

**Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет**

**В. Г. Євтухов, А. В. Євтухов**

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ  
КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

**Навчальний посібник**

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми  
Сумський державний університет  
2015

УДК 621.7.08(075.8)  
ББК 34.9-02я73  
Є27

Рецензенти:

*Ю. А. Сизий* — доктор технічних наук, професор Національного технічного університету «ХПІ»;

*В. Є. Карпусь* — доктор технічних наук, професор Національної академії Національної гвардії України

*Рекомендовано до видання вченою радою  
Сумського державного університету  
(протокол № 9 від 26 березня 2015 р.)*

**Євтухов В. Г.**

Є27 Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв : навчальний посібник / В. Г. Євтухов, А. В. Євтухов. — Суми : Сумський державний університет, 2015. — 139 с.  
ISBN 978-966-657-553-4

У навчальному посібнику розглянуто питання проектування контрольно-вимірювальних пристроїв, що можуть використовуватися у процесі механічної обробки заготовок деталей машин. Наведено основні принципи та етапи проектування контрольно-вимірювальних пристроїв, подано класифікацію та вимоги до їх конструкцій.

У посібнику також викладені класифікації методів вимірювання та сучасних засобів вимірювання, описані їх основні метрологічні характеристики, проаналізовані похибки вимірювання та їх визначення при виконанні контрольних операцій, подана методологія точнісних розрахунків під час конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв та розглянуті загальні питання проектування точних механізмів.

Навчальний посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання за фахом «Технології машинобудування».

**УДК 621.7.08(075.8)**  
**ББК 34.9-02я73**

© Євтухов В. Г., Євтухов А. В., 2015  
ISBN 978-966-657-553-4 © Сумський державний університет, 2015

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Основи проектування контрольно-вимірювальних пристроїв	8
1.1 Перспективи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв	8
1.2 Точність вимірювання та основні принципи проектування КВП	14
1.3 Основні вимоги до конструкцій КВП	17
1.4 Класифікація КВП	19
1.5 Організаційно-методичні основи операції контролю та етапи розроблення КВП	20
2 Метрологічні основи проектування КВП	23
2.1 Основні метрологічні поняття	23
2.2 Класифікація методів вимірювання	28
2.3 Засоби вимірювання та їх класифікація	31
2.4 Загальна структура вимірювальних приладів	46
2.5 Основні метрологічні характеристики засобів вимірювання	48
2.6 Економічне обґрунтування доцільності вибору вимірювальних засобів	55
3 Обґрунтування точності КВП	58
3.1 Сумарна похибка вимірювання	58
3.2 Похибки засобів вимірювання	60
3.3 Похибка установлення	63
3.4 Визначення похибок передавальних пристроїв КВП	84
3.5 Визначення похибки виготовлення еталонних деталей, що використовуються для налагодження контрольних пристроїв	99
3.6 Похибка, викликана вимірювальним зусиллям	101
3.7 Похибка, викликана температурними деформаціями елементів вимірювальної системи	106

3.8 Похибки, викликані суб'єктивними чинниками	108
3.9 Вплив похибки вимірювання на результати контролю	110
4 Загальні питання проектування точних механізмів	119
4.1 Функціональне призначення механізму	120
4.2 Умови роботи механізмів у КВП	122
4.3 Проектування механізму із заданою цільовою функцією	125
4.4 Конструювання механізму із заданими геометричними характеристиками	127
4.5 Характеристики конструктивної якості та економічної ефективності проектованого КВП	130
4.6 Етапи створення конструкції КВП	132
Список використаної літератури	137

## Вступ

На нашій планеті будь-яка держава могутня своїми технологіями, і в першу чергу технологіями машинобудування, що забезпечують машинами всі галузі промисловості та сфери виробництва у всіх країнах світу.

Наша держава послідовно продовжує виконання своєї економічної стратегії щодо неухильного підняття матеріального й культурного рівня життя народу на основі сталого, поступального розвитку всіх галузей народного господарства, прискорення науково-технічного прогресу та переведення економіки на інтенсивний шлях розвитку, більш раціональне використання виробничого потенціалу країни, економію всіх видів ресурсів і поліпшення якості роботи.

Перед машинобудівниками поставлені грандіозні завдання зі створення машин, механізмів і технологій як сьогоdnішнього, так і завтрашнього дня. Нам необхідно здійснити автоматизацію та механізацію виробництва, забезпечити більш широке використання комп'ютерів і роботів, упровадити гнучкі технології, що дозволить швидко та ефективно переналагоджувати виробництво на виготовлення нової продукції. У зв'язку з цим необхідний випереджальний розвиток машинобудування й металообробки, повинні більш повно задовольнятися потреби в машинах та устаткуванні для механізації й автоматизації всіх галузей промислового виробництва країни. Машинобудівники повинні розробляти і створювати взаємозв'язані комплекси устаткування, системи машин, підвищувати їх потужність при одночасному зниженні габаритних розмірів та металомісткості, енергоспоживання і вартості. Необхідно без зволікання опановувати й втілювати в досконалі машини, технологічні лінії все те, що створює наша

наукова та інженерна думка. Швидке впровадження нової техніки і технологій виробництва дозволяє підвищити якість продукції, що випускається, збільшити її довговічність та експлуатаційну надійність у роботі. Усе це ще збільшує важливість застосування в сучасному виробництві контрольно-вимірювальних пристроїв та засобів, які використовуються не лише для кінцевого приймання та сортування виробів, а й для керування виробничими процесами. Необхідно пам'ятати, що вимірювальні пристрої є одними з основних елементів забезпечення виробництва взаємозамінних виробів.

Уже сьогодні на машинобудівних підприємствах кількість контролерів щодо загальної кількості робітників становить 10–25 %, трудомісткість контролю в авіаційній промисловості досягає 25–30 % від основного виробництва, а в приладобудівній промисловості витрати на контрольні операції становлять 30–50 % від собівартості виготовлення виробів.

Наприклад, час виготовлення складних корпусних деталей на верстатах із ЧПК може займати до 2–3 години без втручання робітника-оператора, а його повний контроль висококваліфікованим контролером із використанням ручних вимірювальних засобів і пристроїв може становити до 18–20 годин. У той самий час використання під час контролю таких деталей сучасних контрольно-вимірювальних машин прискорює цей процес майже у десять разів.

У зв'язку з цим великого значення набувають підвищення точності контрольно-вимірювальних пристроїв, зменшення часу, який використовують на контрольні операції, застосування профілактичних методів контролю, механізація й автоматизація контрольних операцій.

Сьогодні в машино- і верстатобудування широко

впроваджують засоби автоматизованого контролю. Першочергового значення набуває активний контроль, що забезпечує високу якість виробів безпосередньо у процесі їх виготовлення. Використання засобів активного контролю дозволяє підвищити технологічну точність виготовлення деталей за рахунок компенсації похибок, що виникають у процесі механічної обробки. Отримана засобами активного контролю інформація про величину й напрямок зміни розмірів дозволяє оптимізувати технологічний процес та забезпечити необхідний рівень якості виробництва.

Вітчизняна промисловість та іноземні фірми випускають велику кількість різноманітних високоякісних контрольних-вимірювальних засобів, які задовольняють основні потреби машинобудівних підприємств, науково-дослідних і навчальних інститутів, лабораторій та інших установ.

Головними завданнями при проектуванні, виготовленні й експлуатації нових та модернізації існуючих контрольних-вимірювальних пристроїв повинні бути рішення, спрямовані на підвищення якості й ефективності сучасного виробництва.

# **1 Основи проектування контрольно-вимірювальних пристроїв**

## **1.1 Перспективи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв**

Як було зазначено у вступі, перед машинобудівною та металообробною галузями промисловості нашої країни поставлені грандіозні завдання, серед яких першочергову роль відводять технології виготовлення продукції, а отже, й удосконаленню контрольно-вимірювальних пристроїв та засобів, що зможуть конкурувати з кращими іноземними зразками.

Одна з головних особливостей контрольно-вимірювальних пристроїв (КВП) – незвичність функцій, що вони реалізують, а саме: надання інформації, необхідної для керування технологічними процесами виготовлення виробів. Вимірювальні пристрої дають об'єктивну інформацію, забезпечуючи зворотний зв'язок, без якого неможливі наукове керування технологічними процесами та їх автоматизація.

Актуальність створення галузей знань, що вивчають закономірності й тенденції створення КВП, підвищуються в міру виходу параметрів технологічних процесів за межі сприйняття їх людиною.

Залежність між точністю виготовлення виробів і плином часу впродовж минулого століття наведена на рис. 1.1.

Підвищення точності виготовлення виробів – це не примхи, а веління часу, бо поняття точності з метрології переходить у економічну категорію. Розраховано, що зменшення зазорів у лопатках ротора і статора парової турбіни на 0,1 мм приводить до річної економії 300 тис. т палива.



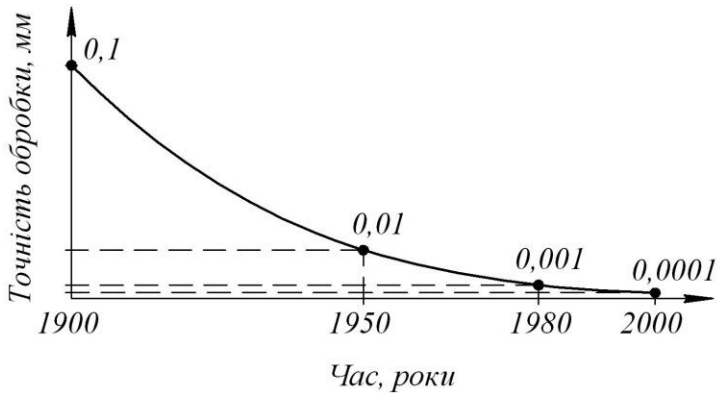


Рисунок 1.1 – Зростання точності обробки виробів із плином часу

Зниження шорсткості поверхонь підшипників із 0,4 до 0,2 мкм за критерієм Ra збільшує їх довговічність у 4 рази. Зазвичай такі високі вимоги витримати без застосування сучасних високоточних засобів вимірювання неможливо. Уже зараз при виготовленні прецизійних підшипників необхідне використання вимірювальних засобів із ціною поділки 0,1 мкм. У середині минулого століття на заводі «Калібр» був спроектований і виготовлений контактний інтерферометр зі змінною ціною поділки в межах 0,05–0,2 мкм, що й до цього часу є одним із найбільш точних приладів цього класу. Але необхідно завжди пам'ятати, що точність виготовлення виробів, як і точність засобів вимірювання не повинна бути надлишковою, бо це дуже підвищує собівартість їх виготовлення (рис. 1.2).

З поданого рис. 1.1 можна прогнозувати, що через найближчі 20 років точність металообробки може підвищитися ще на один порядок (у десять разів), а це й потребує проектування та виготовлення відповідних засобів вимірювання, які повинні бути ще більш точними.

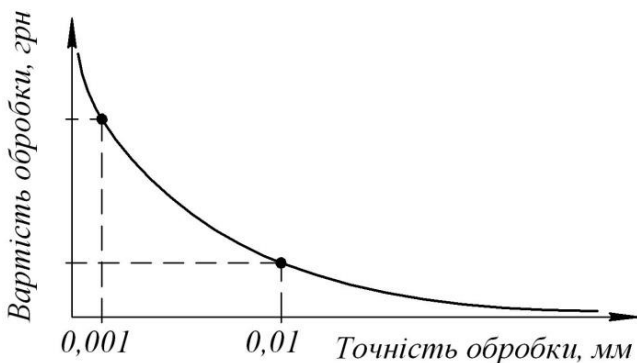


Рисунок 1.2 – Співвідношення вартості та точності обробки виробів

При розгляді цього питання доречним буде навести вислови таких великих російських вчених, як Менделєєв Д. І., який сказав: «Наука починається там, де з'являються вимірювання», та Лобачевського М. І.: «Все в природі підлягає вимірюванню. Все повинно бути підрахованим». А всесвітньо відомий Галілео Галілей зазначав: «Намагайтеся вимірювати все. Робіть невимірювальне вимірювальним».

І дійсно, без інформації неможливо керувати технологічними процесами виготовлення виробів. КВП виконують зворотний зв'язок, забезпечуючи належну інформацію. Тоді технолог, озброєний досконалыми технічними засобами вимірювання, буде завжди мати достовірну інформацію й керувати технологічними процесами виготовлення якісних виробів на науковій основі.

На рисунку 1.3 подана схема цілісної технологічної системи впливу різноманітних факторів при перетворенні заготовки на готову деталь.

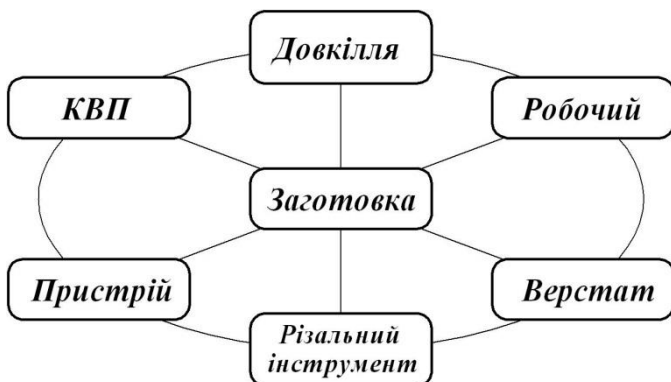


Рисунок 1.3 – Схема цілісної технологічної системи

Виходячи з цього, ми будемо розглядати КВП як засіб діагностики стану елементів технологічної системи, як інструмент ефективного керування технологічними процесами, стабілізації, незважаючи на їх стохастичну природу.

Потрібно пам'ятати, що культура і клас точності будь-якого виробництва характеризуються та визначаються насамперед точністю й насиченістю виробництва сучасними вимірювальними засобами. У технологічному процесі, який своєю структурою розчленований на елементарні операції, законне місце повинні займати операції контролю продукції, без яких не може бути грамотного, доброякісного й цілком надійного виготовлення продукції. Технічний контроль виник у результаті розподілу праці і його необхідно всіляко вдосконалювати. Недостатнє метрологічне забезпечення технологічних процесів вимірювальними інструментами, приладами, автоматизованими засобами регулювання ходу технологічних процесів і т. ін. призводить до зниження якості виготовлення продукції.

На сучасних підприємствах масового виготовлення машин, зокрема виробництва вантажних автомобілів середньої вантажопідйомності, використовується близько 50 тисяч універсально-вимірювальних інструментів, 130 тисяч граничних калібрів, а для перевірки найбільш важливих, складних і відповідальних параметрів деталей, таких як колінчасті та розподільні вали, використовується майже 5 тисяч спеціальних контрольно-вимірювальних пристроїв.

Ураховуючи вищезазначене, можна зазначити, що **контрольно-вимірювальні пристрої** – це спеціальні виробничі засоби вимірювання, що являють собою конструктивні з'єднання базуючих, затискних, передавальних та вимірювальних засобів. Завдяки комплексу цих основних елементів контрольні пристрої й забезпечують об'єктивність, точність та продуктивність операцій контролю.

Контрольно-вимірювальні пристрої перевіряють найрізноманітніші параметри деталей та вузлів машин: лінійні розміри, відхилення від правильної геометричної форми поверхонь, взаємне розміщення поверхонь, нелінійні та інші фізичні параметри, такі як твердість, пружність, випробування на працездатність, шум, параметри зчеплення зубчастих коліс, правильність роботи зібраних механізмів та ін.

Для якісного забезпечення контрольних функцій конструкції кожного КВП повинні задовольняти різні вимоги, серед яких найважливішими є: оптимальна точність вимірювання і продуктивність контролю, технологічність у виготовленні, зносостійкість, зручність в експлуатації, а також економічна доцільність.

При проектуванні, виготовленні та експлуатації КВП важливого значення набуває аналіз похибок вимірювання, які є в кожній конструкції КВП. Під похибкою

вимірювання ми розуміємо різницю між показниками КВП і дійсними значеннями величини, що перевіряється. Необхідно враховувати, що сумарна похибка методу вимірювання розглядуваного КВП визначається сукупністю ряду елементарних похибок, методу і схеми вимірювання, прийнятих у конструкції КВП, конструкції базуючих і затискних пристроїв, передавальних пристроїв і переміщувальних (рухомих) елементів, метрологічних характеристик застосовуваних засобів вимірювання, установлювальних калібрів та еталонних деталей, за якими налаштовуються вимірювальні засоби КВП, вимірювального зусилля, температурних деформацій і т. д.

У той самий час абсолютна величина сумарної похибки методу вимірювання і конструкції КВП ще не дає достатніх даних для міркування про правильність вибору конструктивної схеми КВП. Вирішальне значення має відносна похибка, що визначається в частках числового значення вимірювальної величини, %.

Однією з найважливіших умов, що визначає конструкцію КВП, є ще й їх необхідна продуктивність. Контроль може бути вибірковим і суцільним ( 100 % ) як для стійких, стабільних, так і для нестійких процесів. Механізація КВП підвищує їх продуктивність, але тут необхідно завжди пам'ятати про кібернетичний принцип слабкої ланки: продуктивність технологічної системи визначається продуктивністю найбільш слабкої ланки (рис. 1.3). Якщо це буде КВП, то якою б високою не була продуктивність верстата, загальна продуктивність обробки деталей не буде швидшою за контролювання цих деталей.

Вивчення дисципліни «Основи конструювання контрольно-вимірювальних пристроїв» дозволить ознайомитися з метрологічними основами проектування КВП, обґрунтуванням і розрахунками точності КВП, із загальними питаннями проектування точних механізмів, а також вирішувати такі завдання:

- уточнення мети контрольної операції і завдань проектування КВП;
- пошук оптимальних методів вимірювання;
- вибір та обґрунтування раціональних засобів вимірювання;
- розроблення та обґрунтування структурної, кінематичної й компоувальної схем КВП;
- конструювання складальних креслень КВП і розроблення технічних вимог до них, виходячи з обмежень за точністю, економічною доцільністю, технологічністю, естетичністю та ергономічністю.

## **1.2 Точність вимірювання та основні принципи проектування КВП**

До точності оброблюваних заготовок і вузлів машин ставлять усе більш високі вимоги. У результаті, підвищуються вимоги й до технологічних служб, які забезпечують якість продукції, що виготовляється.

Зараз все частіше ставиться вимога щодо виготовлення з'єднання деталей із допуском 2–3 мкм або, наприклад, виготовлення вала з діаметром 7 мкм та допуском 0,1 мкм. Створення сучасних оброблювальних систем із ЧПК ще в більшому ступені підвищує вимоги до якості, а отже, й до точності, тому що точність сьогодні – це продовження термінів служби машин, це підвищення їх експлуатаційної надійності, економія матеріальних та енергетичних ресурсів.

Що ж таке точність?

**Точність** – це ступінь відповідності розглянутого параметра до ідеального креслярського прототипу.

Точність – це засіб досягнення високої якості, надійності та економічності. У зв'язку з цим сьогодні роль

контролю операції є дуже значущою. Досить зазначити, що на деяких підприємствах електронної промисловості, зокрема на ДПЗ, 25–40 % робітників є працівниками відділу технічного контролю (ВТК). Часті випадки, коли трудомісткість контролю досягає 50 % від трудомісткості виготовлення виробів.

Під час розроблення технологічного процесу технолог повинен гарантувати метрологічне забезпечення виробництва, тобто запропонувати засоби вимірювання, що дадуть можливість контролювати процес із достатньою точністю та продуктивністю.

Продуктивність вимірювань може бути підвищена за рахунок створення прогресивних конструкцій КВП, на основі високої механізації й автоматизації, з використанням нових фізичних ефектів і принципів дії. Підвищенню продуктивності сприяє й створення багатовимірних, комплексних КВП. Високу продуктивність забезпечують світлосигнальні («світлофорні») КВП із зазначенням та розділенням виробів на «придатні», «брак +», «брак –». Але такі пристрої не дозволяють визначити числового значення контрольованого параметра та величину й напрямок його відхилення.

Розглядаючи процес проектування КВП, необхідно акцентувати увагу на двох основних принципах: принципі перманентності та принципі превентивності контролю.

Мова йде про те, що основними перевагами контролю є принципи *перманентності* (безперервності) та *превентивності* (запобігливості) контролю. Зрозуміло, що розлад технологічного процесу необхідно виявляти ще до появи браку. І тут радикальним засобом технологічної діагностики (виявлення слабкого місця в технологічному процесі виготовлення виробів) є КВП.

Як уже зазначалося, перевагу необхідно віддавати **активним** методам контролю, тобто методам, органічно пов'язаним із технологічними процесами. У такому разі результати активного контролю використовують безпосередньо на робочому місці для регулювання, налагодження і керування технологічним процесом.

Вимірювальна інформація, що необхідна технологові для впливу на технологічний процес, повинна відображати не лише величину відхилення, а й спрямованість останнього.

Прогресивними методами контролю є статистичні методи. Розрізняють два види контролю:

а) контроль точності продукції (метод кривих розсіювання: дозволяє знайти похибки налагодження верстата на розмір, відсотки виправного і непоправного браку, точність налагодження технологічної системи механічної обробки заготовок, тощо. У результаті, за статистичними даними вибірок, роблять висновок про точність виготовлення всієї партії заготовок. При цьому необхідно знати закони розподілу аналізованих похибок, що можуть бути випадковими або систематичними тощо);

б) контроль точності технологічного процесу (метод точкових, або точнісних діаграм за оцінюванням середніх значень і розмахів тощо). Останній метод є більш прогресивним і дозволяє запобігати виникненню браку.

Очевидно, що якість виробів повинна визначатися на робочому місці, де й повинні застосовуватися найбільш досконалі та точні засоби вимірювання. Є неправильним, коли точні засоби вимірювання є лише у лабораторіях, а в цехах, на робочих місцях їх немає. На основі виробничого досвіду можна стверджувати, що точність вимірювання повинна перевищувати точність виготовлення виробів у 3–5 разів.



### 1.3 Основні вимоги до конструкцій КВП

Як було вище зазначено, КВП – це клас вимірювальних пристроїв, якими перевіряють найрізноманітніші параметри виробів: лінійні розміри (діаметр, довжину, висоту, глибину тощо), взаємне розміщення та форму поверхонь (биття поверхонь, відхилення від циліндричності, округлості тощо), нелінійні параметри (твердість, пружність, герметичність тощо), випробування працездатності вузлів і машин тощо.

**Контрольно-вимірювальні пристрої** – це стаціонарні вимірювальні пристрої, що поєднують базуючі, затискні, передавальні, вимірювальні елементи та призначені для продуктивного контролю певної деталі за одним або декількома параметрами одночасно.

**Базуючі пристрої** обумовлюють правильність положення деталей, що перевіряються, щодо засобів вимірювання. Разом із тим вони дають можливість зниження до мінімуму трудомісткості операцій установаження деталей у КВП.

