2S_3 = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ мм},$$

$$S_5 = 2S_4 = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ мм}, S_6 = 2S_5 = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ мм},$$

$$S_7 = 2S_6 = 2 \cdot 1,6 = 3,2 \text{ мм}.$$

Оскільки для товщини сьомої прокладки виконується умова

$$S_7 = 3,2 \text{ мм} > ESA_k / 2 = 4,15 / 2 = 2,075 \text{ мм},$$

зупиняємося на кількості прокладок $Z = 7$.

Визначимо найбільшу товщину прокладок (інтервал регулювання) за формулою

$$S_z = (2^z - 1) \cdot T_{mk} = (2^7 - 1) \cdot 0,05 = 6,35 \text{ мм} > ESA_k = 4,15 \text{ мм}.$$

Висновок: із двох варіантів розрахунку кількості й товщин прокладок беремо набір прокладок різної товщини (варіант 2), тому що їх кількість менша.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

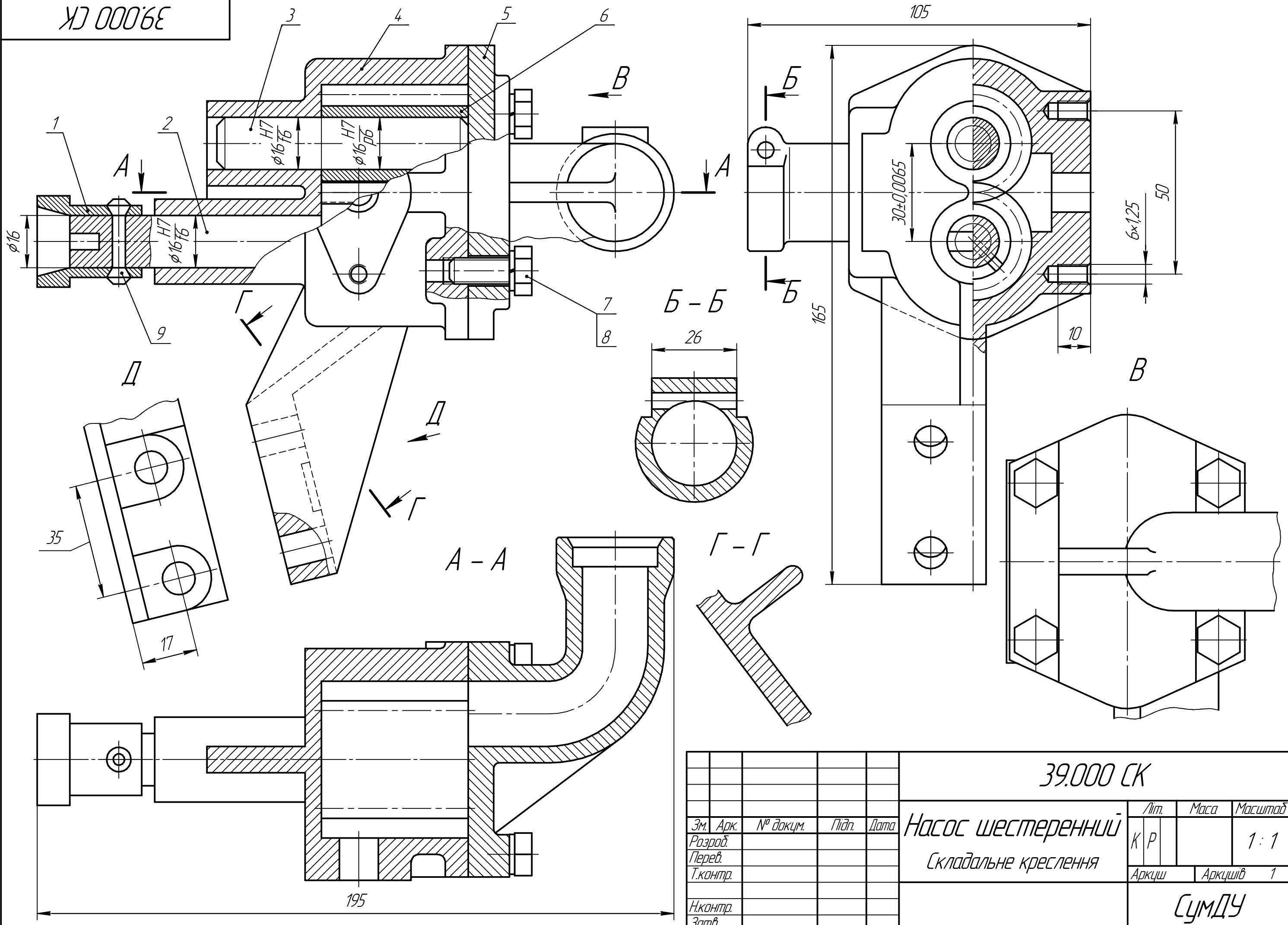
1. Маталин А. А. Технология машиностроения : учебник. 2-е изд., испр. / А. А. Маталин. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 512 с.
2. Методичні вказівки до виконання практичної роботи «Складання службового призначення виробів та технічних вимог до їх виготовлення за складальним кресленням» із дисципліни «Наукові основи складання машин» / укладач В. І. Савчук. – Суми : СумДУ, 2017. – 24 с.
3. Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. – Львів : Новий Світ-2000, 2012. – 358 с.
4. Балакшин Б. С. Теория и практика технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – Москва : Машиностроение, 1982. Кн. 1. – 288 с.
5. Балакшин Б. С. Теория и практика технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – Москва : Машиностроение, 1982. Кн. 2. – 268 с.
6. Савчук В. І. Наукові основи складання машин : конспект лекцій / В. І. Савчук, О. В. Івченко. – Суми : СумДУ, 2013. – 212 с.
7. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Практикум : підруч. / Г. О. Іванов, В. С. Шибанін, Д. В. Бабенко, Полянський П. М. ; за ред. Г. О. Іванова і В. С. Шибаніна. – Миколаїв : МНАУ, 2016. – 428 с.
8. Размерный анализ конструкций : справочник / Бондаренко С. Г., Чередниченко О. Н., Губий В. П., Игнатцев Т. М. – Киев : Техника, 1989. – 150 с.
9. Розмірні ланцюги : навч.-метод. посіб. / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2018. – 132 с.
10. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчёта линейных и угловых цепей : методические указания РД50-635-87. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 46 с.