**Затискні пристрої** сприяють надійності установаження деталі в пристрої, не викликаючи при цьому збільшення трудомісткості користування КВП. Значна частина КВП взагалі не потребує затискних елементів.

**Передавальні пристрої** призначені для передачі на вимірювальні засоби відхилень параметрів деталей, що перевіряються. Застосування прогресивних конструкцій передавальних пристроїв (безлюфтові, типу пружних пластин) сприяє підвищенню точності вимірювань.

Використовуючи КВП, вимірюють і контролюють складніші параметри, ніж граничними калібрами, причому виміри виконують у 30–100 разів швидше, ніж універсально-вимірювальними інструментами.

КВП не лише визначають, придатна або непридатна дана деталь («світлофорні» КВП), а й показують величину відхилення і в який саме бік воно спрямоване – за кожним параметром окремо. Саме ця особливість дозволяє ефективно використовувати їх у керуванні якістю продукції безпосередньо на виробничій лінії або дільниці.

Швидкість і точність отримуваної інформації допомагає цеховим налагоджувачам, майстрам і технологам своєчасно та правильно налагодити кожну операцію технологічного процесу.

Конструкція спроектованого КВП повинна відповідати таким вимогам:

а) дотриманню єдності вимірювальної та конструкторської або технологічної бази залежно від поставленої мети контролю і керування;

б) забезпеченню необхідної точності вимірювання й сталості показників при багатократному установленні однієї й тієї самої деталі в пристрої;

в) високій продуктивності, що забезпечується швидкістю установлення, вимірювання й знімання деталі, чіткості та простоті зняття показів, простоті в обігу;

г) стійкості до зношення, міцності та безвідмовності у роботі при масовій перевірці деталей;

г) можливій простоті конструкції, доступності у виготовленні та проведенні ремонту на інструментальній базі підприємства, максимальному застосуванні уніфікованих і стандартних деталей у конструкції;

д) простоті проведення перевірки та налагодження;

е) естетичності конструкції;

є) економічності конструкції як у проектуванні, виготовленні, так і у подальшій експлуатації.

## 1.4 Класифікація КВП

За своїм технологічним призначенням КВП можна поділити на три основних групи:

**I група – верстатні КВП.** Вони є складовими елементами металорізальних верстатів, проводячи вимірювання безпосередньо на верстаті під час обробки заготовок. Такі КВП здійснюють активний контроль: керують якістю продукції під час виконання технологічної операції й припиняють обробку після досягнення заданого розміру, допуску, технічних вимог. До таких КВП ставлять додаткову вимогу – успішно працювати в середовищі змащувально-охолоджувальних рідин і вібрацій верстата.

**II група – налагоджувальні КВП.** Вони призначені для вибіркової перевірки заготовок під час налагодження і установлення комплекту різальних інструментів на верстаті. Такі КВП розраховані, як правило, на одночасне вимірювання декількох параметрів. Вони забезпечуються вимірювальними пристроями зі шкалою для визначення дійсних розмірів.

**III група – приймальні КВП.** Ці пристрої призначені для суцільної перевірки або сортування готових деталей. Вони повинні забезпечувати дуже високу продуктивність роботи й оснащені граничними вимірювальними засобами, що фіксують лише факт дотримання допуску («світлофорні» КВП). Їх продуктивність може досягати 300–1800 вимірювань за 1 годину та більше. У цьому разі виключається суб'єктивна похибка, властива людині, коли вона користується універсальними засобами вимірювання або стомлюється під час багатократних вимірювань одноманітних параметрів.

## **1.5 Організаційно-методичні основи операції контролю та етапи розроблення КВП**

На початку розроблення конструкції КВП необхідно проаналізувати вихідні дані для його проектування.

У першу чергу потрібно звернути увагу на обґрунтування необхідності створення КВП, відпрацювати конструкцію контрольованого виробу на технологічність вимірювання та уточнити інші організаційно-методичні основи розроблення операції контролю [11].

При цьому необхідно враховувати категорію якості контрольованої продукції (вища, 1 чи 2) і відповідно до цього вибрати категорію контролю (1, 2, 3 або 4) та його вид (нормальний, посилений чи послаблений) [11].

Оцінюючи якість продукції, необхідно мати на увазі, що при вищій категорії якості продукція за своїми техніко-економічними показниками повинна відповідати вищим досягненням вітчизняної та зарубіжної науки й техніки або навіть перевершувати їх.

Для 1-ї категорії якості продукція за своїми техніко-економічними показниками повинна відповідати сучасним вимогам чинних ГОСТ, ОСТ, ТУ.

Для 2-ї категорії якості продукція за своїми техніко-економічними показниками не відповідає сучасним вимогам, морально застаріла і потребує зняття з виробництва, а стандарти й технічні умови на неї потребують перегляду.

Загальні якісні ознаки категорій технічного контролю такі [11]:

1-ша категорія контролю відповідає перевірці об'єктів із вимогами особливо високої якості та найвищого рівня надійності, для яких теоретична ймовірність відмови повинна бути дуже малою: ракетна техніка, космічні кораблі, атомні об'єкти, а також окремі об'єкти виробів переважно 2-ї категорії контролю (лопаті гвинтів

гелікоптерів, крила літаків і т. ін.) за наявності критичних дефектів [6];

2-га категорія контролю відповідає перевірці об'єктів із вимогами високої якості та високого рівня надійності: літаки, гелікоптери, автомобілі, судна, залізничний транспорт, медичні препарати, інші об'єкти, пов'язані із забезпеченням безпеки та здоров'я людей, а також окремі об'єкти виробів переважно 3-ї категорії контролю за наявності значних дефектів [6];

3-тя категорія контролю відповідає перевірці об'єктів із вимогами економічно оптимальної якості та найбільшої економічної ефективності: вироби масового споживання, засоби механізації й автоматизації виробничих процесів, оснащення і т. п. за наявності малозначущих дефектів [6];

4-та категорія контролю відповідає перевірці мало-відповідальних виробів і технологічних процесів летючим контролем.

Крім того, необхідно встановити ще й періодичність, обсяг та структуру контролю.

За обсягом контроль може бути: суцільний або вибірковий; за періодичністю: безперервний, періодичний або летючий; за структурою: багатократний чи однократний контроль [11]. При цьому важливо визначити обсяг вибірки контрольованої продукції [4].

Усі вищеперелічені умови контрольної операції визначають режим її проведення, трудомісткість контролю, кількість і кваліфікацію контролерів, достовірність й точність інформації, а отже, впливають і на саму конструкцію проектного КВП.

Процес розроблення конструкції КВП припускає два основних етапи:

- а) проектування;
- б) конструювання.

Розроблення починається з **проектуювання** виробу: це логіко-математичний, творчий процес пошуку та обґрунтування оптимального варіанта, принципу дії й обладнання об'єкта з урахуванням вимог технічного завдання, досягнень сучасної науки і техніки, патентно-літературних матеріалів та перспектив розвитку галузі.

**Конструювання** – це логіко-математичний, творчий процес пошуку оптимального варіанта структури, форм, розмірів, матеріалів, зовнішніх і внутрішніх зв'язків сукупних елементів, призначених для виконання заданих функцій відповідно до вимог технічного завдання тощо.

Результатом конструювання є повний комплект конструкторських документів, необхідних для виготовлення, випробування й експлуатації виробів.

З урахуванням поділу процесу розроблення на два зазначені етапи конструкторські документи класифікують на проектну (технічна пропозиція, ескізний і технічний проект) і робочу документацію (робоча конструкторська документація).

Конструювання супроводжується необхідними теоретичними розрахунками й експериментальними дослідженнями, спрямованими на отримання оптимального варіанта рішення.

Розроблення КВП здійснюється на основі відповідних розрахунків із застосування методів теорії ймовірності та математичної статистики і пов'язане з вирішенням багатоваріантних й багатокритеріальних завдань.

## 2 Метрологічні основи проектування КВП

### 2.1 Основні метрологічні поняття

Рівень якості виготовлення продукції і ступінь її точності визначаються ступенем насиченості виробництва засобами вимірювання та їх точністю [8, 9].

Сьогодні для розвинених країн проблемою номер один є проблема керування якістю. Під керуванням якістю ми розуміємо встановлення, забезпечення й підтримку необхідного рівня якості під час розроблення, виготовлення та експлуатації виробів шляхом систематичного контролю і впливу на умови й чинники, що визначають якість. Тому однією з найважливіших функцій працівників технологічної служби є уміння проводити метрологічну експертизу документації та розробляти метрологічне забезпечення виробництва [14, 15].

Під *метрологічним забезпеченням* необхідно розуміти якісне та кількісне забезпечення технологічного процесу засобами вимірювання. Коефіцієнт метрологічного забезпечення

$$K = \frac{n'}{n}, \quad (2.1)$$

де  $n'$  – кількість параметрів, забезпечених засобами вимірювання;

$n$  – кількість параметрів, що підлягають перевірці.

Очевидно, що цей коефіцієнт повинен наближатися до одиниці:  $K \rightarrow 1$ .

Але, на жаль, у деяких галузях промисловості існують ще підприємства, у яких коефіцієнт метрологічного забезпечення перебуває на рівні 0,1–0,2.

Підвищення ефективності виробництва та якості продукції неможливе без достовірної, точної, об'єктивної інформації. Без цього не можна оптимізувати виробничі процеси й оцінити якість праці та її продуктів на всіх стадіях виробництва.

Працювати у сфері метрологічного забезпечення не можна без знань основних метрологічних понять, теорії ймовірності та математичної статистики.

Що ж таке метрологія?

**Метрологія** – вчення про одиниці, міри і методи вимірювання.

Основні проблеми, якими займається метрологія:

- а) встановлення одиниць вимірювання і відтворення їх у вигляді еталонів;
- б) розроблення методів вимірювань;
- в) аналіз точності методів вимірювань, дослідження й усунення причин, що спричиняють похибки вимірювань.

**Вимірювання** – сума операцій, виконуваних за допомогою засобів вимірювань із метою визначення числового значення розміру, що характеризує об'єкт вимірювання.

На виробництві переважно доводиться стикатися не з вимірюваннями, а з контролем.

**Контроль** – визначення відповідності деталей технічним умовам і заданому допуску, як правило, без визначення числових значень розміру (наприклад, контроль калібрами).

Згадаємо основні поняття розміру деталей машин.

**Номінальне значення розміру** – основний розмір, визначений виходячи з функціонального призначення деталі, що є початком відліку відхилень.

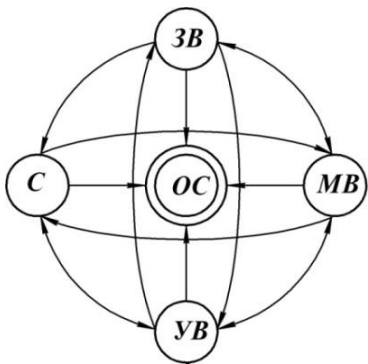
**Істинне значення розміру** – значення розміру, вільне від похибок вимірювань. Але таке практично не можливе. Річ у тому, що під час вимірювань ми користуємося



вимірювальними системами, які складаються з таких елементів (див. рис. 2.1).

У кожному з цих елементів і на стиках між ними зароджуються похибки вимірювання. Тому на практиці замість істинного значення параметра використовують **дійсне значення розміру**, тобто значення, одержане в результаті вимірювання з припустимою похибкою.

У загальному випадку ми будемо розрізняти абсолютну й відносну похибки вимірювання.



- С – оператор-спостерігач;
- ОС – об'єкт спостереження;
- ЗВ – засоби вимірювання;
- МВ – метод вимірювання;
- УВ – умови вимірювання.

Рисунок 2.1 – Схема вимірювальної системи

**Абсолютна похибка** – це різниця між номінальним і дійсним розмірами ( $x_n - x_o$ ).

**Відносна похибка** – відношення абсолютної похибки до дійсного розміру:  $\frac{x_n - x_o}{x_o}$ .

Похибки, що виникають в елементах вимірювальної системи і на їх стиках, називають складовими похибками. Це можуть бути: температурна похибка, похибка передавального важеля, похибка паралакса, похибка вимірювального зусилля та ін. Сума складових похибок дорівнює загальній похибці вимірювання.

На практиці розглядають систематичну й випадкову складові похибки вимірювання.

**Систематична похибка** – така, що постійно або закономірно змінюється залежно від будь-яких чинників (неточність налагодження приладу на розмір, неточність виготовлення базових поверхонь або установалення об'єкта вимірювання у пристрої і т. п.).

**Випадкова похибка** – така, що змінюється випадковим чином від незалежних, не пов'язаних між собою причин.

Мета будь-якого вимірювання – отримання інформації про дійсне значення вимірюваного параметра. Проте при будь-якому вимірюванні дійсне значення параметра залишається невідомим. Тому мета будь-якого вимірювання полягає не в тому, щоб визначити істинний розмір, а в тому, щоб дізнатися про нього, оцінити його з прийнятною достовірністю (точністю).

Для того щоб якісно виконати вимірювання, потрібно вибрати задовільну модель об'єкта, засіб вимірювання, метод вимірювання, призначити алгоритм підготовки та виконання вимірювання.

Наприклад, реальний об'єкт зазвичай є більш складним, ніж наше уявлення про нього (рис. 2.2). У зв'язку з цим при вимірюванні параметрів такої моделі привносяться елементарні похибки, пов'язані з геометричними неточностями поверхонь об'єкта і т. ін.

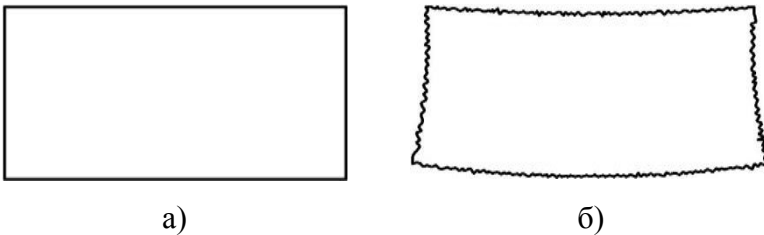


Рисунок 2.2 – Уявний (а) та реальний (б) об'єкти

Найбільша похибка, яку можна допустити під час вимірювання, називається **допустимою похибкою вимірювання**. Величина допустимої похибки вимірювання регламентується стандартом і залежить від допуску на контрольований параметр.

Для розмірів до 500 мм (див. табл. 2.1) установлені ряди допустимих похибок вимірювань для 2–17-го квалітетів [17]. У разі незбігу допусків на виготовлення із зазначеними у таблиці 2.1 допустимі похибки вимірювання необхідно вибирати за найближчим меншим значенням ІТ.

Для грубих квалітетів допускається брати допустиму похибку вимірювання  $[\Delta_{вим}]$  близько 20 %, для точних – близько (25–35) % від допуску на виготовлення [17, 19], тоді

$$[\Delta_{вим}] = k \cdot T, \quad (2.2)$$

де  $k = (0,2-0,35)$  – коефіцієнт, що залежить від ступеня точності (розміру допуску) контрольованого параметра;

$T$  – допуск на контрольований параметр.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані допустимі похибки вимірювання для номінальних розмірів 1–500 мм [5]

Квалітет ISO	Клас точності		Похибка вимірювання, відсоток від допуску	Діапазон контрольованих допусків, мкм	Діапазон допустимих похибок, мкм ( $\pm$ )
	для отворів	для валів			
1–5	Допуски кінцевих мір та калібрів		35	0,8–27	0,25–10
6–7	1, 2	2, 2a	30	6–63	2–19
8–9	2a, 3	3	25	14–155	3,5–39
10–16	3a–9	3a–9	20	40–4000	8–800

У результаті значення розмірів, які отримують при вимірюванні з похибкою, що не перевищує допустимої похибки вимірювання, встановленої стандартом, беруть за дійсні.

## 2.2 Класифікація методів вимірювання

Залежно від конкретних умов, використовуваних засобів вимірювання, прийомів їх використання вимірювання можуть проводитися різними способами або методами. З погляду загальних прийомів отримання результатів вимірювання розрізняють вимірювання прямі й непрямі [13].

Під час *прямих* вимірювань шукана величина визначається безпосередньо за показами пристрою (вимірювання мікрометрами, штангенінструментом, вимірювання кутів кутоміром і т. д.).

Під час *непрямих* вимірювань шукана величина визначається за результатами прямих вимірювань однієї або декількох величин, пов'язаних із шуканою певною залежністю (тригонометричні вимірювання кутів за розмірами двох катетів тощо).

Прямі вимірювання простіші, відразу приводять до результату і тому набули широкого застосування в машинобудуванні. Але у деяких випадках їх не можна застосувати, зокрема під час вимірювання штангенциркулем відстані між осями отворів або коли вони поступаються за точністю непрямим вимірюванням, як, наприклад, при вимірюванні кутів кутомірами, похибки яких у десятки разів перевищують похибки синусних лінійок.

Кожне вимірювання може проводитися абсолютним або відносним методом.

Під час *абсолютного* вимірювання весь вимірюваний розмір визначається безпосередньо за показами пристрою.

*Відносний* метод вимірювання безпосередньо дає лише відхилення розміру від установлювальної міри (еталона), за якою пристрій був установлений «на нуль». Цей метод також називають порівняльним. Такий метод вимагає додаткових витрат на налагодження, що знижує продуктивність, особливо під час вимірювання невеликих партій деталей. Але для великих партій цей метод є більш продуктивним завдяки зручності відліку відхилень розмірів та забезпечує більш високу точність вимірювань.

Вимірювання можуть бути пасивними й активними залежно від зв'язку результатів вимірювання з технологічним процесом.

*Активним* називають такий метод вимірювання, результати якого викликають змінення параметрів технологічного процесу та впливають на якість продукції, що випускається.

Наприклад, перевірка розмірів виробу в процесі обробки та керування технологічним процесом (підналагодження устаткування) за результатами контролю. Процес може бути механізований, автоматизований або виконуватися в ручному режимі.

*Пасивне* вимірювання дає можливість говорити лише про те, чи знаходиться у заданих межах або виходить за них фізична якість (розміри) вимірювального об'єкта; впливу на об'єкт цей контроль не чине.

Крім того, методи вимірювання поділяють на комплексні та диференційовані.

*Комплексний* метод полягає у порівнянні дійсного контуру об'єкта, що перевіряється, з його граничними контурами, які визначаються величинами і розміщенням полів допусків окремих елементів цього об'єкта. Комплексний метод забезпечує перевірку накопичених

похибок взаємозв'язаних елементів об'єкта, обмежених сумарним допуском. Цей метод найбільш надійний із точки зору забезпечення взаємозамінності і зазвичай здійснюється прохідними калібрами, сконструйованими за принципом подібності. Наприклад, перевірка різі гайки прохідною нарізною пробкою.

**Диференційований** метод зводиться до незалежної перевірки кожного елемента окремо. Він не може безпосередньо гарантувати взаємозамінності виробів. Наприклад, у вищерозглянутому випадку під час диференційованої перевірки середнього діаметра, кроку і половини кута профілю різі необхідно додатково підрахувати зведений середній діаметр різі, що вміщує відхилення вищеперелічених елементів різі, і переконатися, що він знаходиться у заданих межах.

Тому комплексний метод переважно застосовують під час перевірки виробів, а диференційований – інструментів і при аналізі та виявленні причин розмірного браку виробів.

Кожен із перелічених методів вимірювання може здійснюватися контактним і безконтактним способами.

**Контактний** метод здійснюється шляхом безпосереднього дотику вимірювальних поверхонь пристрою або інструмента до поверхні контролюваного об'єкта.

**Безконтактний** метод характеризується відсутністю вимірювального контакту з об'єктом, що перевіряється (пневматичний, проекційний, індуктивний методи тощо).

До речі, на базі пневматичного та індуктивного методів вимірювання спроектовані прилади для активного контролю в процесі виготовлення деталей на більшості шліфувальних верстатів, що використовуються в умовах великосерійного та масового виробництва.

### 2.3 Засоби вимірювання та їх класифікація

Одним з основних елементів будь-якої конструкції КВП є засіб вимірювання.

*Засобом вимірювання* (ЗВ) називається призначений для вимірювання пристрій, метрологічні характеристики якого регламентовані в нормативно-технічній документації так, що дозволяють отримувати результати вимірювань, які відповідають призначенню цього пристрою.

Вивчивши курс основ конструювання КВП, ми навчимося вибирати засоби вимірювання, знаючи їх метрологічну характеристику.

Для використання засобів вимірювання необов'язково знати його будову й принцип дії. Достатньо знати його метрологічні характеристики, зокрема діапазон вимірювань, ціну поділки, чутливість і т. д.

Вимірювальні засоби, що використовуються в металообробній промисловості, можна поділити на три основних групи: міри, калібри, універсальні інструменти і пристрої.

*Мірами* називають засоби вимірювання, які служать для відтворення одного або декількох відомих значень даної величини. Найбільш поширеними мірами є плоскопаралельні кінцеві міри довжини (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Плоскопаралельні кінцеві міри довжини Gauge Blocks Set M47 (TESA, Швейцарія)

**Калібрами** називають міри, які служать для перевірки правильності розмірів, форми і взаємного розміщення частин виробу. Це найбільш поширені ЗВ.

На рисунку 2.4 наведені гладкі калібри: скоби (а) та пробки (б), а також пробки для контролю різі (в).

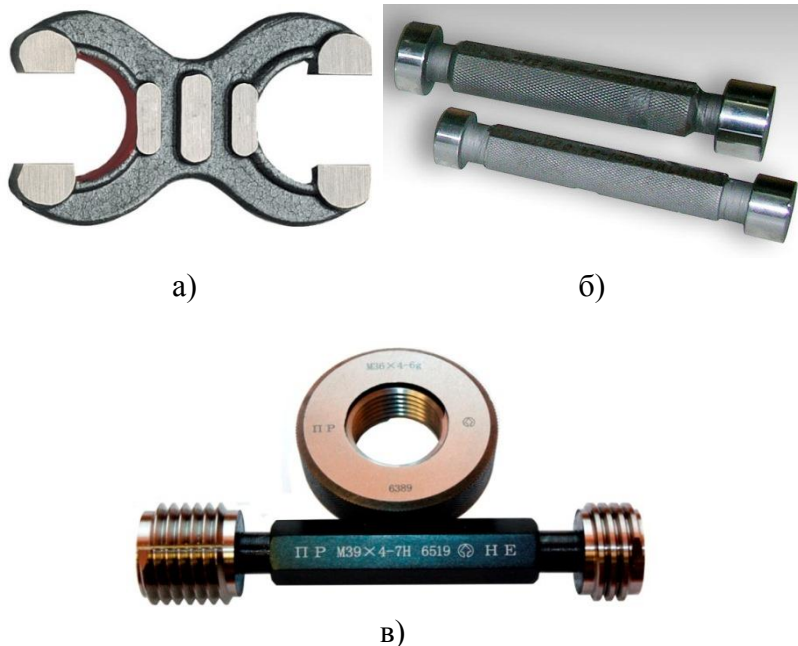


Рисунок 2.4 – Приклади гладких та нарізних калібрів

**Універсальні інструменти та пристрої** служать для визначення значень вимірюваної величини. Їх розрізняють за конструктивними ознаками, цільовим призначенням, ступенем механізації, межами вимірювання, ціною поділки та іншими показниками.

За конструктивними ознаками універсальні інструменти і пристрої поділяють на [5, 12, 14, 16]:



а) штрихові інструменти, забезпечені ноніусом (штангенінструменти та універсальні кутоміри) (рис. 2.5, 2.6);

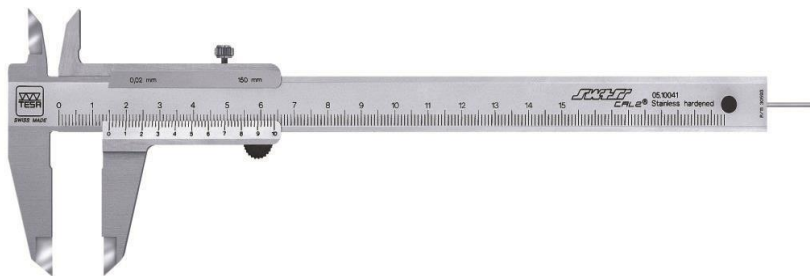
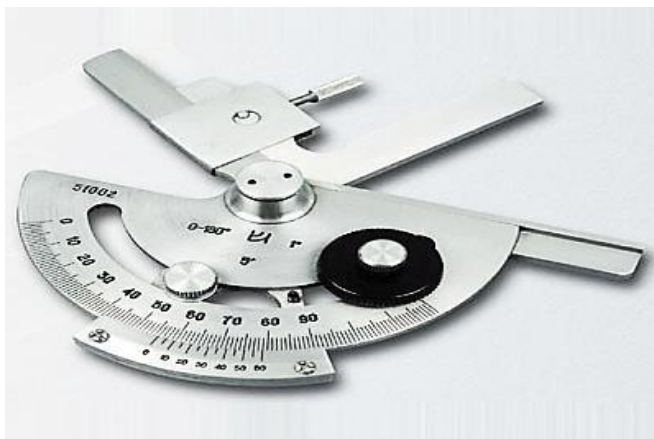


Рисунок 2.5 – Штангенциркуль ноніусний стандартний із глибиноміром (TESA, Швейцарія)



б)

Рисунок 2.6 – Кутомір ноніусний 2УМ (завод КРІН, РФ)

б) мікрометричні інструменти, що базуються на застосуванні мікропар (мікрометри гладкі, мікрометричні нутроміри та глибиноміри тощо); на рис. 2.7 наведені:

а) мікрометр гладкий ISOMASTER; б) мікрометричний нутромір TESA IMICRO; в) глибиномір ISOMASTER AQ (TESA, Швейцарія);

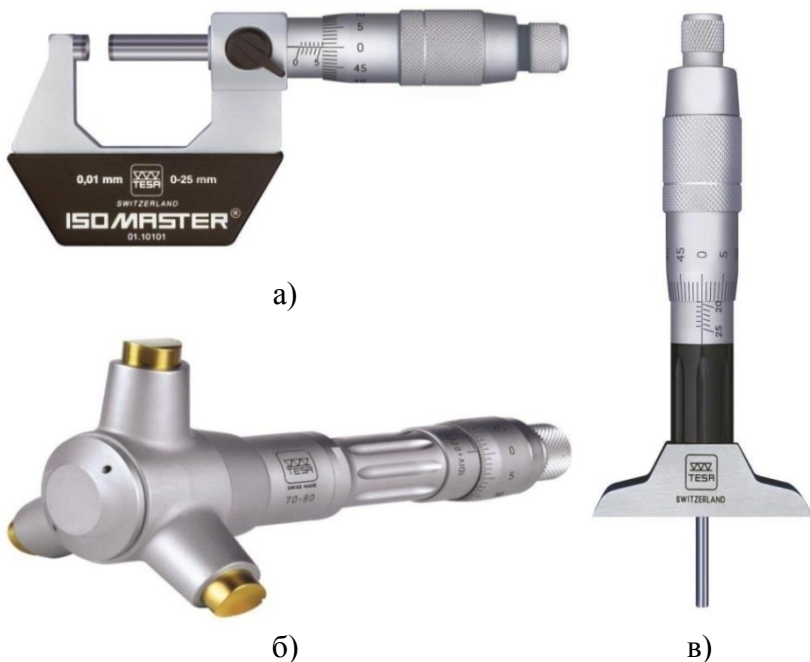


Рисунок 2.7 – Мікрометричні засоби вимірювання

в) важільно-механічні пристрої:

1) власне важільні (мініметри, важільні мікрометри тощо). На рисунку 2.8 подано важільний мікрометр;

2) зубчасті (індикатори годинникового типу, див. рис. 2.9);

3) важільно-зубчасті (мікроміри, важільно-зубчасті індикатори і вимірювальні голівки одно- і багатообертові тощо). На рис. 2.10 зображені: а) важільно-зубчастий індикатор бокової дії TESATAS (TESA, Швейцарія); б) багатообертовий індикатор 2 МІГ;



Рисунок 2.8 – Важільний мікрометр Micromar 40F (Mahr, Німеччина)



Рисунок 2.9 – Індикатор годинникового типу ІЧ-10 (завод КРІН, РФ)



а)



б)

Рисунок 2.10 – Важільно-зубчасті засоби вимірювання

4) пристрої з пружинною передачею (мікратори, мікатори, див. рис. 2.11 а, б);

5) важільно-пружинні (мінікатори, див. рис. 2.11 в);

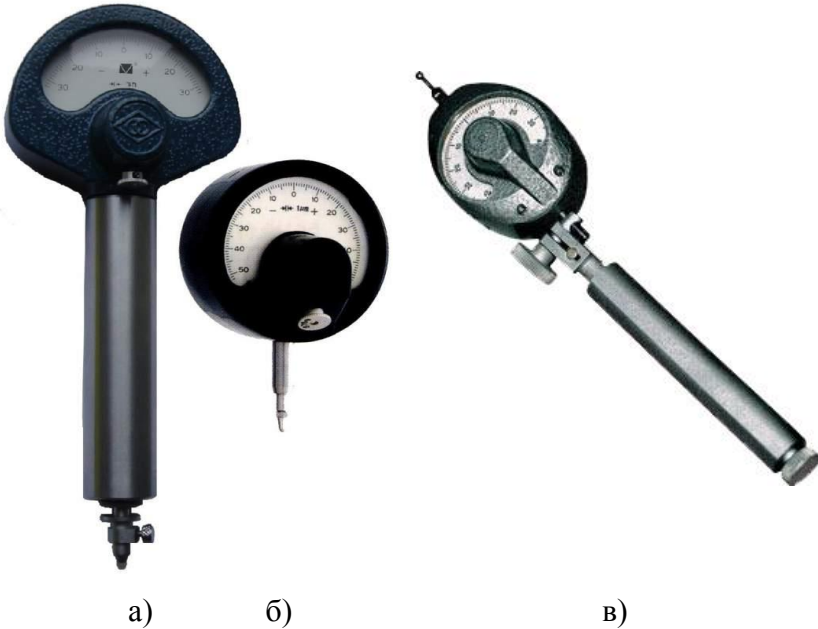


Рисунок 2.11 – Вимірювальні засоби з пружинною (а – мікратор типу ІГП, б – мікатор типу ІПМ) та важільно-пружинною (в – мінікатор типу ІРПВ) передачею

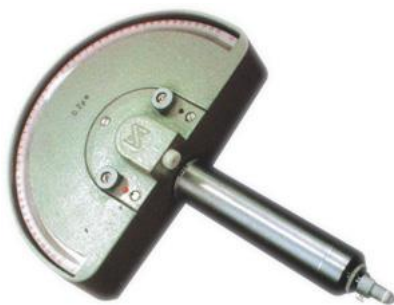
г) важільно-оптичні пристрої (оптиметри, див. рис. 2.12 а);

г) пружинно-оптичні пристрої (оптикатори, див. рис. 2.12 б);

д) оптичні пристрої (довжиноміри, див. рис. 2.13, безконтактні та контактні інтерферометри, див. рис. 2.14, вимірювальні машини, інструментально-вимірювальні мікроскопи, див. рис. 2.15, проектори, див. рис. 2.16) тощо;



а)



б)

Рисунок 2.12: *а* – оптиметр вертикальний типу ОВО-1,  
*б* – оптикатор типу О2П

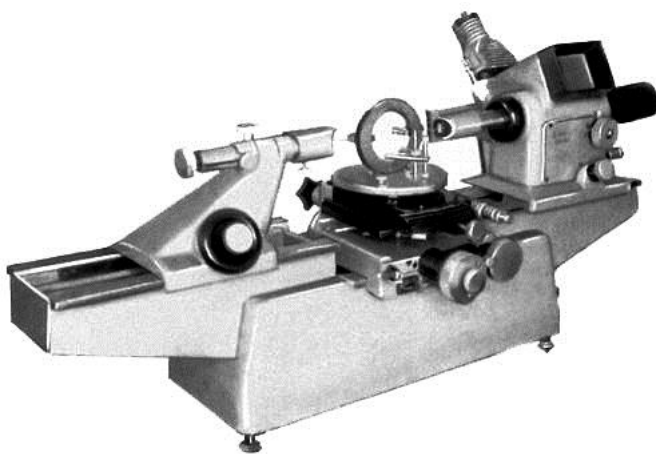


Рисунок 2.13 – Оптичний довжиномір типу ІКУ-2

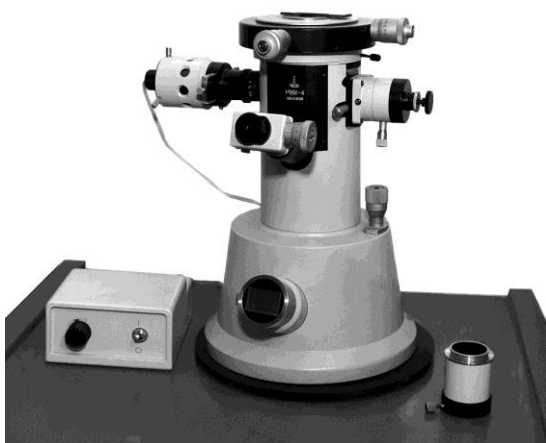


Рисунок 2.14 – Інтерферометр МІ-4



Рисунок 2.15 – Інструментальний мікроскоп ІМЦЛ200×75



Рисунок 2.16 – Цифровий вимірювальний проектор  
JT12A-B (Time Group Inc., Китай)

е) пневматичні пристрої з манометром (змінний перепад тиску) і ротаметром (постійний перепад тиску), див. рис. 2.17;

є) електрифіковані пристрої (індуктивні, ємнісні, фотоелектричні, див. рис. 2.18 тощо).

Подальший розвиток інструментальної промисловості та мікропроцесорної техніки вносить до конструкцій перелічених засобів вимірювання істотні зміни й удосконалення, що підвищують їх якість, точність, продуктивність та зручність у використанні.



а)



б)

Рисунок 2.17: а – манометр типу ТМ, серія 10 (РОСМА, РФ);  
б – ротаметр РАМС-01 (Yokogawa, Японія)



Рисунок 2.18 – Система контролю мір довжини Length Gauges (Heidenhain, Німеччина)



На рис. 2.19–2.27 показані різноманітні сучасні засоби вимірювання зі стрілковими та цифровими шкалами, електронними перетворювачами, комп'ютерами як вітчизняного, так й іноземного виробництва. На рис. 2.28 показаний електронний сканувально-просвічувальний мікроскоп Titan G2 80-200 S/TEM з роздільною здатністю 0,1 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).



Рисунок 2.19 – Цифровий мікрометр Micromaster (TESA, Швейцарія)

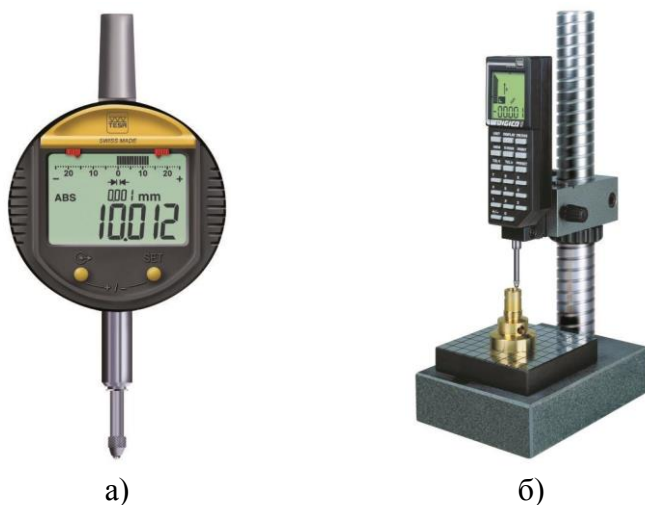
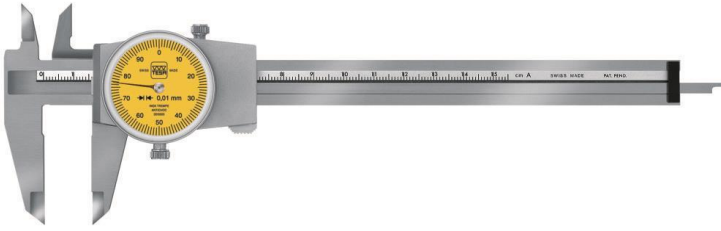


Рисунок 2.20 – Цифрові індикатори серії DIGICO (TESA, Швейцарія)



а)



б)

Рисунок 2.21 – Штангенциркулі: *а* – стрілковий ETALON 125, *б* – цифровий TWIN-CAL IP67 (TESA, Швейцарія)

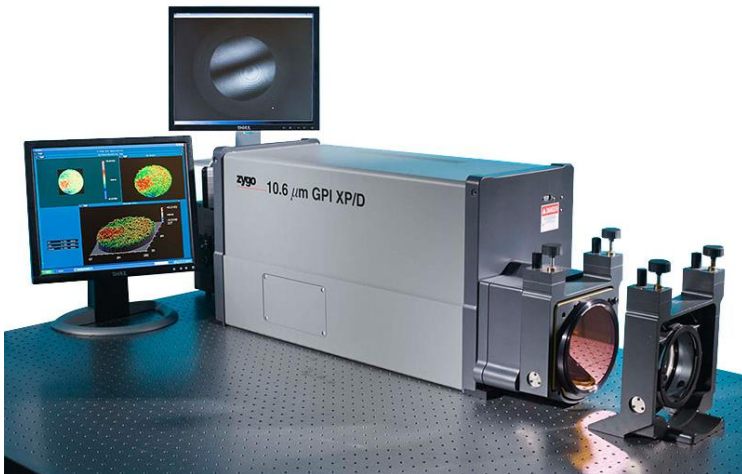


Рисунок 2.22 – Інтерферометр 1060 GPI XP/D (ZYGO, США)



а)



б)

Рисунок 2.23 – Цифрові: а – висотомір micro-hite 600, б – глибиномір Micromaster (TESA, Швейцарія)



Рисунок 2.24 – Вимірювальний мікроскоп ETALON TCM 100 (TESA, Швейцарія)



а)

Рисунок 2.25: а – координатно-вимірювальна машина MICRO-HITE 3D, б – моторизована вимірювальна головка TESASTAR-m (TESA, Швейцарія)



Рисунок 2.26 – Пристрій для вимірювання відхилень круглості Roundtest RA-120P (Mitutoyo, Японія)



Рисунок 2.27 – Пристрій для вимірювання відхилень поверхонь Surftest Extreme SV-3000CNC (Mitutoyo, Японія)

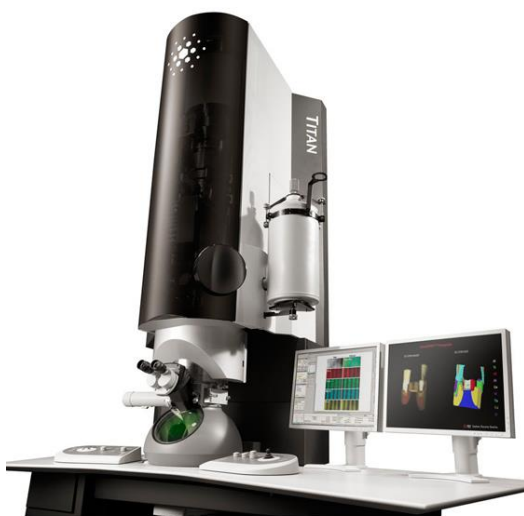


Рисунок 2.28 – Електронний мікроскоп Titan G2 80-200 S/TEM (FEI, США)

За кількістю розмірів, що одночасно перевіряються, вимірювальні пристрої ще розділяють на одновимірні та багатовимірні.

Під час розгляду ЗВ і методів вимірювання найбільш часто говорять про принцип дії або принцип вимірювання (сукупність фізичних явищ, на яких базується дія використовуваних ЗВ). Як бачимо з вищенаведеної класифікації, в існуючих ЗВ використовують різноманітні принципи дії та їх поєднання: механічні, оптичні, електричні тощо.

## 2.4 Загальна структура вимірювальних приладів

Відомо, що 1 мкм практично неможливо побачити неозброєним оком, а пристрій дає таку можливість, оскільки він показує його з великим збільшенням. Тому коли говорять про принцип дії пристрою, то мають на увазі фізичний принцип, що використовується для такого збільшення.

Найпростіший приклад пристрою з використанням звичайного важеля показаний на рис. 2.29.

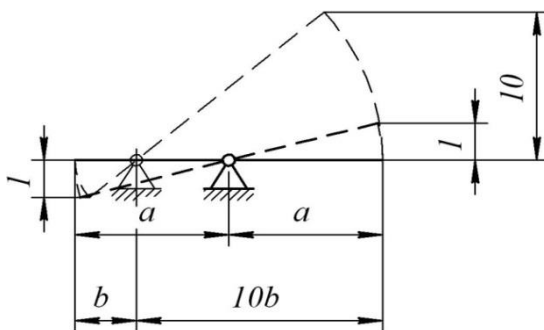


Рисунок 2.29 – Використання важеля для перетворення малих переміщень

Якщо важіль має співвідношення плечей 1:1 – такі переміщення на око непомітні, а якщо 1:10 – уже помітні, тобто важіль перетворив переміщення в інформацію, що доступна для спостереження.

Таким чином, основним вузлом ЗВ є пристрій, що дає можливість перетворити малі переміщення, пов'язані з вимірювальними розмірами, у великі переміщення, які можна побачити, відлічити, тобто подати інформацію у доступному для сприйняття вигляді.

Частина будови пристрою, що безпосередньо взаємодіє з об'єктом вимірювання, називається **чутливим елементом** пристрою (для контактних пристроїв – вимірювальний наконечник).

Функціональний вузол пристрою, призначений для відліку значень вимірюваної величини, називають **відліковим пристроєм** ЗВ.

Найбільш складні прилади та перетворювачі вимірювань параметрів деталей складаються з таких основних частин [16] (див. рис. 2.30): базуючих елементів 1; вимірювального ланцюга, до якого можуть входити чутливий елемент 3, вимірювальний механізм або первинний перетворювач 4, відліковий пристрій 5, проміжний перетворювач 8, пороговий пристрій 9 і реєструвальний пристрій 10; пристроїв для закріплення і переміщення вимірюваної деталі 2 і вузлів приладу; пристроїв для налагодження приладу і його переналагодження; пристроїв налагодження та коригування приладу 11. У механізмі відлікового пристрою містяться шкала 7 і покажчик 6.

В електронних пристроях від одного з перетворювачів вимірювальна інформація надходить у пороговий пристрій 9, що перетворює безперервний сигнал про зміну вимірюваної величини в код або в дискретний сигнал про приналежність деталі, що перевіряють, до однієї з груп (придатні деталі, брак тощо – світлофорні пристрої тощо).

У багатьох вимірювальних приладах частина зазначених структурних елементів відсутня, у деяких можуть бути окремі відхилення тощо.

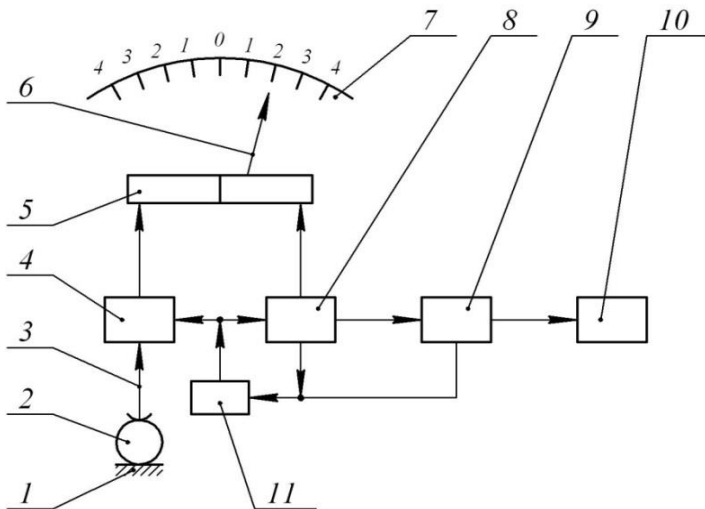


Рисунок 2.30 – Структурна схема контрольно-вимірювального приладу

До сучасних вимірювальних приладів ставляться високі метрологічні й експлуатаційні показники та вимоги. У деяких пристроях основна похибка вимірювання не перевищує 0,05 мкм, а кількість вимірювань на годину становить 20–30 тис.

## 2.5 Основні метрологічні характеристики засобів вимірювання

Для вибору необхідних засобів вимірювання потрібно насамперед знати його точнісні, експлуатаційні,



економічні та надійнісні показники. Таку інформацію ми отримуємо з довідників, навчальної літератури, а також із паспортів та інструкцій ЗВ.

До основних характеристик засобів вимірювання належать такі.

**Відліковий пристрій** – сукупність деталей вимірювального пристрою, що служать для спостереження відтвореного ними значення вимірюваної величини.

**Відмітка шкали** – знак (риска, штрих, точка тощо), що відповідає окремому значенню вимірюваної величини. Якщо відмітка позначена числом, то її називають **числовою відміткою**.