11. Технологія машинобудівних підприємств : підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін. ; за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків : УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
12. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мешерякова. 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение–1, 2001. Т 2. – 944 с.
13. Дука А. Н. Расчёты размерных цепей машин и механизмов / А. Н. Дука. – Киев : Техника, 1969. – 124 с.
14. Новиков Н. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / Н. П. Новиков. – Москва : Машиностроение, 1989. – 592 с.
15. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Наукові основи складання машин» / укладачі: А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов, В. О. Колесник, А. О. Нешта. – Суми : СумДУ, 2021. – 41 с.
16. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: справочник / В. К. Замятин. – Москва : Машиностроение, 1995. – 608 с.
17. 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. – Москва : Экономика, 1991. – 160 с.
18. 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 : СумДУ, 2011. – 55 с.
19. 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 : СумДУ, 2011. – 59 с.

20. Бочков В. М. Обладнання автоматизованого виробництва : підручник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін. – Львів : Львівська політехніка, 2015. – 404 с.
21. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навч. посіб. / А. В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с.
22. Муляр Ю. І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навч. посіб. / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.
23. Boothroyd G. Assembly Automation and Product Design. Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005. – 536 p.
24. Whitney Daniel E. Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development. Oxford University Press, 2004. – 573 p.
25. Ковальов Ю. А. Проектування промислових роботів та маніпуляторів : навч. посіб. / Ю. А. Ковальов, С. О. Кошель, О. П. Маноїленко. – Київ : ЦУЛ, 2021. – 256 с.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)
Насос шестеренний 39.000 СК
(складальне креслення)