**Поділка шкали «а»** (інтервал поділки шкали ) – відстань між осями двох сусідніх відміток шкали (див. рис. 2.31).

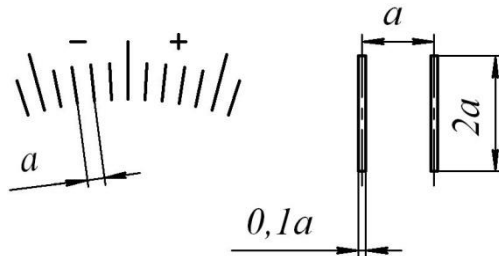


Рисунок 2.31 – Поділки шкали

У приладах припустиме значення поділки шкали  $[a]$  беруть у межах  $(0,9-2,5)$  мм, що визначається розподільною можливістю ока (гострота зору – можливість розрізняти дві точки, розміщені близько одна до одної). Для більшості сучасних засобів вимірювання  $a = 1$  мм.

**Ціна поділки шкали «с»** – змінення вимірюваної величини, що відповідає переміщенню покажчика на одну поділку шкали.

Ціна поділки шкали в раціонально сконструйованому приладі не повинна бути меншою за похибку показань, тобто

$$\frac{A}{n} = c \geq \Delta, \quad (2.3)$$

де  $A$  – межа вимірювань за шкалою;

$n$  – число поділок шкали;

$c$  – ціна поділки шкали;

$\Delta$  – похибка показань пристрою в одиницях вимірюваної величини.

Найбільш доцільним є співвідношення  $\Delta = \frac{c}{4}$  або

$\Delta = \frac{c}{2}$ . В дійсності, якщо розглядати метрологічні

характеристики існуючих вітчизняних та іноземних засобів вимірювання за їх похибками вимірювання (з паспортних даних) [5, 12, 14, 17, 19], то  $\Delta \approx c$ , або навіть  $\Delta > c$ .

Шкала повинна бути такою, щоб можна було швидко, точно і безпомилково проводити відлік. Тому пристрій шкали повинен відповідати десятковій системі числення, а ціна поділки береться кратною 1, 2, 5. У загальному вигляді рекомендують значення ціни поділки визначати за формулою [12]:

$$c = K \cdot 10^z, \quad (2.4)$$

де  $K = 1, 2, 5$ ;

$z$  – будь-яке ціле число.

При  $z = 0$ ,  $c = 1; 2; 5$ . Якщо  $z = -3$ ,  $c = 0,001; 0,002; 0,005$  і так далі.

**Межі вимірювань за шкалою «А»** – значення вимірюваної величини, що відповідає найбільшій ділянці

шкали, усередині якої показання приладу відповідають установленим нормам точності. Вони можуть виражатись однією або двома величинами: 0,2 або  $\pm 0,1$ . У другому випадку розрізняють нижню і верхню межі вимірювань. При виборі засобів вимірювання припустимі межі вимірювань за шкалою дорівнюють:

$$[A] = (2 - 4) \cdot T. \quad (2.5)$$

**Межі вимірювань приладу «Б»** – найбільші й найменші величини, які можуть бути виміряні за допомогою даного приладу. Наприклад, для штангенциркуля ШЦ-I-120-0,1 ГОСТ 166-89: 0 і 125 мм. Допустимі межі вимірювань за шкалою дорівнюють

$$[B] = (4 - 10) \cdot T. \quad (2.6)$$

**Чутливість** – властивість вимірювального приладу, що полягає в його здатності реагувати на змінення вимірюваної величини. Чутливість ще можуть називати **передавальним відношенням  $i$** :

$$i = \frac{a}{c}, \quad (2.7)$$

де  $a$  – інтервал поділки шкали;  
 $c$  – ціна поділки.

Залежно від конструктивних ознак вимірювальних засобів їх чутливість може дуже відрізнятись. Зокрема, для клинових передавальних пристроїв  $i = 1-5$ , для важільних –  $i = 1-10$ , для зубчастих –  $i = 5-100$ , для важільно-зубчастих –  $i = 50-150$ , для пружних –  $i = 1000-10000$ . Застосування комбінацій перелічених конструкцій у передавальних пристроях засобів вимірювання можуть істотно збільшити їх чутливість.

**Поріг чутливості** « $S$ » – змінення вимірюваної величини, яке викликає найменше змінення його показань, що виявляється при нормальному способі відліку для даного приладу.

Дуже важливим є сталість показань приладу, що характеризується **варіацією** « $W$ ». Варіація – це найбільша отримана експериментально різниця між багатократними показаннями вимірювального приладу, що відповідають одному і тому самому дійсному значенню вимірюваної величини за незмінних зовнішніх умов. (Причини виникнення варіації: тертя і «мертвий» хід рухомих частин пристрою, люфти у з'єднаннях тощо).

При відліку показників вимірювальної величини дуже часто виникає похибка паралакса.

**Паралакс** – уявний зсув покажчика відносно штрихів шкали під час спостереження у напрямку, не перпендикулярному до площини шкали (див. рис. 2.30).

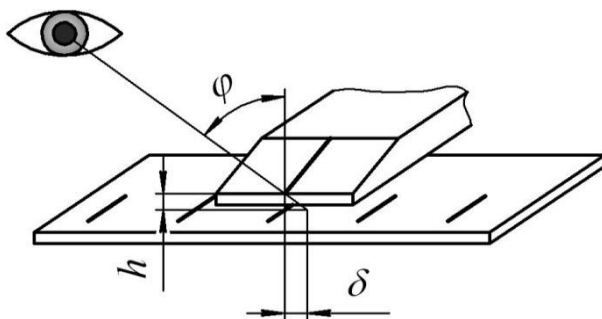


Рисунок 2.30 – Схема виникнення похибки паралакса

Тоді похибка паралакса  $\delta$  дорівнює

$$\delta = h \cdot \operatorname{tg}(\varphi). \quad (2.8)$$

Ця похибка особливо відчутно виявляється у штангенциркулів і часто перевищує величину відліку за ноніусом. Тому величину  $h$  між покажчиком і шкалою приладу потрібно зменшувати.

**Зусилля вимірювання** « $P_{зус}$ » – це зусилля, що сприймає об’єкт вимірювання в зоні контакту з вимірювальним наконечником. При цьому регламентується ще й **коливання вимірювального зусилля** « $\Delta P_{зус}$ » (див. розділ 3).

Необхідно відмітити, що головним метрологічним параметром засобу вимірювання є **похибка вимірювання** засобу вимірювання  $\Delta_{ін}$  (похибка вимірювання інструменту). Ця похибка є частиною загальної (сумарної) похибки контрольно-вимірювального пристрою. Допустима похибка вимірювання інструменту береться у межах

$$[\Delta_{ін}] = (0,6 - 0,8) \cdot [\Delta_{вим}], \quad (2.9)$$

де  $[\Delta_{вим}]$  – сумарна допустима похибка вимірювання, див. формулу (2.2).

Решта (0,2–0,4) похибки – це елементарні похибки вимірювання, що виникають в елементах вимірювальної системи та на їх стиках, зокрема від дії зусилля вимірювання, температурних деформацій, похибок базування та закріплення, похибок еталона тощо.

При виборі засобів вимірювання дуже важливими є його **цінові «Ц»** та експлуатаційні показники. До останніх відносять **надійність і довговічність**.

Надійність – це властивість виробу зберігати свої функції, забезпечуючи експлуатаційні показники у встановлених межах протягом необхідного періоду часу.

Основними показниками надійності є напрацювання засобу вимірювання *на відмову* та *ймовірність безвідмовної роботи «q»*.

Під відмовою будемо розуміти подію, зміст якої полягає в тому, що прилад втрачає задану точність, для відновлення якої необхідно проведення його ремонту або регулювання.

Для сучасних засобів вимірювання напрацювання на відмову при контролі виробів в умовах масового виробництва повинне забезпечуватися в межах 1,5–2 роки випуску продукції. При цьому припустима ймовірність безвідмовної роботи повинна бути в межах

$$[q] = (80 - 90) \% . \quad (2.10)$$

Довговічність – властивість виробу зберігати здатність виконувати свої функції до їх граничного стану.

Довговічність характеризується: *середнім ресурсом роботи «К»* та *середнім терміном служби* засобу вимірювання.

Наприклад, ресурс багатообертового індикатора ІМІГ становить 165 000 умовних вимірювань при  $q = 95 \%$  [5].

У цілому для вибору оптимальних засобів вимірювання за їх метрологічними характеристиками необхідно дотримуватися таких умов:

$$\left. \begin{array}{ll} \Delta_{in} \leq [\Delta_{in}]; & C \leq [C]; \\ a \geq [a]; & A \geq [A]; \\ B \geq [B]; & S \leq [S]; \\ W \leq [W]; & P_{зyc} \leq [P_{зyc}]; \\ \Delta P_{зyc} \leq [\Delta P_{зyc}]; & K \geq [K]; \\ q \geq [q]; & Ц \leq [Ц]. \end{array} \right\} \quad (2.11)$$

Тут у квадратних дужках вказані допустимі значення раніше перелічених метрологічних характеристик засобів вимірювання, які порівнюються з дійсними значеннями цих характеристик із паспортних даних на них.

## **2.6 Економічне обґрунтування доцільності вибору вимірювальних засобів**

Вибір засобів вимірювання, крім необхідної точності вимірювання, повинен забезпечувати зниження собівартості контрольної операції, що, як правило, досягається шляхом вибору з попередньо відібраних 2–3 варіантів вимірювальних засобів найпродуктивнішого і найдешевшого приладу.

Економічна ефективність від упровадження засобів вимірювань може бути одержана за рахунок підвищення продуктивності, точності й надійності засобів вимірювань, економії електроенергії, вивільнення площ. Розрахунок економічної ефективності обчислюється за формулами [19]:

$$E = (Z_1 + E_n K_1) N_1 - (Z_2 + E_n K_2) N_2, \quad (2.12)$$

де  $Z_1, Z_2$  – поточні витрати, що пов'язані з використанням засобів вимірювань до і після впровадження у виробництво;

$E_n$  – галузевий нормативний коефіцієнт ( $E_n = 0,15–0,2$ );

$K_1, K_2$  – вартість засобів вимірювань до і після впровадження у виробництво;

$N_1, N_2$  – кількість вимірювальних засобів, що необхідні для вимірювань до і після впровадження засобу вимірювання.

Економічний ефект від підвищення продуктивності праці контролерів пов'язаний зі зменшенням їх кількості, скороченням кількості засобів вимірювання, а отже, зі зменшенням площ і споживання електроенергії.

Поточні витрати, пов'язані з оплатою праці контролерів,

$$Z_k = \frac{C_k \cdot \Phi}{H}, \quad (2.13)$$

де  $C_k$  – тарифна ставка контролера;

$\Phi$  – річний фонд часу;

$H$  – норма обслуговування вимірювальних засобів.

Кількість вимірювальних засобів дорівнює

$$N = \frac{B}{C_m \cdot \Pi}, \quad (2.14)$$

де  $B$  – кількість вимірювань, передбачених програмою за одиницю часу;

$\Pi$  – продуктивність засобів вимірювань за ту саму одиницю часу;

$C_m$  – змінність роботи засобів вимірювань.

Економічний ефект від підвищення надійності засобів вимірювань пов'язаний зі скороченням або кількості приладів, що забезпечують виробничу програму, або ремонтних робіт.

Економічний ефект від зменшення вартості ремонту

$$E_p = \frac{t_p \cdot C_p}{t_n}, \quad (2.15)$$

де  $t_p$  – кількість вимірювань, виконаних приладом за рік;



$C_p$  – вартість одного ремонту;

$t_n$  – гарантійне напрацювання до першої відмови.

Підвищення точності вимірювань дозволяє одержати економічний ефект: від підвищення точності технологічного процесу, що приводить до економії сировини і додаткового випуску продукції; збільшення допуску на виготовлення, що здешевлює технологічний процес; підвищення експлуатаційних властивостей виробів за рахунок точнішого розбракування деталей; зменшення відсотка неправильно забракованих і неправильно прийнятих деталей, що еквівалентно додатковому випуску продукції.

Економічний ефект від скорочення відсотка неправильно забракованих деталей  $n$  (див. розділ 3.9):

$$E_n = 0,01 \cdot B_d \cdot C_d \cdot (n_2 - n_1), \quad (2.16)$$

і скорочення відсотка неправильно прийнятих деталей  $m$  (див. розділ 3.9):

$$E_m = 0,01 \cdot B_e \cdot C_e \cdot (m_2 - m_1), \quad (2.17)$$

де  $B_d$ ,  $B_e$  – відповідно кількість проконтрольованих деталей і виготовлених вузлів за даний проміжок часу;

$C_d$ ,  $C_e$  – відповідно вартість однієї деталі та вузла, куди входять деталі (у тому разі, якщо вузол, куди входить деталь, розбірний, під  $C_e$  розуміють вартість розбирання і повторного складання вузла).

### 3 Обґрунтування точності КВП

#### 3.1 Сумарна похибка вимірювання

Точність КВП значною мірою залежить від обраного методу вимірювань, від ступеня досконалості конструкції КВП і точності виготовлення його елементів тощо. З поняттям точності КВП ми нерозривно пов'язуємо поняття про похибку вимірювання на даному КВП. Як було зазначено раніше, похибка вимірювання КВП у загальному вигляді – це різниця між номінальним значенням еталона і дійсними значеннями вимірюваного параметра.

Тоді умовою правомірності КВП за точністю, тобто умовою, при якій КВП має право на життя та використовуватися у діючому виробництві, є

$$\Delta_{вим} \leq [\Delta_{вим}]. \quad (3.1)$$

Таким чином, фактична загальна (сумарна) похибка КВП  $\Delta_{вим}$  не повинна перевищувати допустиму похибку вимірювання. Остання пов'язана з допуском контрольованого параметра і визначається ступенем його точності за формулою (2.2). Для більш точних квалітетів *IT* (2–5) маємо  $k = 0,35$ , для *IT* (6–7) –  $k = 0,3$ , для *IT* (8–9) –  $k = 0,25$ , для *IT* (10–14) –  $k = 0,2$  [17, 18, 19]. Як бачимо, допустима похибка вимірювань коливається у межах 20–35 % допуску контрольованого параметра.

Загальна (сумарна) похибка КВП  $\Delta_{вим}$  виникає в елементах КВП (вимірювальної системи) і на стиках цих елементів і, отже, складається з елементарних похибок у цих елементах.

Залежно від причин елементарні помилки поділяють на такі групи.

**Інструментальні похибки** (похибки власне вимірювального приладу), причиною яких є похибки виготовлення та юстування приладу, а також недосконалість його принципової схеми (помилки у схемі механізму).

**Похибки схеми вимірювання** є наслідком вибраної для вимірювання схеми базування та умов проведення вимірювань, що не виключають впливу відомих джерел похибок (наприклад, під час вимірювання діаметра циліндричної поверхні за двома взаємно перпендикулярними напрямками, замість безперервного вимірювання при повороті деталі на 180°, помилка може досягати половини овальності поверхні).

**Зовнішні похибки** виникають від впливу зовнішнього середовища, наприклад, від зміни температури, вібрацій тощо.

**Похибки об'єкта** визначаються технічною характеристикою об'єкта вимірювання – відхиленнями форми, шорсткістю поверхні, зміненням розмірів унаслідок старіння тощо.

**Особисті (суб'єктивні) похибки** викликаються обмеженими можливостями зору контролера тощо.

Таким чином, **сумарна (загальна) похибка вимірювання** – це інтегрована величина, що утворюється декількома складовими або частинними похибками (помилками), які утворюються в елементах вимірювальної системи та на її стиках:

$$\Delta_{\text{вим}} = \sqrt{\Delta_{\text{ін}}^2 + \varepsilon^2 + \Delta_{\text{с}}^2 + \Delta_{\text{е}}^2 + \Delta_{\text{зyc}}^2 + \Delta_{\text{м}}^2}, \quad (3.2)$$

де  $\Delta_{\text{ін}}$  – похибка безпосередньо приладу (інструмента, засобу вимірювання);

$\varepsilon$  – похибка установки;

$\Delta_g$  – похибка передавальних пристроїв;  
 $\Delta_e$  – похибка міри або еталона (виготовлення);  
 $\Delta_{зус}$  – похибка, викликана зусиллям вимірювання;  
 $\Delta_m$  – похибка, викликана температурними деформаціями.

Розглянемо перелічені похибки більш детально.

### 3.2 Похибки засобів вимірювання

Під час вивчення точності механізмів приладів розглядають п'ять основних причин, що викликають похибки приладу:

- а) похибки приладу, викликані немінучими технологічними похибками виготовлення і монтажу;
- б) силові похибки;
- в) температурні похибки;
- г) похибки пристрою, пов'язані з його конструктивною схемою;
- г) похибки, викликані зношенням деталей.

Крім того, до похибок повинні бути додані ще похибки відліку за шкалою.

З вищезазначених причин бачимо, яким чином переплітаються всі похибки одна з одною і як важко їх відокремити у чистому вигляді.

У цілому похибки засобів вимірювання можна визначити з їх паспортних даних, а також із підручників та іншої довідкової літератури [16, 17, 19].

Силові й температурні похибки, методику їх визначення ми розглянемо нижче у відповідних розділах для визначення похибок КВП у цілому. Зараз же ми докладніше зупинимося на похибках відліку за шкалою та похибках унаслідок порушення принципу Аббе,

спричинених недосконалістю конструктивної схеми засобу вимірювання.

Точність відліку залежить від інтервалу поділки шкали, ширини та довжини її штрихів, конструкції відлікового пристрою й окремо шкали та покажчика, їх взаємного розміщення, часу заспокоєння стрілки (шкали) та освітленості шкали. В оптико-механічних приладів, крім того, на точність відліку впливає похибка наведення або похибка візування, і, звичайно, точність відліку залежить також від кваліфікації контролера.

Інтервал поділки шкали  $a$  необхідно підбирати так, щоб можна було проводити відлік «на око» десятих часток інтервалу. Вирішальне значення при цьому має гострота зору. На практиці величину  $a$  беруть у межах 1–2,5 мм.

Ширину та довжину штрихів шкали вибирають залежно від інтервалу ділення  $a$ . Найкращою шириною є  $b = 0,1 a$ , а довжиною  $l = 2 a$ . При  $b = 0,2 a$  похибка відліку зростає у 2,5 рази, а при  $b = 0,3 a$  – у 5 разів.

Приклади оформлення шкали відліку для різних засобів вимірювання наведені на рис. 3.1 [12].

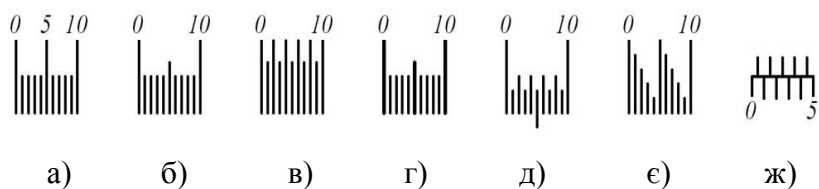


Рисунок 3.1 – Приклади оформлення шкали відліку

Взаємне розміщення штрихів шкали і покажчика показані на рис. 3.2.

Істотне значення має похибка паралакса. Необхідно зменшувати відстань між площинами шкали та покажчика.

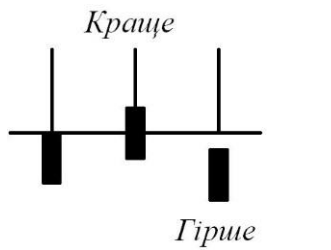


Рисунок 3.2 – Взаємне розміщення штрихів шкали та покажчика

Для заспокоєння стрілки, внаслідок наявності інерційних сил, що діють на рухому систему, вводять рідинні, повітряні або електромагнітні демпфери.

З точки зору освітлення найбільш сприятливими умовами спостереження є чорні штрихи на білому фоні. Гострота зору на сірому фоні становить лише 70 % від гостроти зору на білому фоні. При цьому освітленість шкали повинна бути у межах 100–250 лк.

Тепер розглянемо похибку, яку спричинює порушення принципу Аббе (див. рис. 3.3).

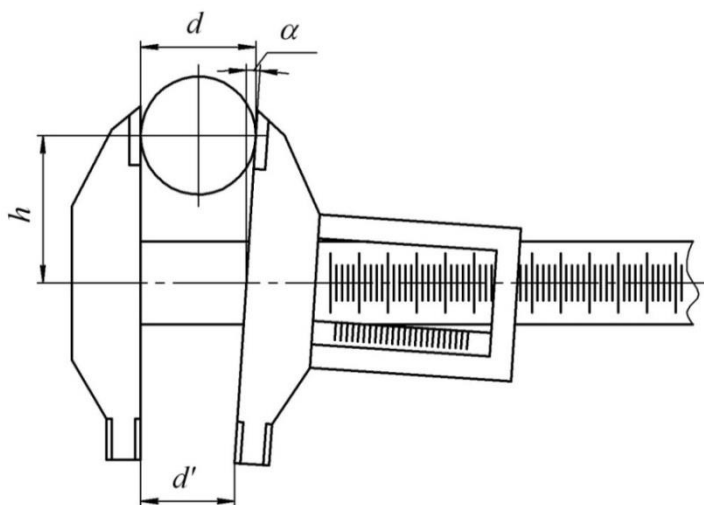


Рисунок 3.3 – Порушення принципу Аббе

У такому разі похибка, що виникає через порушення принципу Аббе, становить [12, 13]:

$$\Delta = h \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \approx h \cdot \alpha, \quad (3.3)$$

Тому при конструюванні ЗВ шкали потрібно розміщувати послідовно на одній прямій з об'єктом вимірювання. Наприклад, як у штангенглибиноміра. Тоді при  $h = 0 \rightarrow \Delta = 0$ .

### 3.3 Похибка установлення

Під похибкою установлення потрібно розуміти найбільшу можливу різницю положень базової поверхні внаслідок похибок базової поверхні та установлювальних елементів.

Похибка установлення – це комплексна величина

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_b^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (3.4)$$

де  $\varepsilon_b$  – похибка базування;

$\varepsilon_z$  – похибка закріплення;

$\varepsilon_{np}$  – похибка пристрою.

**Похибка базування** визначається за графічною моделлю схеми базування, яка слугує для знаходження у довідковій літературі формули для її розрахунку [2, 18].

Як відомо, похибка базування є наслідком незбігу вимірювальної і встановлювальної баз.

Розглянемо характерні приклади похибок базування контрольованих деталей.

**Базування деталі на циліндричній оправці з рівномірним зазором** (див. рис. 3.4).

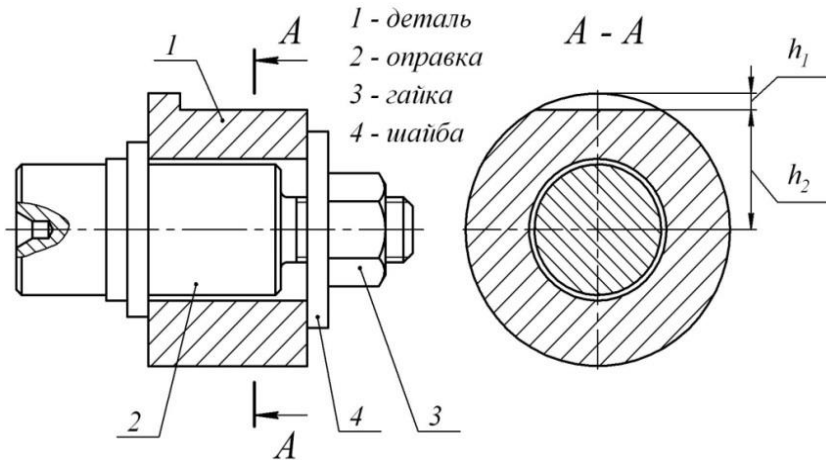


Рисунок 3.4 – Базування деталі на циліндричній оправці з рівномірним зазором

Визначимо похибки базування на розміри  $h_1$  і  $h_2$  [18]:

$$\varepsilon_{\delta h_1} = \frac{T}{2} + 2e + T_1 + T_2 + 2S, \quad (3.5)$$

де  $T$  – допуск на розмір зовнішньої поверхні деталі;

$e$  – ексцентриситет зовнішньої і внутрішньої поверхонь контрольованої деталі;

$T_1$  – допуск на виготовлення базового отвору;

$T_2$  – допуск на виготовлення посадкової поверхні оправки;

$S$  – мінімальний радіальний зазор.

$$\varepsilon_{\delta h_2} = 2e + T_1 + T_2 + 2S. \quad (3.6)$$



При базуванні деталі на циліндричній оправці з односторонньою вибіркою зазору похибки базування зменшуються на подвійну величину мінімального радіального зазору  $2S$ .

Якщо ж базовий торець деталі не є перпендикулярним до осі центрального отвору (див. рис. 3.5), то похибку базування на розмір  $h_1$  можна розрахувати за формулою

$$\varepsilon_{oh_1} = \frac{T}{2} + 2e + T_1 + T_2 + 2S - 2 \cdot l \cdot \operatorname{tg}(\alpha). \quad (3.7)$$

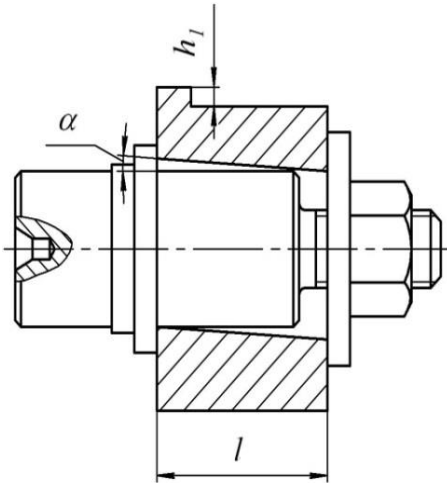


Рисунок 3.5 –  
Базування на  
циліндричній оправці  
деталі з торцем, не  
перпендикулярним до  
осі центрального  
отвору

При контролі відстаней між двома отворами, відхилення від паралельності осей тощо в корпусних деталях можна використовувати установку деталі на циліндричній оправці за двома отворами (див. рис. 3.6) [2].

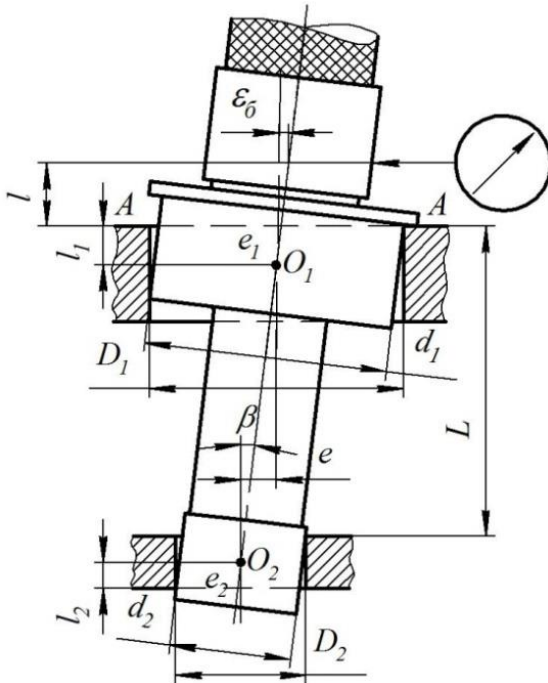


Рисунок 3.6 –  
Схема  
установки  
деталі на  
циліндричній  
оправці по двох  
отворах

При такому базуванні через зазори між отворами деталі і поверхнями оправки в останній виникає нахил на кут  $\beta$ :

$$\operatorname{tg}(\beta) = \frac{e + e_1 + e_2}{L}, \quad (3.8)$$

де  $e$  – відхилення від співвісності отворів контрольованої деталі;

$e_1 = \frac{D_1 - d_1}{2}$  – ексцентриситет між осями першого

отвору і поверхні оправки;

$D_1$  – найбільший діаметр першого отвору деталі;

$d_1$  – найменший діаметр першої посадкової поверхні оправки;

$e_2 = \frac{D_2 - d_2}{2}$  – ексцентриситет між осями другого

отвору і поверхні оправки;

$D_2$  – найбільший діаметр другого отвору деталі;

$d_2$  – найменший діаметр другої посадкової поверхні оправки;

$L$  – відстань між двома торцями отворів.

У такому разі похибка базування при вимірюванні на відстані  $l$  від торця контрольованої деталі становитиме

$$\varepsilon_o = l \cdot \operatorname{tg}(\beta) + e_1. \quad (3.9)$$

Тепер розрахуємо похибки, що виникають у результаті **відхилення напрямку лінії вимірювального розміру та напрямку вимірювання**. Розглянемо два основні випадки.

**Плоска поверхня деталі** (див. рис. 3.7).

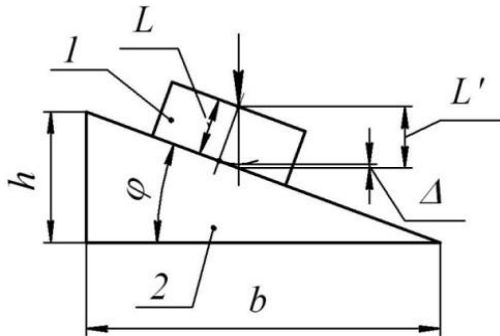


Рисунок 3.7 – Базування по плоскій поверхні деталі

На рис. 3.7 наведені: 1 – деталь; 2 – базова поверхня із відхиленням від паралельності на кут  $\varphi$ . Із рис. 3.7

бачимо, що замість вимірювання розміру  $L$  відбувається вимірювання розміру  $L'$ . При цьому виникає похибка вимірювання  $\Delta = (L - L')$ , яку можна розрахувати за формулою

$$\Delta = \frac{L \cdot \varphi^2}{2} = \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad (3.10)$$

або за більш точним виразом

$$\Delta = L \cdot \left(\frac{1 - \cos(\varphi)}{\cos(\varphi)}\right). \quad (3.11)$$

Наприклад, за умови  $h/b = 0,45/100$  та  $L = 100$  мм маємо  $\Delta = 1$  мкм.

**Циліндрична поверхня деталі** (див. рис. 3.8).

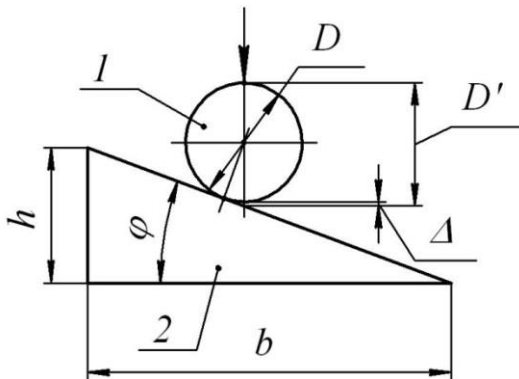


Рисунок 3.8 – Базування по циліндричній поверхні деталі

Похибку вимірювання  $\Delta = (D' - D)$  за умов базування деталі за схемою, наведеною на рис. 3.8, можна розрахувати за формулою

$$\Delta = \frac{1}{4} \cdot D \cdot \varphi^2 = \frac{D}{4} \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^2, \quad (3.12)$$

або за більш точним виразом

$$\Delta = \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{1 - \cos(\varphi)}{\cos(\varphi)}\right). \quad (3.13)$$

Наприклад, за умови  $D = 10$  мм,  $\varphi = 1^\circ 9'$  маємо  $\Delta = 1$  мкм.

### ***Базування деталей по циліндричній поверхні***

Найбільш поширеним методом базування деталей по зовнішніх циліндричних поверхнях є установка деталі на призму (див. рис. 3.9).

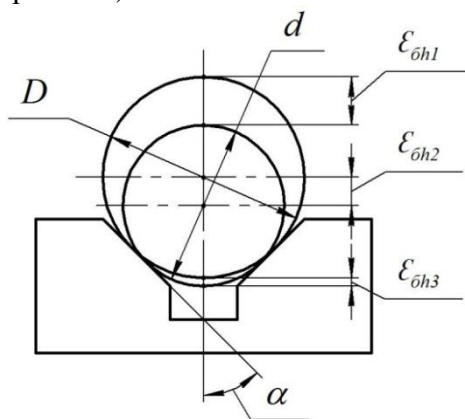


Рисунок 3.9 – Базування деталі по циліндричній поверхні на призмі

Похибку базування  $\varepsilon_{\delta}$  деталі за схемою, наведеною на рис. 3.9, можна розрахувати за формулами:

$$\varepsilon_{\delta h1} = \frac{T_D}{2} \left( \frac{1}{\sin(\alpha)} + 1 \right), \quad (3.14)$$

$$\varepsilon_{\delta h2} = \frac{T_D}{2 \sin(\alpha)}, \quad (3.15)$$

$$\varepsilon_{\delta h3} = \frac{T_D}{2} \left( \frac{1}{\sin(\alpha)} - 1 \right), \quad (3.16)$$

де  $T_D$  – допуск на виготовлення базової (зовнішньої) циліндричної поверхні деталі.

У зв'язку з наявністю зазначених похибок при базуванні деталі за схемою на рис. 3.9 доцільним є використання схеми, показаної на рис. 3.10. У цьому випадку похибка базування на розмір  $A$  відсутня.

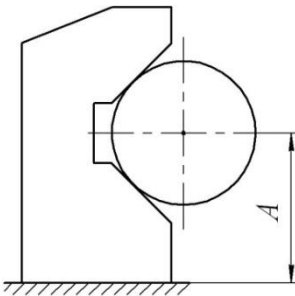
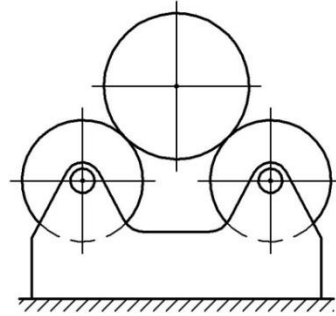


Рисунок 3.10 – Альтернативна схема базування деталі за циліндричною поверхнею

Для полегшення обертання деталі, особливо важкої, замість жорсткої призми можуть бути застосовані два обертальні ролики (див. рис. 3.11).

Рисунок 3.11 – Схема базування деталі на обертальних роликах



Ролики повинні бути виготовлені із високою точністю, оскільки некруглість зовнішньої і внутрішньої поверхонь та їх взаємне биття додатково входять до складу похибки базування. Підвищити точність базування можна шляхом використання роликів збільшеного зовнішнього діаметра, що перевищує діаметр контрольованої деталі у декілька разів.

Для того щоб при великих розмірах роликів зберегти найбільш вигідний кут  $\beta$  торкання із поверхнею деталі, ролики доцільно зміщувати із перекриттям (див. рис. 3.12).

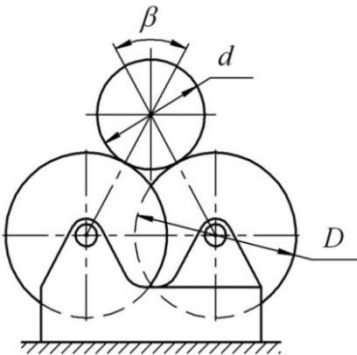


Рисунок 3.12 – Базування деталі по циліндричній поверхні на роликах, розміщених із перекриттям

Підвищення точності і легкості обертання досягається зменшенням відношення  $k = d / D$ . За один повний оберт деталі ролик зробить тільки  $k$  обертів, тому похибка, що

вноситься до вимірювання биттям ролика, увійде тільки частково на тій дузі, що стикалася із поверхнею деталі [3]:

$$\Delta = \frac{A \cdot d}{2 \cdot D \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}. \quad (3.17)$$

де  $A$  – найбільша величина биття роликів.

Крім вищерозглянутих схем базування, значного поширення набуло базування по площині і двох пальцях, див. рис. 3.13.

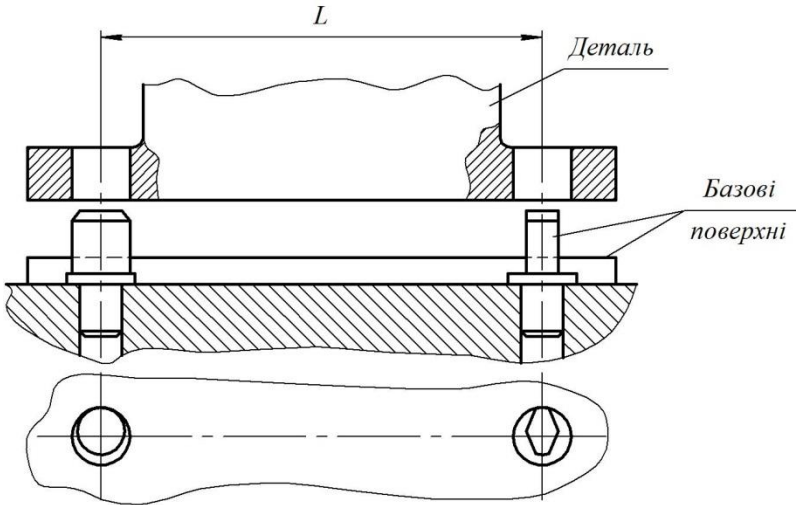


Рисунок 3.13 – Схема установки деталі по площині і двох пальцях

Похибка базування при установці заготовки по площині і двох отворах на двох установлювальних пальцях (циліндричному – круглому і ромбічному – «зрізаному») виникає через зазори у з'єднаннях пальців і отворів і



дорівнює кутовому зсуву (перекосу)  $\alpha$  заготовки (рис. 3.14).

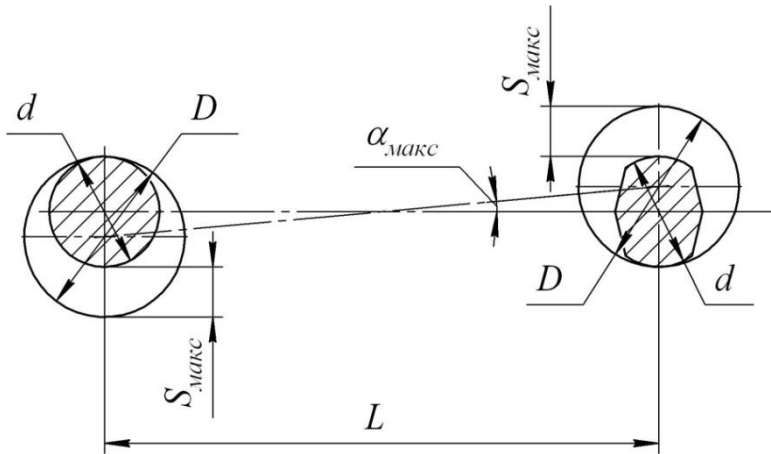


Рисунок 3.14 – Схема для розрахунку кута перекосу при базуванні по двох пальцях

Найбільший можливий кут перекосу при однакових розмірах і посадках пальців в отворах можна розрахувати за формулою

$$\operatorname{tg}(\alpha_{\max}) = \frac{S_{\max}}{L}, \quad (3.18)$$

де  $S_{\max}$  – максимальний зазор між отвором і встановлювальним пальцем пристрою;

$L$  – відстань між осями отворів.

Тоді похибка базування становитиме [2]

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{T_{\text{отв}} + T_{\text{пал}} + 2S_{\min}}{L}, \quad (3.19)$$

де  $T_{отв}$  – допуск отвору контрольованої деталі;  
 $T_{пал}$  – допуск пальця встановлювального пристрою;  
 $S_{min}$  – мінімальний зазор посадки контрольованої деталі на палець.

При однобічному зміщенні деталі в зазорах отворів і пальців похибка базування становитиме [2]

$$\varepsilon_{\delta} = S_{макс} = T_{отв} + T_{пал} + S_{min}. \quad (3.20)$$

Враховуючи дуже значні похибки базування при установці контрольованих деталей на жорсткі оправки (пальці), при конструюванні КВП бажано використовувати розтискні оправки, див. рис. 3.15.

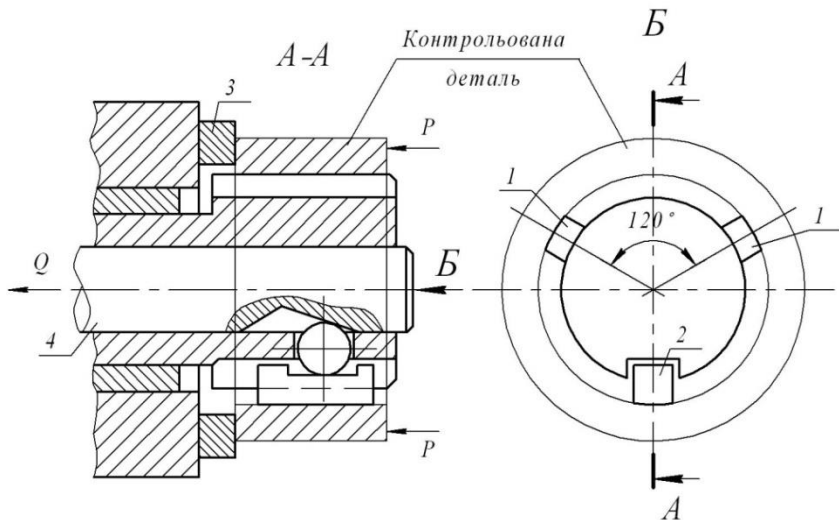


Рисунок 3.15 – Схема установлення контрольованої деталі на розтискну оправку з двома нерухомими та одним рухомим кулачками

Наведена на рис. 3.15 оправка із двома нерухомими кулачками 1 та одним рухомим кулачком 2, розміщеними під кутом  $120^\circ$ , дозволяє, крім базування контрольованої деталі, що установлюється щодо отвору з упором у торець кільця 3, ще й закріплювати її. Для цього шток 4 зміщується вліво і через кульку передає радіальний розтиск рухомому кулачку 2.

І все ж під час використання таких оправок виникає похибка базування, див. рис. 3.16, що пов'язана з перекосом рухомого кулачка 2 [2].

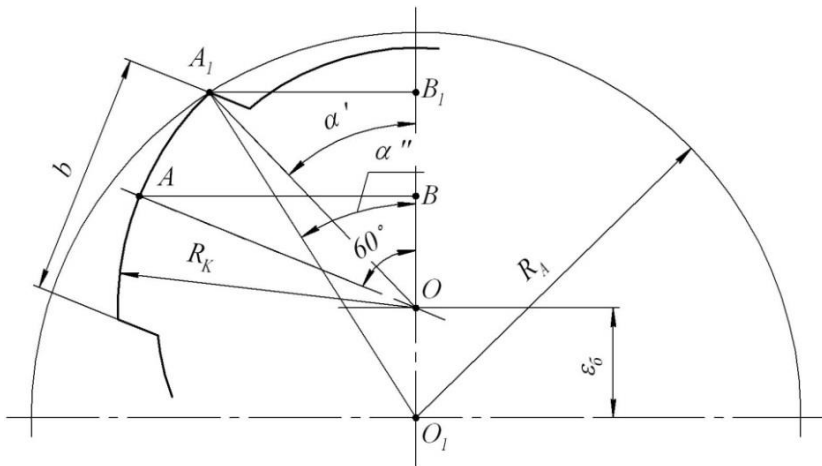


Рисунок 3.16 – Схема для розрахунку похибки базування

У такому разі центр отвору контрольованої деталі  $O_1$  зміщується стосовно центра кулачків оправки  $O$  на величину похибки базування  $\varepsilon_0$ .

У результаті

$$\varepsilon_0 = O_1B_1 - OB_1$$

Тут

$$O_1B_1 = A_1B_1 / \operatorname{tg}(\alpha''),$$

$$OB_1 = A_1B_1 / \operatorname{tg}(\alpha').$$

Тоді отримаємо похибку базування

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{OB_1 [\operatorname{tg}(\alpha') - \operatorname{tg}(\alpha'')]}{\operatorname{tg}(\alpha'')} = \frac{A_1B_1 [\operatorname{tg}(\alpha') - \operatorname{tg}(\alpha'')]}{\operatorname{tg}(\alpha') \cdot \operatorname{tg}(\alpha'')}.$$

Але для практичного використання краще похибку базування визначати через значення [2]

$$\Delta R = R_A - R_K,$$

$$\Delta R = R_A - R_K = \frac{A_1B_1}{\sin(\alpha'')} - \frac{A_1B_1}{\sin(\alpha')} = A_1B_1 \left[ \frac{\sin(\alpha') - \sin(\alpha'')}{\sin(\alpha') \cdot \sin(\alpha'')} \right],$$

тоді отримаємо

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{\Delta R [\operatorname{tg}(\alpha') - \operatorname{tg}(\alpha'')] \cdot \cos(\alpha') \cdot \cos(\alpha'')}{\sin(\alpha') - \sin(\alpha'')} . \quad (3.21)$$

Очевидно, що при контролі точних деталей треба використовувати розжимні оправки з усіма рухомими кулачками, що дозволяє більш точно центрувати осі оправки і отвору деталі, а отже, знехтувати похибкою базування в радіальному напрямку.

Детальніше розглянути різноманітні схеми базування деталей та формули для розрахунку похибок базування можна у довідковій літературі [18].

Під час розроблення схеми базування увагу потрібно звертати на необхідність відповідності точності і ступеня шорсткості базових поверхонь деталі точності і шорсткості вимірюваної поверхні.

Бажано, щоб при вимірюванні розміру деталі за базову була вибрана та поверхня, щодо якої розмір зазначений на кресленні або, якщо це неможливо, технологічна база обробки деталі за цим розміром.

Як бачимо, завдання вибору схеми установки (базування) деталі майже завжди є багатоваріантним завданням. Порівнюючи різні варіанти за точністю і стабільністю положення, а усе це повинно супроводжуватися розрахунками на точність за спрощеними схемами, необхідно вибирати оптимальне рішення.