39.000.6E

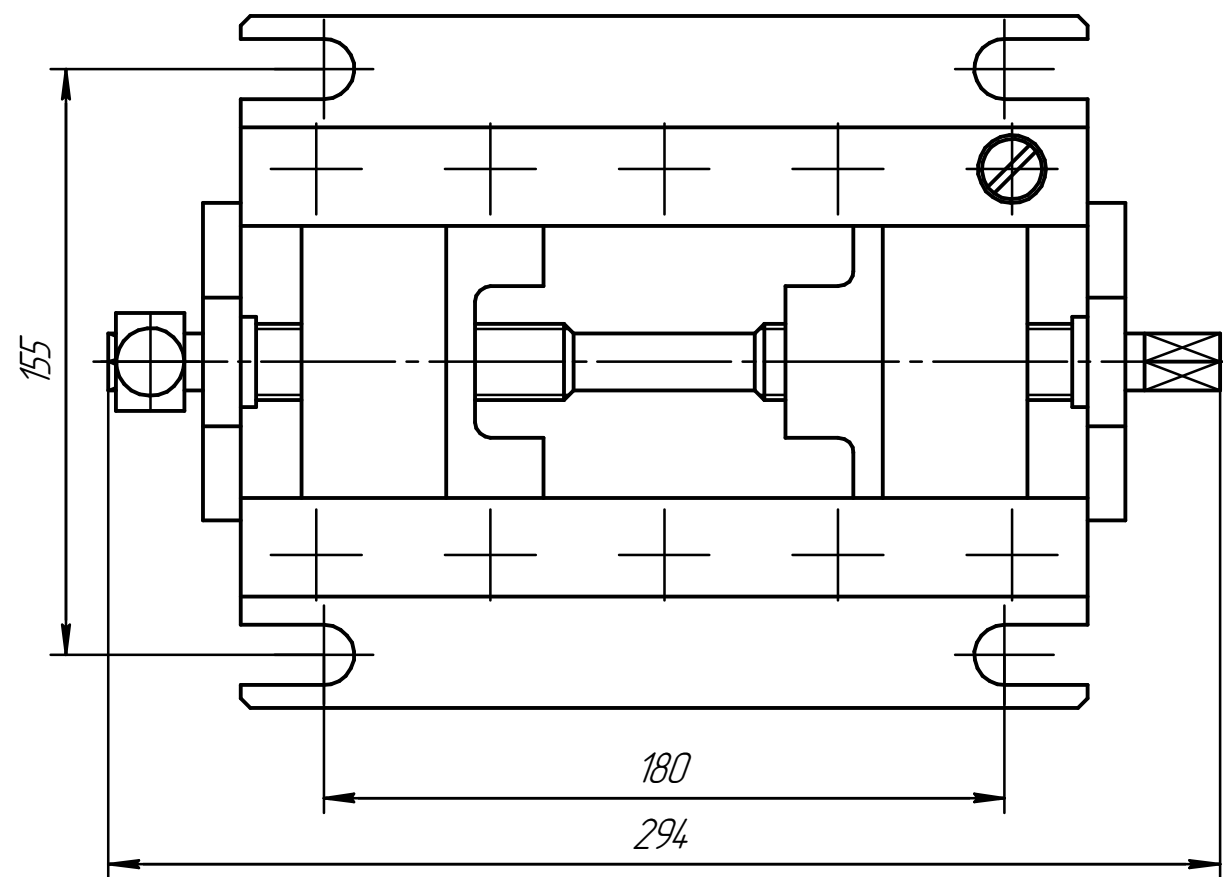
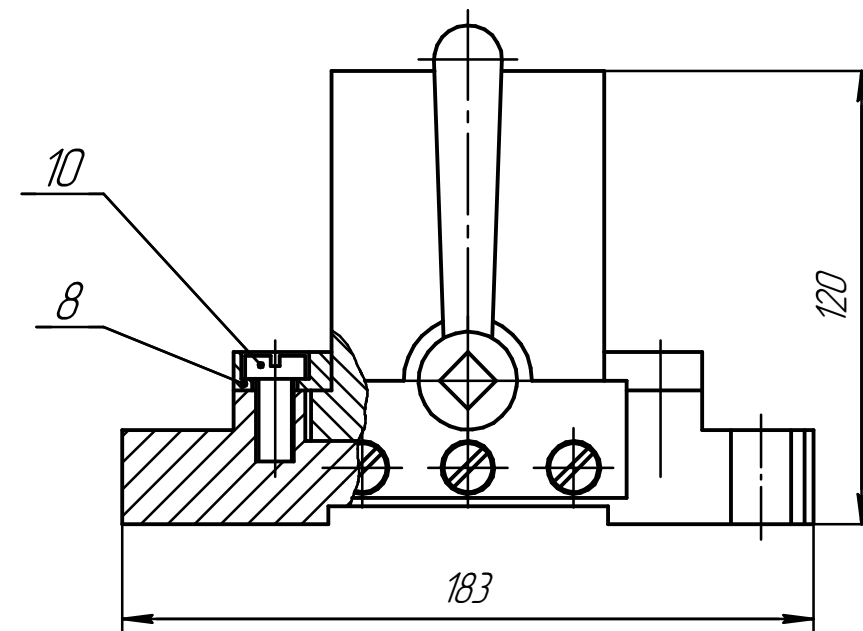
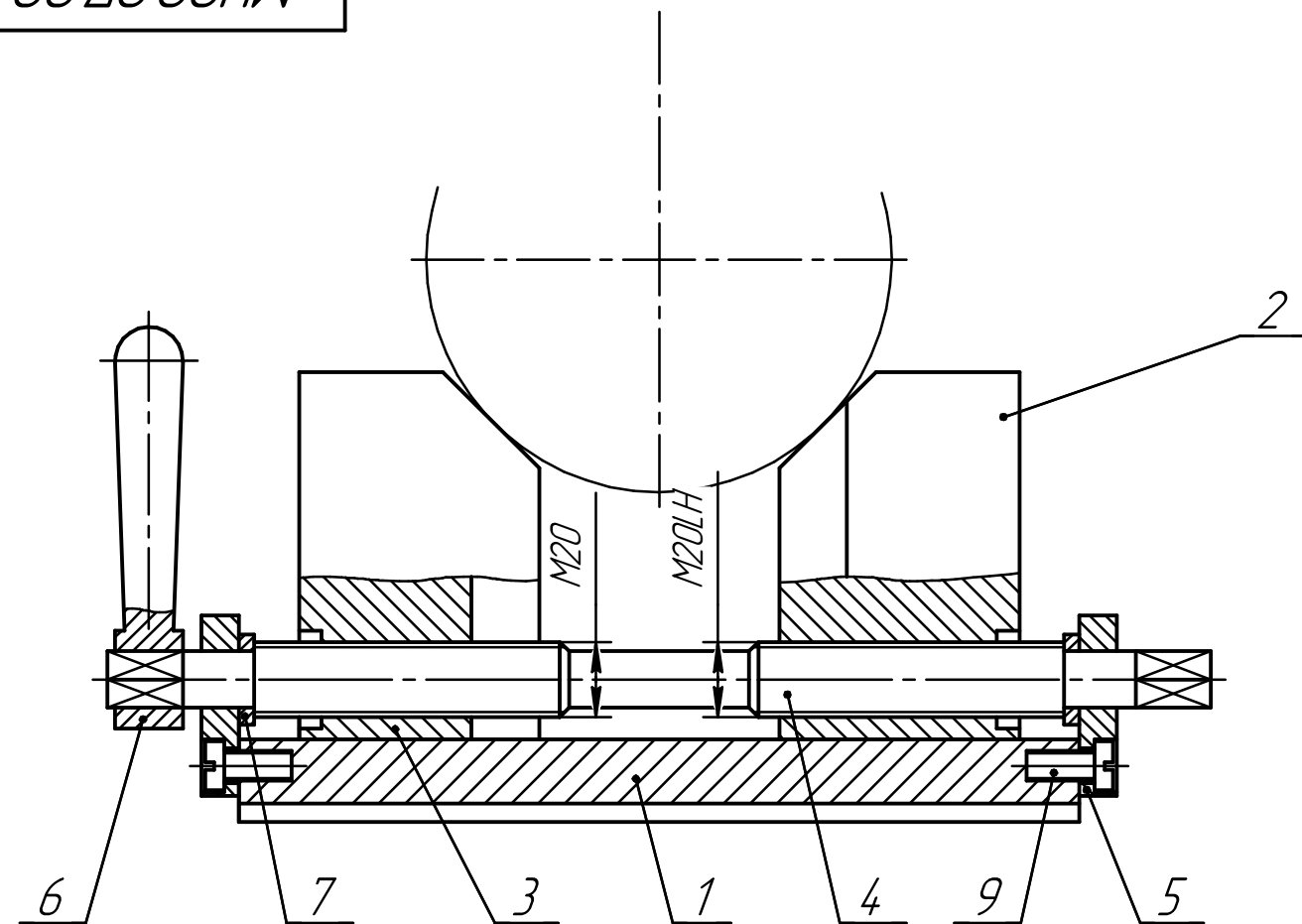