**Похибка закріплення** залежить від цілого ряду взаємозв'язаних чинників. Зокрема, від висоти мікронерівностей базових поверхонь заготовки і КВП, властивостей базових поверхонь, від несталості зусиль закріплення, характеру установлювальних поверхонь тощо.

Похибки закріплення, як правило, визначаються табличним методом (див. табл. 3.1) залежно від таких основних факторів [2, 18]:

а) характеристики базової поверхні (залежно від способу виготовлення вихідної заготовки – лиття у землю, штампування тощо, етапу попередньої обробки поверхні – не оброблені або чисто оброблені тощо);

б) поперечних розмірів заготовок (у таблицях довідкової літератури, як правило, наведені дані у межах від 6 до 500 мм);

в) напрямку установки і вимірювань (у радіальному або осьовому напрямку);

г) засобів затиску заготовок, що використовуються (установка на розтискній оправці, у трикулачковому патроні, на опорні штифти із гвинтовими або ексцентриковими затисками, на опорні пластинки пристроїв тощо).

Таблиця 3.1 – Похибка закріплення, мкм [2]

Вид опори	Тип затискного пристрою	Стан базової поверхні	Поперечні розміри заготовки, мм					
			6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Установка на сферичні опори	ручний (гвинтовий або ексцентриковий)	попередньо оброблена	17	20	22	24	27	30
		чисто оброблена	10	14	17	20	22	25
		шліфувана	6	9	11	14	17	20
	механізований (пневматичний)	попередньо оброблена	12	14	16	18	20	22
		чисто оброблена	8	10	12	15	18	20
Установка на гладкі опори або пластини	ручний затискний пристрій	попередньо оброблена	10	11	14	16	18	20
		чисто оброблена	7	8	11	12	15	18
		шліфувана	4	6	8	10	12	15
	механізований затискний пристрій	попередньо оброблена	9	10	12	15	16	17
		чисто оброблена	5	6	8	9	10	12
		шліфувана	3	4	5	7	8	10

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Установка у трикулачковому патроні	попередньо оброблена	11	14	16	18	20	22	
	чисто оброблена	5	7	8	9	10	11	
Установка на цангу	попередньо оброблена	9	10	13	15	18	-	
	чисто оброблена	4	5	7	8	9	-	
Установка у пневматичному патроні	попередньо оброблена	8	10	13	16	18	20	
	чисто оброблена	4	5	7	8	10	12	
Установка на гідропластову розтискну оправку	чисто оброблена	5–10						
Установка у мембранному патроні	чисто оброблена	3–5						
Установка на оправку з гофрованими втулками	чисто оброблена	1–2						

**Похибка виготовлення і зношення пристрою** також є комплексною і складається з двох складових:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_{np1}^2 + \varepsilon_{np2}^2}, \quad (3.22)$$

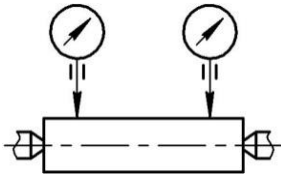
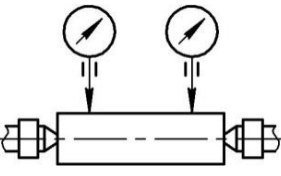
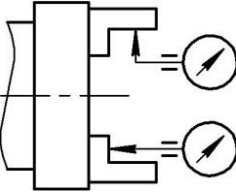
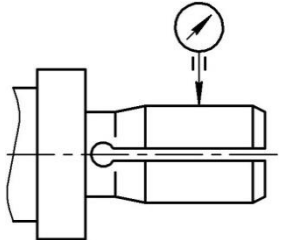
де  $\varepsilon_{np1}$  – похибка виготовлення установлювальних поверхонь пристрою, на яких базується контрольована деталь;

$\varepsilon_{np2}$  – похибка взаємного розміщення елементів пристрою, в яких встановлюються засоби вимірювання.

Ці похибки визначаються табличним методом.

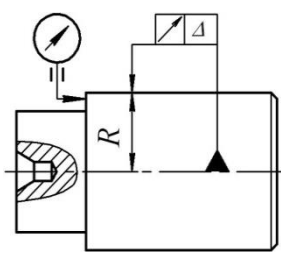
Приклади похибок виготовлення установлювальних поверхонь пристрою  $\varepsilon_{np1}$  наведені у табл. 3.2 [2].

Таблиця 3.2 – Похибки виготовлення елементів пристрою  
 $\varepsilon_{np1}$ , МКМ

Вид установлювальних поверхонь	Схема вимірювання	Параметр точності КВП	Допустимі відхилення	
			для нового КВП	максимальне для умов експлуатації
1	2	3	4	5
Центри жорсткі		Відхилення від співвісності	(3–5) / 150 мм	8 / 150 мм
Центри обертальні		Відхилення від співвісності	(5–8) / 150 мм	10 / 150 мм
Мембранні патрони		Радіальне биття	5–10	15
		Торцеве биття	(10–15) / R	25 / R
Цангові патрони		Радіальне биття	10–15	20



Продовження таблиці 3.2

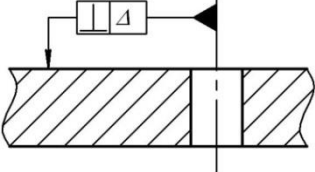
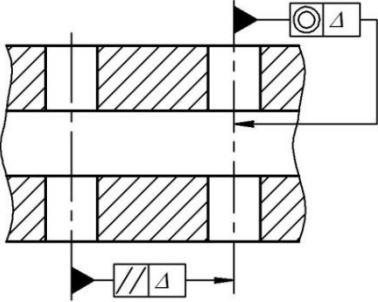
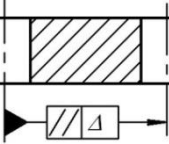
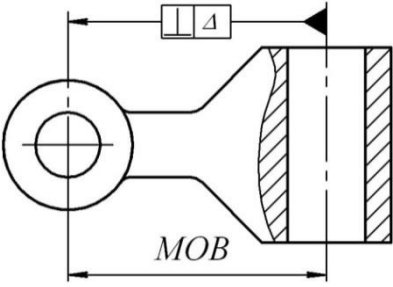
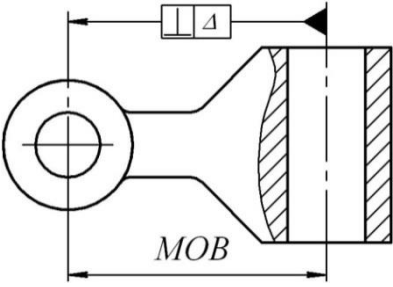
1	2	3	4	5
Оправки жорсткі		Радіальне биття посадкової поверхні відносно осі центрів	3–7	10–15
		Торцеве биття відносно осі центрів	(5–8) / $R$	(10–20) / $R$

Приклади похибок взаємного розміщення базових поверхонь для установлення деталей щодо елементів установки засобів вимірювання  $\varepsilon_{np2}$  наведені у табл. 3.3 [2].

Таблиця 3.3 – Похибки взаємного розміщення елементів пристрою, в яких установлюються засоби вимірювання  $\varepsilon_{np2}$ , МКМ

Ескіз	Вид похибки	Значення похибки
1	2	3
	Відхилення від паралельності осі отвору та площини основи корпусу	(8–20) / 100 мм

Продовження таблиці 3.3

1	2	3
	<p>Відхилення від перпендикулярності осі отвору та площини</p>	<p>(5–20) / 100 мм</p>
	<p>Відхилення від співвісності осей отворів</p>	<p>(5–20) / 100 мм</p>
	<p>Відхилення від паралельності осей отворів</p>	<p>(10–25) / 100 мм</p>
	<p>Відхилення від перпендикулярності осей отворів</p>	<p>(8–20) / 100 мм</p>
	<p>Відхилення від міжосьової відстані (MOB)</p>	<p>±(10–30)</p>

Завершуючи цей підрозділ, розглянемо приклад визначення похибки, викликаній неточністю розміщення елементів пристрою для установки засобів вимірювання, наприклад, під час контролю торцевого биття середнього

ступеня деталі, див. схему контролю на рис. 3.17 та розрахункову схему на рис. 3.18 [2].

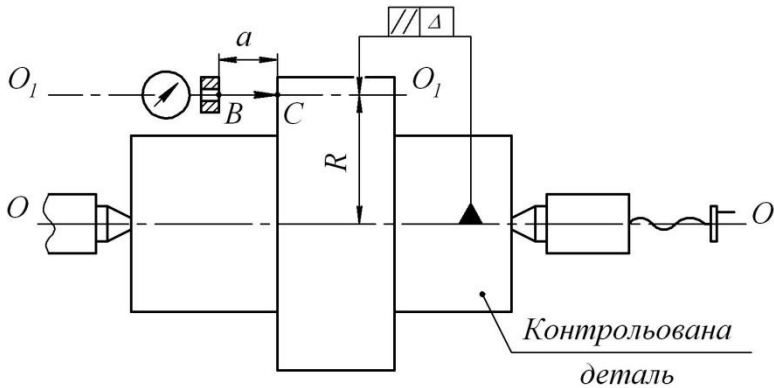


Рисунок 3.17 – Схема вимірювання

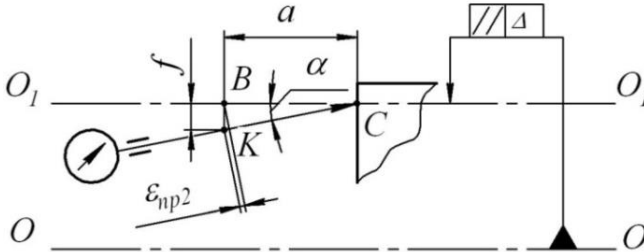


Рисунок 3.18 – Розрахункова схема

Згідно зі схемою на рис. 3.18 похибку, що пов'язана з неточністю взаємного розміщення елементів пристрою  $\varepsilon_{np2}$  у вигляді відхилення від паралельності осі індикатора і осі центрів, можна розрахувати за формулою

$$\varepsilon_{np2} = KC - BC = \sqrt{a^2 + f^2} - a, \quad (3.23)$$

де  $a$  – величина переміщення щупа індикатора або вимірювального наконечника.

Якщо  $f = a \cdot \operatorname{tg}(\alpha)$ , а  $\alpha = (\Delta/100)$ , де  $\Delta$  – допустима похибка на відхилення від паралельності осі отвору, то маємо

$$\varepsilon_{np2} = a \left( \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\alpha)} - 1 \right). \quad (3.24)$$

### 3.4 Визначення похибок передавальних пристроїв КВП

До складу значної частини конструкцій КВП входять передавальні пристрої. Основним призначенням цих пристроїв є:

а) передача вимірюваних величин на деяку відстань від контрольованої поверхні;

б) зміна напрямку вимірюваних величин, які необхідно передати;

в) оберігання вимірювального наконечника засобу вимірювання від безпосереднього контакту з контрольованою поверхнею деталі.

Розрізняють 5 основних груп передавальних пристроїв: механічні, оптичні, пневматичні, гідравлічні та електричні.

При проектуванні сучасних КВП широко застосовуються механічні передавальні пристрої, які поділяють на *прямі* і *важільні*.

На рисунку 3.19 наведений приклад застосування прямого передавального пристрою.

Причому на рис. 3.19 *а* показане правильне затискання індикатора (гвинтом через розрізну втулку), а на рис. 3.19 *б* – неправильне затискання індикатора (прямо за тонкостінну гільзу, в якій переміщається вимірювальний

стрижень), що призведе до деформації тонкостінної гільзи і виходу з ладу цього засобу вимірювання.

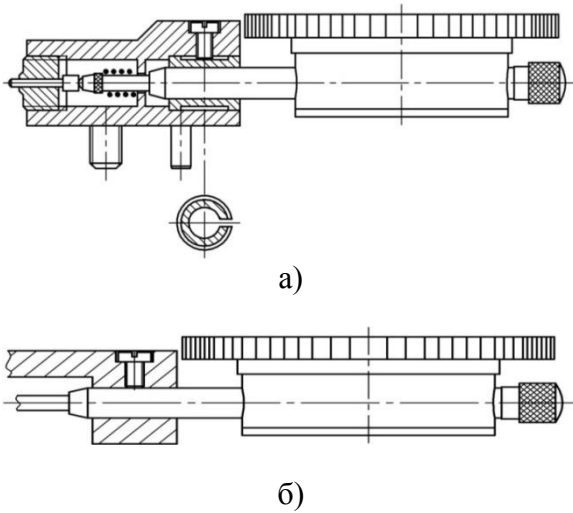


Рисунок 3.19 – Прямий передавальний пристрій

Існує й інший спосіб установки і закріплення засобу вимірювання, див. рис. 3.20. Таке закріплення використовують при встановленні індикатора в розрізному стрижні, який, у свою чергу, встановлюється в індикаторній стійці.

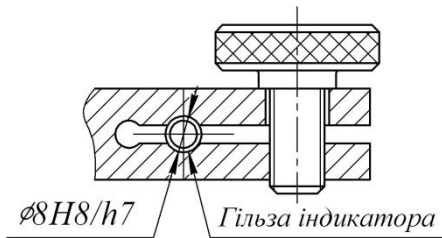


Рисунок 3.20 – Схема закріплення засобу вимірювання (індикатора) в розрізному стрижні

Крім того, існують й інші конструкції прямого передавального пристрою: із подовженим стрижнем, подвійними втулками тощо.

Важільні передавальні пристрої поділяють на прямі (рис. 3.21 а) та кутові (рис. 3.21 б, в, г).

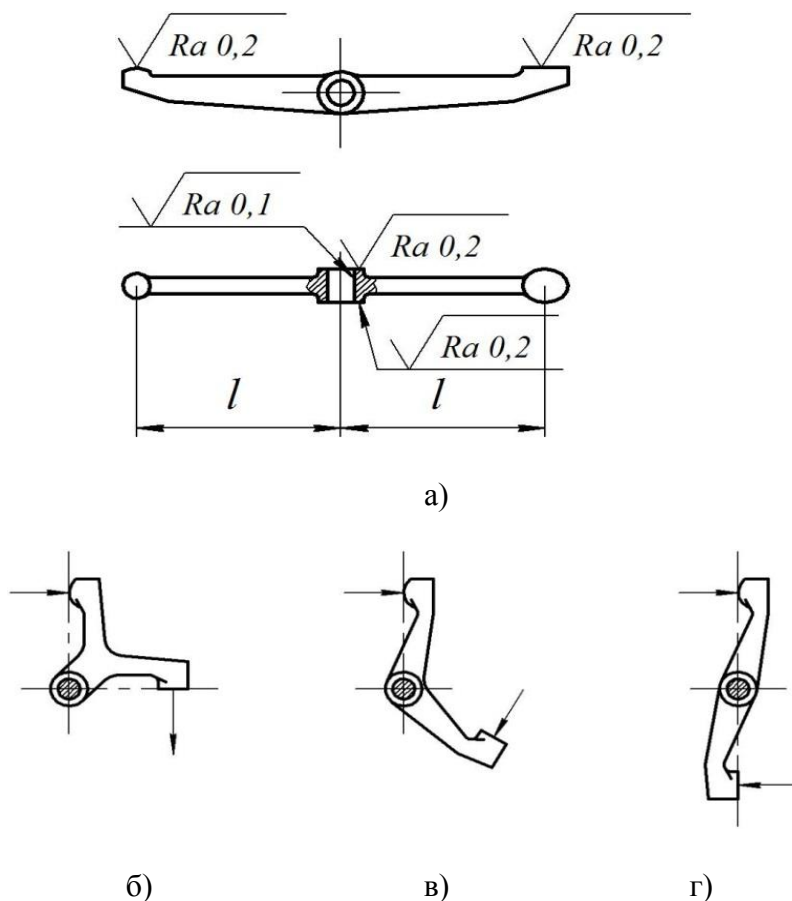


Рисунок 3.21 – Конструкції важільних передавальних пристроїв

Отвір під вісь важеля виконують за 6–7-м квалітетами розмірної точності та притирають, а шорсткість – 0,2 мкм за критерієм  $Ra$ . З такою самою точністю і шорсткістю виготовляють і вісь важеля.

Часто важільні передавальні пристрої виконують із різним передавальним відношенням.

На рис. 3.22 наведено приклад використання прямого важеля разом із засобом вимірювання (індикатором).

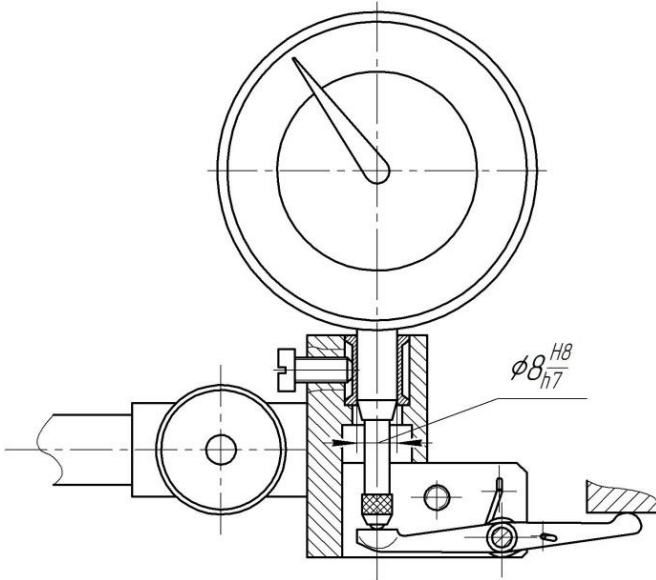


Рисунок 3.22 – Приклад використання прямого важеля

Одним із найбільших вагомих недоліків важільних передавальних пристроїв є значні похибки, пов'язані з наявністю зазорів між віссю та отвором важеля. Тому останнім часом застосовують прогресивні конструкції передавальних пристроїв на пружних пластинах (див. рис. 3.23).

У передавальних пристроях на пружних пластинах відсутні зазори, за рахунок чого підвищується точність пристрою.

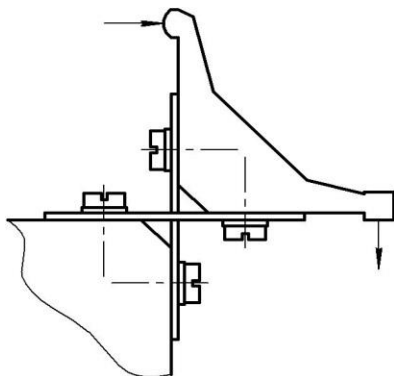


Рисунок 3.23 –  
Передавальний важільний  
пристрій на пружних  
пластинах

Крім того, для зменшення похибок, пов'язаних із зазором між віссю та отвором важеля, можна запропонувати схему установки важеля на конічних гвинтах (рис. 3.24).

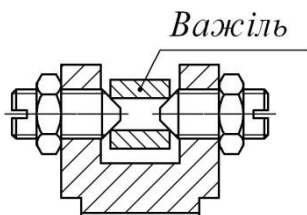


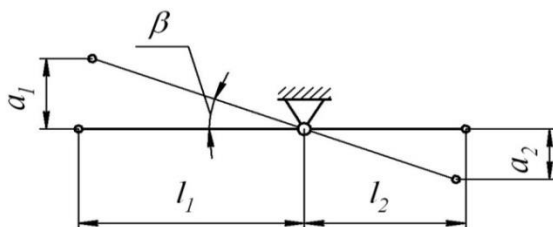
Рисунок 3.24 – Будова  
передавального важільного  
пристрою на конічних  
гвинтах

Розглянемо основні похибки передавальних пристроїв.

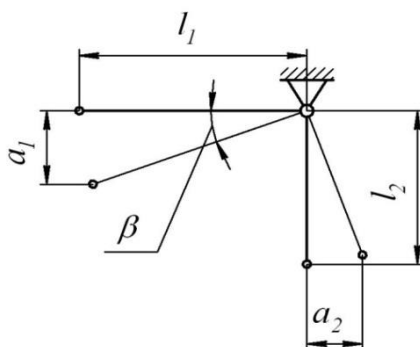
### *Похибки від неточності виготовлення плечей важелів $\Delta r_1$*

Похибки від неточності виготовлення плечей важелів  $\Delta r_1$  розглянемо на прикладі схем прямого (рис. 3.25 а) та кутового (рис. 3.25 б) важелів [2].





а)



б)

Рисунок 3.25 – Прямий (а) та кутовий (б) важелі

Забезпечити довжину плечей ідеально під час виготовлення неможливо. Допуски на виготовлення плечей, як правило, становлять (0,05–0,1) мм. Крім того, довжина плечей важеля може змінюватися від 0,25 до 1,0 мм ще й під час установки з протилежного боку від контрольованої поверхні засобу вимірювання.

Якщо припустити, що зазор між отвором важеля та віссю відсутній (дорівнює нулю), то похибку важеля  $\Delta p_1$  за умови різниці його плечей можна розрахувати за формулою

$$\Delta p_1 = a_1 - a_2 = (l_1 - l_2) \sin(\beta), \quad (3.25)$$

де  $a$  – величина переміщення важеля, або вимірювана величина.

Якщо

$$\sin(\beta) = \frac{a_1}{l_1},$$

то

$$\Delta p_1 = \left(1 - \frac{l_2}{l_1}\right) a_1. \quad (3.26)$$

Похибка  $\Delta p_1$  є ще більш значущою при передатному відношенні  $k > 1$ .

Крім неточностей виготовлення плечей важеля у нього можуть бути ще й кутові похибки ( $\gamma$ ). Останні пов'язані як із неточностями виготовлення, так і з пружними деформаціями важеля (див. рис. 3.26).

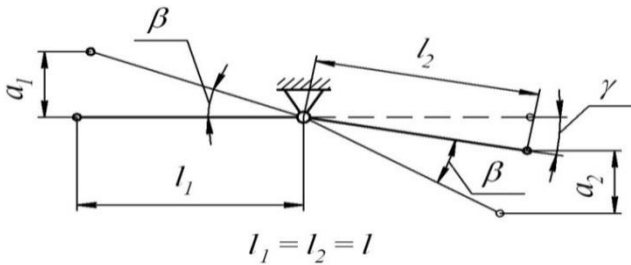


Рисунок 3.26 – Прямий важіль за наявності кутової похибки

У результаті наявності кутових похибок будемо мати

$$\Delta p_1 = a_1 - a_2 = l \cdot \sin(\beta) - [l \cdot \sin(\beta + \gamma) - l \cdot \sin(\gamma)]. \quad (3.27)$$

Якщо врахувати відомі тригонометричні формули перетворень  $\sin(\beta + \gamma) = \sin(\beta)\cos(\gamma) + \sin(\gamma)\cos(\beta)$ , можна вираз (3.27) спростити. Тут при  $\gamma \rightarrow 0$  маємо  $\cos(\gamma) \approx 1$ , а доданок  $l\sin(\beta)\cos(\gamma) \rightarrow l\sin(\beta)$ , і він у перетвореннях скоротиться. Тоді отримаємо

$$\Delta p_1 = l \cdot \sin(\gamma) \cdot (1 - \cos(\beta)). \quad (3.28)$$

### ***Похибки від зазору між отвором та віссю важеля $\Delta p_2$***

Навіть за малої величини зазор  $S$  між отвором важеля та його віссю (див. рис. 3.27) надає істотний вплив на точність роботи передавального пристрою [2].

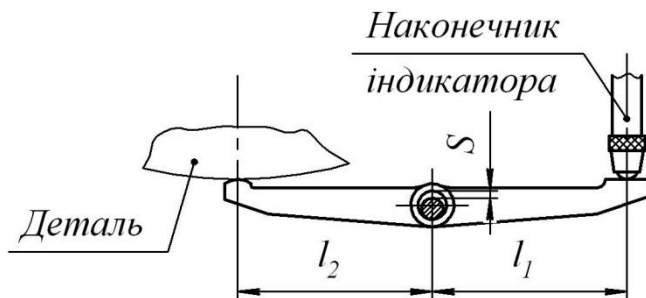


Рисунок 3.27 – Зазор між отвором важеля та його віссю

Розрахункова схема за умови наявності зазору  $S$  наведена на рис. 3.28.

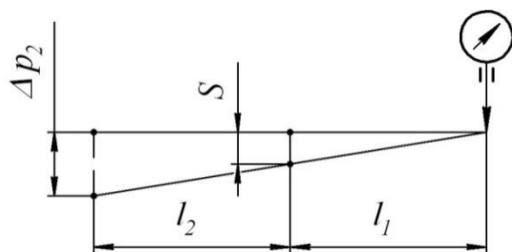


Рисунок 3.28 – Розрахункова схема

За наявності зазору важіль переміщається на величину  $S$ :

$$\Delta p_2 = \frac{S \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} = S \cdot \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right) = S \cdot (1 + k), \quad (3.29)$$

де  $k = (l_2 / l_1)$  – передатне відношення довжин плечей важеля.

Із виразу (3.29) маємо, що передатне відношення  $k$  істотно впливає на величину похибки. Навіть при зазорі (3–5) мкм та  $k = 1$  похибка  $\Delta p_2$  становить (6–10) мкм.

***Похибка, викликана лінійним переміщенням вимірювального стрижня при кутових переміщеннях важеля  $\Delta p_3$***

Як правило, у важільних передачах одне плече важеля передає рух вимірювальному стрижню індикатора, який, у свою чергу, переміщається прямолінійно, поступально, в той час як плече важеля має кутовий зсув. У зв'язку з цим у передачах важелів виникає похибка  $\Delta p_3$ .

Позначимо через  $a$  величину лінійного переміщення вимірювального стрижня індикатора при повороті важеля

довжиною  $l$  з плоским кінцем на кут  $\alpha$  (див. розрахункову схему на рис. 3.29) [2].

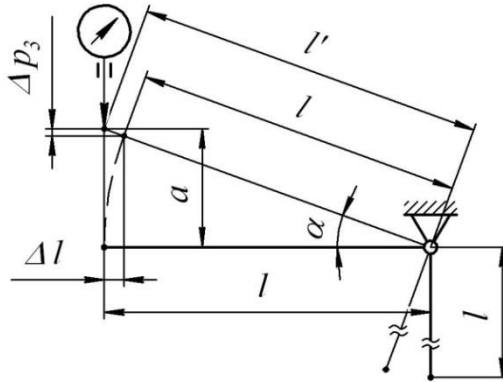


Рисунок 3.29 – Схема до розрахунку похибки лінійного переміщення вимірювального стрижня при кутових переміщеннях важеля

Відповідно до рис. 3.29 маємо

$$a = l \cdot \operatorname{tg}(\alpha).$$

Щоб знайти похибку у передаточному відношенні важільної системи, розкладемо  $\operatorname{tg}(\alpha)$  у ряд Тейлора:

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \frac{2}{15} \alpha^5 + \frac{7}{315} \alpha^7 + \dots,$$

де  $\alpha$  – кут (у радіанах).

У зв'язку з тим, що кут  $\alpha$  значно менший за одиницю, нехтуючи додатками, починаючи з 5-го порядку включно, отримаємо

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \alpha + \frac{\alpha^3}{3}.$$

Тому маємо

$$a = l \cdot \left( \alpha + \frac{\alpha^3}{3} \right) = l \cdot \alpha + \frac{l \cdot \alpha^3}{3}.$$

У результаті

$$\Delta p_3 = \frac{l \cdot \alpha^3}{3}. \quad (3.30)$$

Враховуючи правило подібності трикутників, можна отримати й більш точний вираз для визначення  $\Delta p_3$ :

$$\frac{\Delta p_3}{a} = \frac{\Delta l}{l},$$

$$\Delta l = l - l \cdot \cos(\alpha) = l \cdot (1 - \cos(\alpha)).$$

У результаті маємо

$$\Delta p_3 = a \cdot (1 - \cos(\alpha)), \quad (3.31)$$

або

$$\Delta p_3 = l \cdot (\operatorname{tg}(\alpha) - \sin(\alpha)). \quad (3.32)$$

***Похибка від зсуву точки контакту сферичного наконечника при повороті плоского важеля  $\Delta p_4$***

У загальному випадку величина похибки вимірювання залежить від довжини вимірювального ланцюга та кількості його ланок.

Одним з основних чинників, що породжує істотну похибку вимірювання, є передавальний пристрій. Тому під

час вибору конструкції передавального пристрою треба із максимальною можливістю врахувати усі моменти, що породжують похибку, і постаратися їх виключити або звести до мінімуму.

Робочі кінці плечей важелів виконуються, як правило, так, щоб забезпечувався точковий контакт із поверхнею вимірюваної деталі. Для досягнення цієї мети іноді один (можна й обидва) кінець важеля необхідно виконувати у вигляді сфери з радіусом (2–3) мм або плоскими, якщо вони контактують із сферичними поверхнями (див. рис. 3.30) [2].

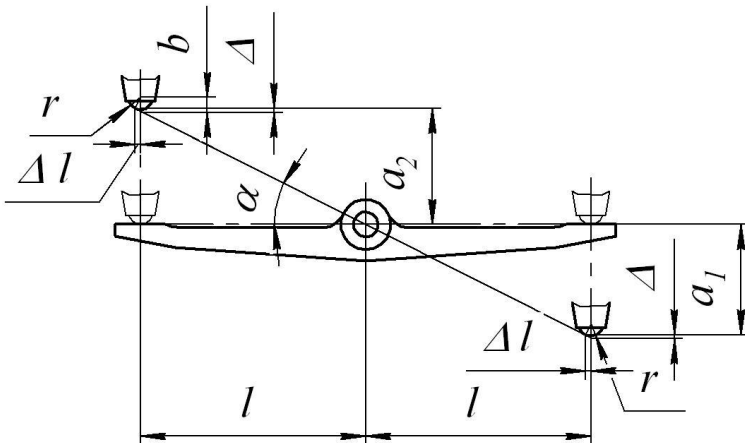


Рисунок 3.30 – Похибка від зсуву точки контакту сферичного наконечника при повороті плоского важеля

При таких схемах важільних передач неминуха похибка, оскільки при повороті важеля точки контакту зміщуються у бік.

Спочатку обидва плеча важеля  $l$  були рівні. Після повороту важеля на кут  $\alpha$  маємо передавальне відношення:

$$k = \frac{l + \Delta l}{l - \Delta l}. \quad (3.33)$$

При повороті важеля на кут  $\alpha$  контакт плечей буде різним на обох кінцях важеля. У цих умовах у передавальному відношенні виникає похибка  $\Delta p_4$ .

Для рівноплечих важелів, див. рис. 3.30:

$$a_1 = l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - \Delta,$$

$$a_2 = l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) + \Delta.$$

Враховуючи, що

$$\Delta = b - r = \frac{r}{\cos(\alpha)} - r = r \left( \frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right) = r \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\cos(\alpha)},$$

маємо

$$a_1 = l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - r \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\cos(\alpha)},$$

$$a_2 = l \cdot \operatorname{tg}(\alpha) + r \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\cos(\alpha)}.$$

Тоді

$$\Delta p_4 = a_2 - a_1,$$

$$\Delta p_4 = 2r \cdot \frac{1 - \cos(\alpha)}{\cos(\alpha)}. \quad (3.34)$$

Таким чином, похибку передавального пристрою  $\Delta p_4$  можна визначити за значеннями  $r$  і  $\alpha$  ( $r$  – радіус сферичного наконечника засобу вимірювання).



### Похибка прямої передачі $\Delta p_5$

Часто прямі передачі відіграють роль буферів для зберігання засобів вимірювання від різких поштовхів і ударів. Діаметри стрижня і втулки виконують, як правило, за посадкою ковзання за 6–7-м квалітетом точності із подальшим притиранням.

Причиною похибки  $\Delta p_5$  є зазор  $S$  (див. рис. 3.31 а) [2] між стрижнем і отвором, а також зсув осі вимірювального стрижня засобу вимірювання (індикатора) по відношенню до осі стрижня передавального пристрою на величину  $e$ . Розрахункова схема для визначення похибки  $\Delta p_5$  наведена на рис. 3.31 б).

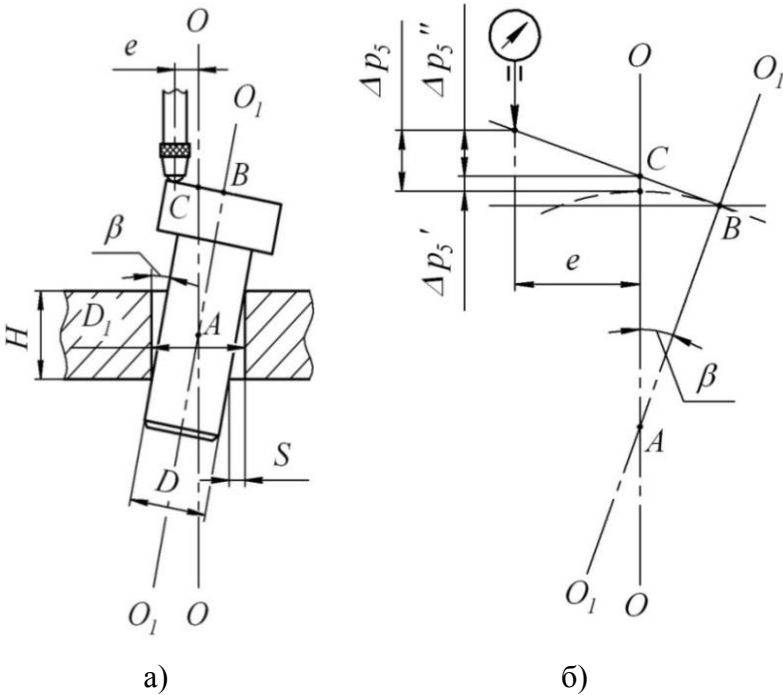


Рисунок 3.31 – Похибка прямої передачі: а – схема виникнення похибки; б – розрахункова схема

Під час переміщення стрижня передавального пристрою у напрямку осі  $O_1 O_1$  на величину  $AB$ , що дорівнює  $a$ , стрижень індикатора, розміщений уздовж осі  $O O$ , пройде шлях  $AC$ .

У результаті похибка  $\Delta p_5'$  становитиме

$$\Delta p_5' = AC - AB = \frac{a}{\cos(\beta)} - a = a \frac{1 - \cos(\beta)}{\cos(\beta)}, \quad (3.35)$$

де  $tg(\beta) = \frac{S}{H}$ .

Для малих кутів  $\beta$  із достатнім ступенем наближення можна вважати, що  $S = D_1 - D$ .

Під час установки індикаторів завжди має місце зсув осі вимірювального стрижня індикатора щодо осі стрижня передавального пристрою. На практиці величина зсуву  $e$ , як правило, дорівнює (0,2–0,3) мм.

Зі схеми на рис. 3.31 б бачимо, що у цьому випадку

$$\Delta p_5'' = e \cdot tg(\beta). \quad (3.36)$$

Тоді загальна похибка становитиме

$$\Delta p_5 = \Delta p_5' + \Delta p_5'', \quad (3.37)$$

$$\Delta p_5 = a \cdot \frac{1 - \cos(\beta)}{\cos(\beta)} + e \cdot tg(\beta), \quad (3.38)$$

де  $a$  – величина переміщення наконечника індикатора або значення вимірюваної величини.

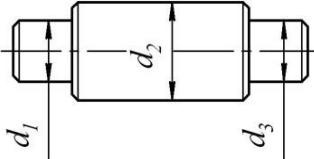
У результаті загальна похибка передавального важільного пристрою як інтегральна величина буде дорівнювати

$$\Delta p = \sqrt{\Delta p_1^2 + \Delta p_2^2 + \Delta p_3^2 + \Delta p_4^2} . \quad (3.39)$$

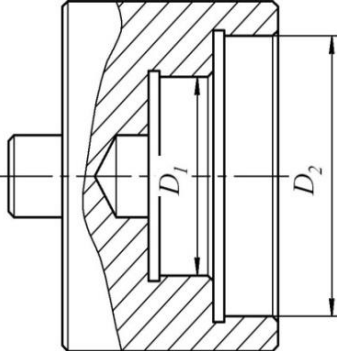

### 3.5 Визначення похибки виготовлення еталонних деталей, що використовуються для налагодження контрольних пристроїв

Розглянемо приклади похибок виготовлення еталонних деталей  $\Delta_e$  у вигляді таблиці 3.4 [2].

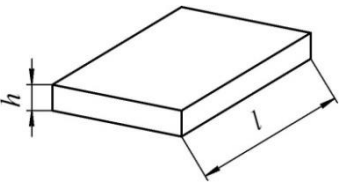
Таблиця 3.4 – Похибка виготовлення еталонних деталей, мкм

Вид еталонної деталі	Ескіз	Вид похибки	Допустиме відхилення
1	2	3	4
Оправка (валик)		Похибка виготовлення циліндричних поверхонь $d_i$ (3–120) мм	4–15
		Радіальне биття шийок одна відносно одної	5–10
		Радіальне биття шийок відносно центральної осі	5–10

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
<p>Порожниста оправка (із внутрішньою базовою поверхнею)</p>		<p>Похибка виготовлення внутрішніх циліндричних поверхонь <math>D_i</math> (до 320) мм</p>	<p>8–20</p>
		<p>Радіальне биття внутрішніх поверхонь одна відносно одної</p>	<p>8–15</p>
		<p>Радіальне биття внутрішніх поверхонь відносно зовнішніх поверхонь або центральної осі</p>	<p>8–15</p>
<p>Прямокутник (із базовою площиною для налагодження)</p>		<p>Похибка виготовлення плоских поверхонь <math>h_i</math> (10–120) мм</p>	<p>10–20</p>
		<p>Відхилення від паралельності плоских поверхонь</p>	<p><math>\frac{4-8}{l}</math></p>

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4
Мірні плитки (плоско-паралельні плитки)		Похибка виготовлення плоскої поверхні в розмір $h$	0,1–0,5
		Відхилення від паралельності плоских поверхонь	$\frac{0,1 - 0,5}{l}$

### 3.6 Похибка, викликана вимірювальним зусиллям

Похибки вимірювання від наявності зусилля вимірювання  $\Delta_{зус}$  виникають у двох основних випадках:

а) від різниці деформацій змінання нерівностей поверхонь вимірюваного виробу і зразків, за якими встановлюється вимірювальний пристрій;

б) від різниці деформацій стояків, кронштейнів або скоб під час установа (перевірки) та при вимірюванні.

Річ у тому, що на невеликій площі контакту, у першому випадку тиск може зростати так, що перевищить межу пружності матеріалу, тобто матиме місце пластична залишкова деформація.

Величина змінання поверхні, викликана зусиллям вимірювання, визначається за формулами Герца.

Під час вимірювання сталевих плоских деталей за допомогою сферичного наконечника похибка від контактної деформації дорівнюватиме [5]:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}}, \quad (3.40)$$

де  $P_{зус}$  – зусилля вимірювання, Н;  
 $r$  – радіус сфери наконечника індикатора, мм;  
 $k$  – коефіцієнт, що враховує матеріал сферичного наконечника засобу вимірювання. Для наконечника зі сталі  $k = 1,0$ ; корунду –  $k = 0,86$ ; твердого сплаву –  $k = 0,81$ .

При різних пружних формах контакту використовують варіанти формули Герца для кожного конкретного випадку.

У таблиці 3.5 наведені значення величини похибки  $\Delta_{зус}$  залежно від зусилля вимірювання  $P_{зус}$  за умови, коли діаметр сферичного наконечника індикатора дорівнює 3,6 мм.

Таблиця 3.5 – Похибка зусилля вимірювання  $\Delta_{зус}$ , мкм

$P_{зус}$ , Н	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01
$\Delta_{зус}$	0,84	0,45	0,29	0,18	0,09	0,06	0,04	0,01

У таблиці 3.6 як приклад наведені значення похибки  $\Delta_{зус}$  залежно від зусилля вимірювання  $P_{зус}$  за умови, коли радіус сферичного наконечника індикатора дорівнює 5 мм.

Таблиця 3.6 – Похибка зусилля вимірювання  $\Delta_{зус}$ , мкм

Метод обробки поверхні контролюваного зразка	Зусилля вимірювання $P_{зус}$ , Н	
	1	10
Точіння	0,16	1,2
Шліфування	0,07	0,56
Доведення	0,006	0,52

Як бачимо, похибка зростає із збільшенням не тільки зусилля вимірювання, а й шорсткості поверхні.

Із збільшенням радіуса сферичної поверхні наконечника зменшуються тиск на поверхню вимірюваного виробу і похибка вимірювання.

Похибка від зусилля вимірювання є значно більшою при вимірюванні деталей із латуні, алюмінію та інших м'яких матеріалів.

Зусилля вимірювання є одним із найважливіших чинників, що впливають на результати вимірювання, і цей фактор необхідно обов'язково враховувати при використанні контактного методу вимірювання.

Під час перевірки деталі у цехових умовах необхідне певне зусилля вимірювання, щоб згладити або видавити шари грязі, мастила тощо. Проте це зусилля повинне бути тим меншим, чим менша поверхня дотикання вимірювального наконечника до контрольованої деталі.

У літературі [5, 17] наводяться відомості про нормовані зусилля вимірювання для різноманітних конструкцій засобів вимірювання. Коливаються вони у межах від  $(0,1-0,3)$  Н для важільно-зубчастих індикаторів із ціною поділки  $0,01$  мм до  $(7-11) \pm 2$  Н – для важільних скоб. У цих межах або трохи менших знаходяться і зусилля вимірювання для мікрометрів із ціною поділки  $0,01$  мм, індикаторних нутромірів тощо. А ось для найбільш поширених індикаторів годинникового типу з ціною поділки  $0,01$  мм зусилля вимірювання, як правило, не перевищує  $(2-5)$  Н.

При цьому допустима величина коливань вимірювального зусилля повинна бути в межах

$$[\Delta P_{yc}] = (0,2-0,3) \cdot P_{зyc}. \quad (3.41)$$

Залежно від допуску контрольованого параметра виробу  $T_{вир}$  зусилля вимірювання  $P_{зyc}$  не має перевищувати величин, зазначених у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Рекомендовані зусилля вимірювання  $P_{зус}$

$T_{вир},$ мкм	2	2–10	10 і більше
$P_{зус},$ Н	2,5	4	10

Для особливо точних вимірювань зусилля вимірювання  $P_{зус}$  не має перевищувати (0,01–0,05) Н. Такі зусилля характерні для точного вимірювання тіл із малими розмірами, зокрема дроту, фольги, кульок незалежно від матеріалу цих тіл.

Під час визначення похибки від зусилля вимірювання  $\Delta_{зус}$  необхідно звертати увагу на ідентичність умов вимірювання деталі та еталону.

Так, під час вимірювання розміру деталі  $l$  (рис. 3.32), буде наявна похибка, оскільки форми деталі та циліндричного еталону з діаметром  $d$  є різними.

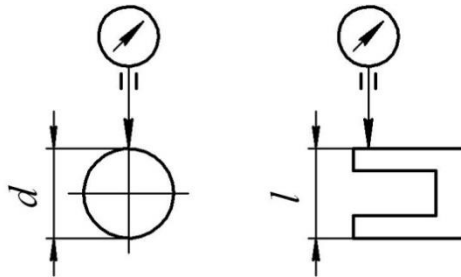


Рисунок 3.32 – Схема контролю розміру деталі  $l$  при налагодженні індикатора на розмір еталона  $d$

Аналогічна ситуація спостерігається під час використання різних матеріалів деталі та еталона за однакових інших умов контролю.

Величина зусилля вимірювання  $P_{зус}$  має велике значення під час контролю калібрами, при використанні стояків, кронштейнів тощо, які можуть деформуватися в



процесі вимірювання. Наприклад, величина деформації залежить від розміру скоби, перевищення діаметра вала над розмірами скоби, а також від стану контрольованих поверхонь у процесі вимірювання. Встановлено, що при зусиллі 10 Н скоби з розміром до 100 мм розходяться на 1–3 мкм у сухому стані, і на 3–6 мкм – у змащеному стані.

Під час використання важільно-зубчастої головки з ціною поділки 1 мкм, установленної на тонкому стояку на повний виліт кронштейна, див. рис. 3.33, похибка вимірювання биття може досягати 3–5 мкм.