					39.000 СК			
Эм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Насос шестеренний	Лит.	Маса	Масштаб
Разр.	Перев.	Т.контр.	Н.контр.	Затв.		К Р		1:1
					<i>Складальне креслення</i>		Аркцш	Аркцшів 1
					СУМДУ			

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)
Насос шестеренний 39.000 СК
(специфікація)

ДОДАТОК В
(обов'язковий)
Призма розсувна МЧ00.07.00.00 СК
(складальне креслення)

M400.07.00.00 СК



					M400.07.00.00 СК			
Эм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Призма розсувна	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.								1:2
Перев.					Складальне креслення		Аркциш	Аркцишів 1
Т.контр.					СУМДУ			
Н.контр.								
Затв.								

ДОДАТОК Г
(обов'язковий)
Призма розсувна МЧ00.07.00.00 СК
(специфікація)

Електронне навчальне видання

Савчук Володимир Іванович,
Івченко Олександр Володимирович,
Євтухов Артем Віталійович,
Дегтярьов Іван Михайлович

НАУКОВІ ОСНОВИ СКЛАДАННЯ МАШИН

Навчальний посібник

За загальною редакцією А. В. Євтухова

Художнє оформлення обкладинки А. В. Євтухова
Редактор О. В. Федяй
Комп'ютерне верстання А. В. Євтухова

Для оформлення обкладинки використані зображення
з інтернет-ресурсів за [посиланням 1](#) та [посиланням 2](#)

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 16,04. Обл.-вид. арк. 17,36.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.