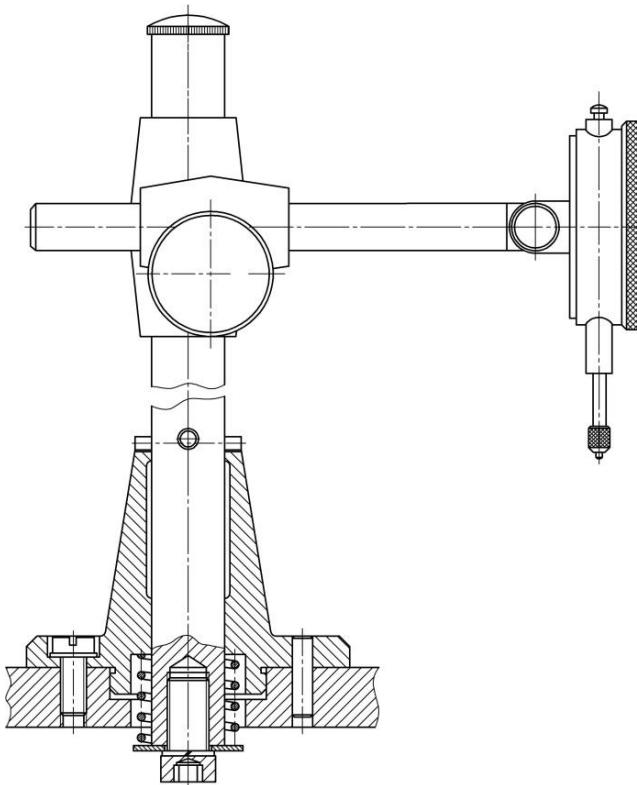


Рисунок 3.33 – Установлення засобу вимірювання на поворотному індикаторному стояку

### 3.7 Похибка, викликана температурними деформаціями елементів вимірювальної системи

Одним із найважливіших чинників, що впливають на результати вимірювання, є порушення нормального температурного режиму ( $t \sim 20\text{ }^\circ\text{C}$ ) [20]. Відомо, що змінення розміру деталі у зв'язку з наявністю температурних деформацій можна розрахувати за формулою:

$$\Delta l = l \cdot \Delta t \cdot \alpha, \quad (3.42)$$

де  $l$  – контрольований розмір виробу, мм;

$\Delta t$  – змінення температури,  $^\circ\text{C}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення,  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

Звідси для деталі зі сталі ( $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ) довжиною  $l = 1000$  мм за умови, що  $\Delta t = 1\text{ }^\circ\text{C}$ , похибка становитиме  $\Delta l = 11,5$  мкм. Таким чином, температура, а точніше різниця температур деталі і засобу вимірювання може істотно спотворити результати вимірювання.

Нерівномірність температурного поля і відмінність температури від нормальної ( $20\text{ }^\circ\text{C}$ ), різниця коефіцієнтів лінійного розширення контрольованої деталі і засобу вимірювання є причинами температурних похибок [12, 13]:

$$\Delta_m = l \cdot [\alpha_0 \cdot (20 - t_1) - \alpha_{3,6} \cdot (20 - t_2)], \quad (3.43)$$

де  $t_1$  – температури контрольованої деталі;

$t_2$  – температури засобу вимірювання;

$\alpha_0$  – коефіцієнт лінійного розширення контрольованої деталі,  $^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$\alpha_{3,6}$  – коефіцієнт лінійного розширення засобу вимірювання (максимальний),  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

Для сталі  $\alpha_{ст} = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , для бронзи –  $\alpha_{бр} = 15,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , для алюмінію  $\alpha_{ал} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

Допустимі відхилення від нормальної температури повинні бути тим менші, чим більші розміри і менші допуски контрольованого параметра деталі, чим більше різняться матеріали (коефіцієнти лінійного розширення), з яких виготовлена деталь і засіб вимірювання (КВП). Необхідно прагнути виготовляти КВП з таких матеріалів, що і контрольована деталь. Потрібно зазначити, що отримання точних результатів вимірювання можна досягти при різних параметрах контрольованої деталі і засобів вимірювання, різних умовах вимірювання за температурою, при використанні схеми вимірювання, наведеної на рисунку 3.34.

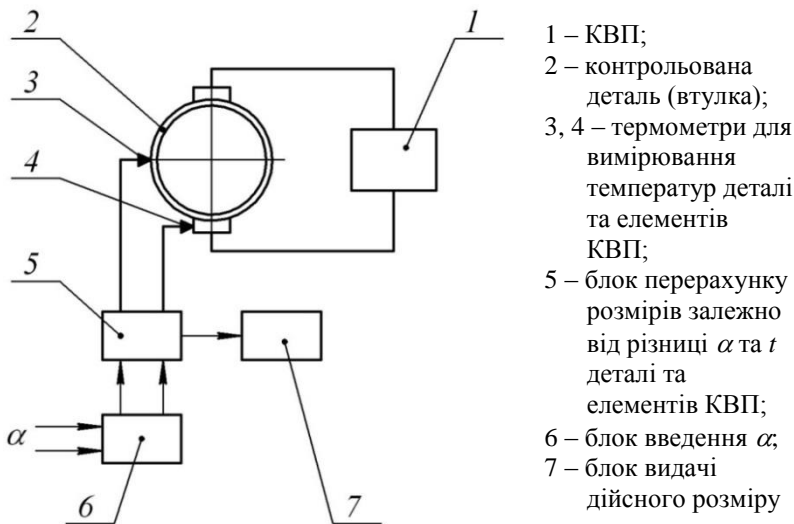


Рисунок 3.34 – Схема вимірювання

Потрібно враховувати, що оскільки у нас немає можливості вимірювати температуру всередині тіла, то

зазначена схема прийнятна для перевірки тонкостінних виробів (у вигляді кільця), коли температура на поверхні й усередині деталі однакова.

Також необхідно враховувати і додаткові температурні деформації, особливо для вимірювання накладними приладами, від тепла рук оператора.

### 3.8 Похибки, викликані суб'єктивними чинниками

Похибки, викликані суб'єктивними чинниками – це похибки, що залежать від дій оператора, людини. Розрізняють чотири види суб'єктивних похибок:

- а) похибки присутності;
- б) похибки відліку;
- в) похибки дії;
- г) професійні похибки.

Із суб'єктивних похибок вимірювання можливим є врахування для деяких засобів вимірювання тільки суб'єктивної **похибки відліку**. Загальні положення зводяться до того, що у всіх випадках, коли забезпечуються похибки вимірювання, що не перевищують ціни поділки, необхідно застосовувати заходи для зменшення похибок відліку від паралакса, тобто ретельніше виконувати відлік і по можливості під одним кутом до покажчика.

Суб'єктивна **похибка присутності** проявляється у вигляді впливу тепловипромінювання оператора на температуру навколишнього середовища, а тим самим і на засіб вимірювання.

До суб'єктивних **похибок дії** відносять похибки, що вносяться оператором під час налагодження пристрою, при підготовці об'єкта вимірювання або встановлювальних мір тощо.

До цих похибок відносять похибки від притирання кінцевих мір, а також похибки, які виникають під час переміщення приладу щодо деталі або деталі щодо елементів приладу, наприклад, під час вимірювання внутрішніх розмірів нутромірами.

**Професійні похибки** пов'язані з кваліфікацією оператора, з відношенням його до процесу вимірювання, з тією роллю, яку відіграють вимірювання у виконуваних оператором виробничих функціях. Професія створює в оператора певний навик, відповідальність за виконувани вимірювання.

Таким чином, були розглянуті усі складові похибки вимірювання КВП, які входять до складу сумарної похибки  $\Delta_{вим}$ , яка, у свою чергу, розраховується шляхом квадратичного підсумовування за формулою (3.2).

В умовах проектування фактична, загальна похибка може визначатися і шляхом прямого арифметичного складання, що гарантує більш високу точність визначення похибки та відсутність помилок:

$$\Delta_{вим} = \Delta_{ін} + \varepsilon + \Delta_{в} + \Delta_{е} + \Delta_{зус} + \Delta_{т}. \quad (3.44)$$

Із цього рівняння можна визначити і допустиму похибку установлення контрольованої деталі в КВП, і допустиму похибку, що викликається неточністю показань засобу вимірювання. Остання визначається з метою правильного вибору засобу вимірювання і ціни його поділки:

$$[\varepsilon] \leq (0,2 - 0,35)T_{вир} - [\Delta_{ін} + \Delta_{р} + \Delta_{е} + \Delta_{зус} + \Delta_{т}], \quad (3.45)$$

$$[\Delta_{ін}] \leq (0,2 - 0,35)T_{вир} - [\varepsilon + \Delta_{р} + \Delta_{е} + \Delta_{зус} + \Delta_{т}]. \quad (3.46)$$

### **3.9 Вплив похибки вимірювання на результати контролю**

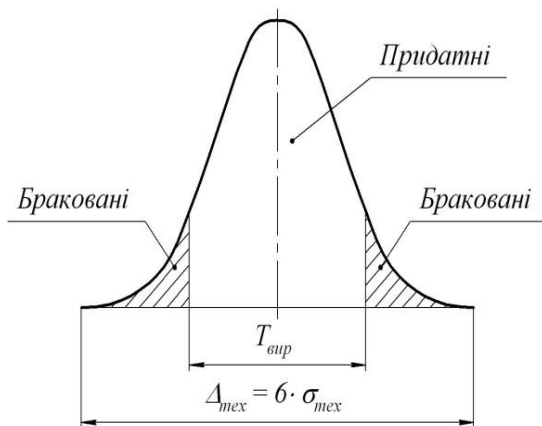
У зв'язку з тим, що під час вимірювань може бути відповідна похибка, частина придатних деталей може бути віднесена до бракованих, а частина бракованих – до придатних.

Розглядаючи питання про характеристики точності методу вимірювання, необхідно розрізняти два випадки використання результатів вимірювання. Перший – при остаточному контролі, коли за результатами перевірки виробів проводиться сортування деталей на «придатні» і «браковані» (пасивний контроль), і другий – у процесі виготовлення деталей, при якому за наслідками контролю проводиться підналагодження технологічного процесу (активний контроль).

Розглянемо докладніше перший випадок.

Якби контроль здійснювався абсолютно точними ЗВ із граничною похибкою методу вимірювання, що дорівнює нулю, то всі деталі з розмірами, які входять у поле допуску, були б визнані придатними, а деталі з розмірами, що виходять за межі поля допуску – браковані (рис. 3.35). При цьому для вирішення питання про точнісний вибір ЗВ з урахуванням ймовірності повинні бути відомі закони розсіювання відхилень контрольованих елементів деталей і закони розподілу похибок вимірювання. Як правило, вважають, що розсіювання розмірів і похибок вимірювань характеризуються за нормальним законом розподілу, а розсіювання похибки форми, зокрема, овальності, конусності тощо – за законом істотно позитивних величин.

Насправді усі вимірювання супроводжуються певними похибками ( $\Delta_{вим}$ ), у результаті яких порушується правильність сортування деталей (рис. 3.36) [5, 13, 14, 19].



$T_{вир}$  – допуск  
контрольованого  
параметра  
виробу;

$\Delta_{тех}$  – область  
технологічного  
розсіювання  
відхилень  
контрольованого  
параметра за  
всіма  
виробленими  
деталлями;

$\sigma_{тех}$  – середньо-  
квадратичне  
відхилення  
розсіювання  
технологічного  
процесу

Рисунок 3.35 – Розподіл вироблених деталей на «придатні» та «браковані»

У результаті нормальний закон технологічного розсіювання спотворюється (рис. 3.36).

Тут  $\Delta_{мет}$  – гранична похибка методу вимірювання ( $\Delta_{вим}$ );  $\Delta_{мет} = 3\sigma_{мет}$ ;  $\sigma_{мет}$  – середньоквадратичне відхилення методу вимірювання.

На рисунку 3.36 величина виходу відхилень розмірів за межі поля допуску дорівнює  $c$ .

З урахуванням вищезазначеного введемо визначення відносної похибки вимірювання (коефіцієнта точності методу вимірювання):

$$A_{мет} = \frac{\Delta_{мет}}{T_{вир}} . \quad (3.47)$$

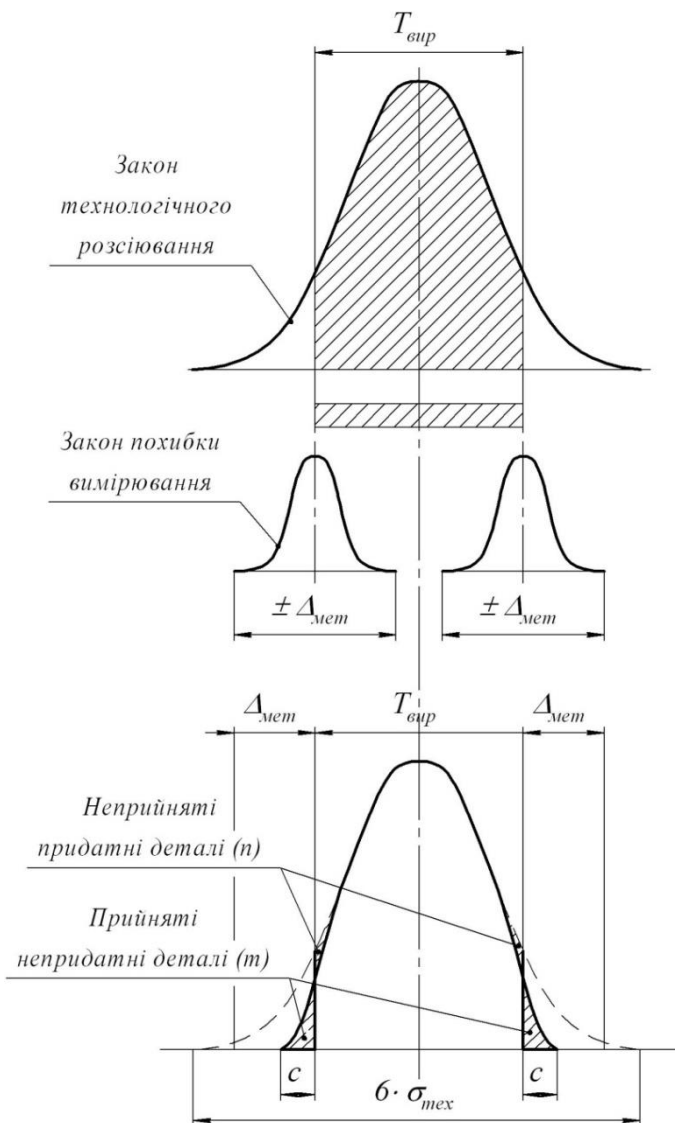


Рисунок 3.36 – Схема порушення правильності сортування (розбракування) деталей на «придатні» та «браковані»



Очевидно, що чим ближче розмір деталі до межі поля допуску, тим більше ймовірність отримання неправильних результатів контролю.

Дійсно, ймовірність віднесення бракованих деталей з розмірами  $x_1$ , які відповідають ділянці 1 кривої технологічного розсіювання розмірів (рис. 3.37), до придатних визначається площею заштрихованої частини кривої розподілу похибок вимірювання.

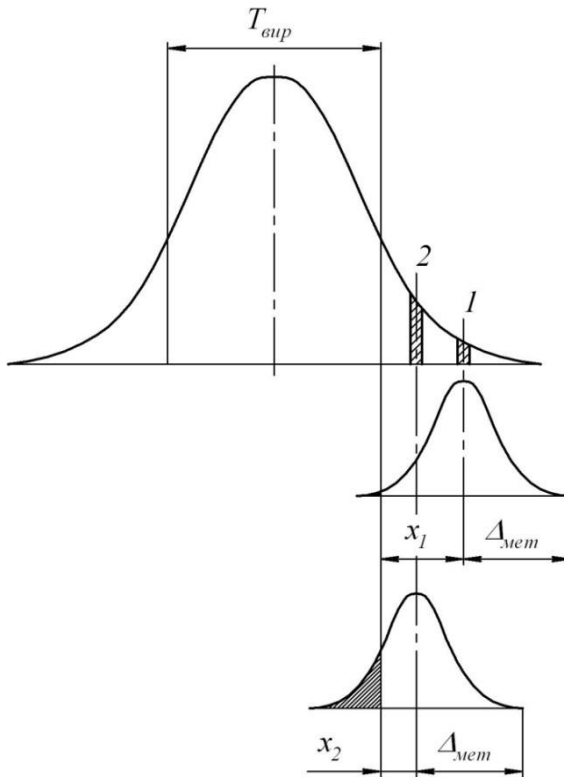


Рисунок 3.37 – Схема визначення ймовірності віднесення бракованих деталей до придатних

Вочевидь, що ця ймовірність для відхилення розміру  $x_2$ , ближче розміщеного до межі поля допуску більша, ніж для відхилень розміру  $x_1$ .

Таким чином, у результаті наявності похибок вимірювання до придатних деталей потраплятимуть браковані, а до бракованих – придатні.

Для оцінки впливу похибки вимірювання на результати контролю (розбракування) деталей необхідно встановити залежності між похибкою вимірювання  $\Delta_{мет}$ , ймовірністю неправильного прийняття бракованих деталей  $m$  і ймовірністю бракування придатних деталей  $n$ , ймовірною величиною граничного виходу розміру за межу поля допуску  $c$  у неправильно прийнятих деталях і коефіцієнтом точності методу вимірювання  $A_{мет}$  (рис. 3.36).

Ці залежності є різними для різних законів розподілу відхилень розмірів контрольованих параметрів деталей і вимагають трудомістких обчислень.

Для практичного використання складають графіки, що враховують взаємозв'язки зазначених параметрів розбракування  $m$ ,  $n$  та  $c$  [5, 13, 14, 17], див. рис. 3.38, 3.39 і 3.40.

За графіками можна визначити відсоток неправильно прийнятих деталей із розмірами, що виходять за межі поля допуску  $m$  (аналогічно для  $n$  і  $c / T_{вир}$ ) залежно від  $A_{мет}$  і від відношення  $T_{вир} / \sigma_{тех}$ .

Якщо характеристика технологічного процесу наперед невідома, то можна скористатися таблицею 3.8 [5], що дає граничні кількості неправильно розбракованих деталей та величин виходу за межу поля допуску.

Необхідно зазначити, що у вищенаведених міркуваннях передбачалося, що похибка налагодження  $\Delta n$  дорівнює нулю (середина поля допуску і центр кривої розсіювання контрольованого параметра збігаються).

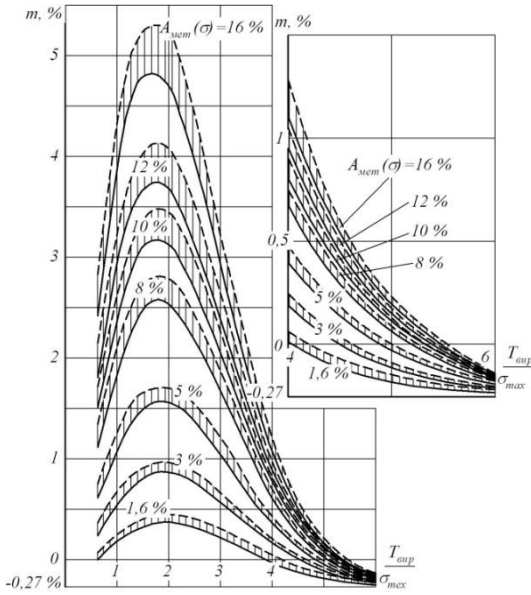


Рисунок 3.38 –  
Кількість  $m$   
неправильно  
прийнятих  
деталей

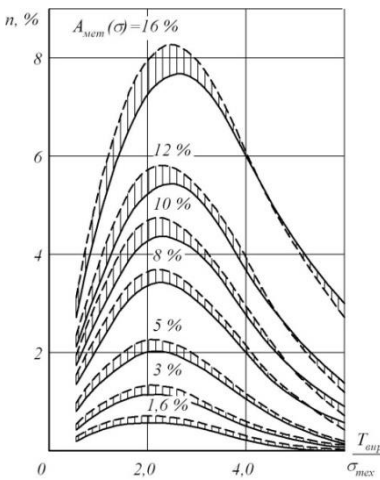


Рисунок 3.39 – Кількість  $n$   
неправильно забракованих  
деталей

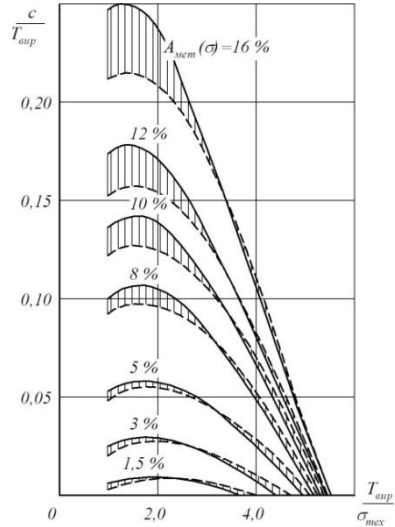


Рисунок 3.40 – Величина  
виходу  
розмірів  
неправильно прийнятих  
деталей за межі допуску

Таблиця 3.8 – Ймовірнісні граничні кількості неправильно розбракованих деталей та величин виходу за межі поля допуску

Похибка вимірювання	Величина виходу розміру за межі поля допуску, $C$	При контролі розмірів деталей кількість неправильно		При контролі коливань розмірів деталей кількість неправильно	
		прийнятих $m$	забракованих $n$	прийнятих $m$	забракованих $n$
Від допуску, %		Від кількості перевірених деталей, %			
10	2–3	1,0	1,3	0,7	1,0
15	5	1,5	2,0	1,2	1,5
20	8	2,0	2,8	1,6	2,0
25	10	2,5	3,5	2,0	2,5
30	15	3,0	4,5	2,5	3,0
40	20	4,0	6,0	3,3	4,2
50	26	4,0	7,0	3,6	4,7

Таким чином, знаючи значення  $m$ ,  $n$  і  $c$ , конструктор або технолог можуть оцінити ці значення з погляду відповідності їх встановленим стандартам, керуючись умовами роботи деталі у вузлі або машині. За необхідності можна зменшити величину  $\Delta_{мет}$  (похибку вимірювання) і відповідно здійснювати необхідний вибір засобів вимірювання.

У літературі [13, 14, 19] існує дві точки зору на взаємозв'язок між допустимими похибками вимірювання і виготовлення.

У першому випадку вважають, що величина виходу розмірів за поле допуску  $c$ , яка пов'язана з похибкою методу контролю, настільки незначна порівняно з допуском на виготовлення, що не може відбитися на експлуатаційних якостях виробів. Тоді буде узаконено

деяке розширення передбачених стандартом полів допусків виробу (рис. 3.36).

У другому випадку вважають, що нормовані стандартами допуски повинні гарантуватися і повністю включати в себе похибку методу вимірювання. Тоді виробництво повинне вестися за так званими *приймальними* або виробничими допусками, тобто з полем допуску виробу, зменшеним на подвоєну величину відповідної похибки методу вимірювання, див. рис. 3.41. Тоді деталі повинні братися за приймальними межами, вужчими, ніж поле допуску виробу.

У другому випадку можливі такі варіанти призначення приймального допуску:

а) приймальні межі скорочені на похибку методу вимірювання (рис. 3.41 а);

б) приймальні межі скорочені на величину меншу, ніж похибка методу вимірювань, а саме на величину  $2c$  (рис. 3.41 б);

в) приймальні межі збігаються з полем допуску на виріб (рис. 3.41 в).

Недоліком системи «приймальний допуск» є організаційні труднощі, пов'язані із застосуванням у виробництві подвійної документації: конструкторської (такої, що містить стандартний допуск) і технологічної (із зміненим за рахунок похибки вимірювання допуском). Крім того, така система призводить до подорожчання виробництва з причини зменшення приймальних допусків.

Тому на виробництвах масового виготовлення економічно доцільно йти на зниження вартості виробів за рахунок спрощення технологічного процесу і системи контролю, не дивлячись на те, що при цьому незначна частина продукції, пропущена при контролі, повинна додатково оброблятися або остаточно бракуватися після повернення зі складання або від споживача.

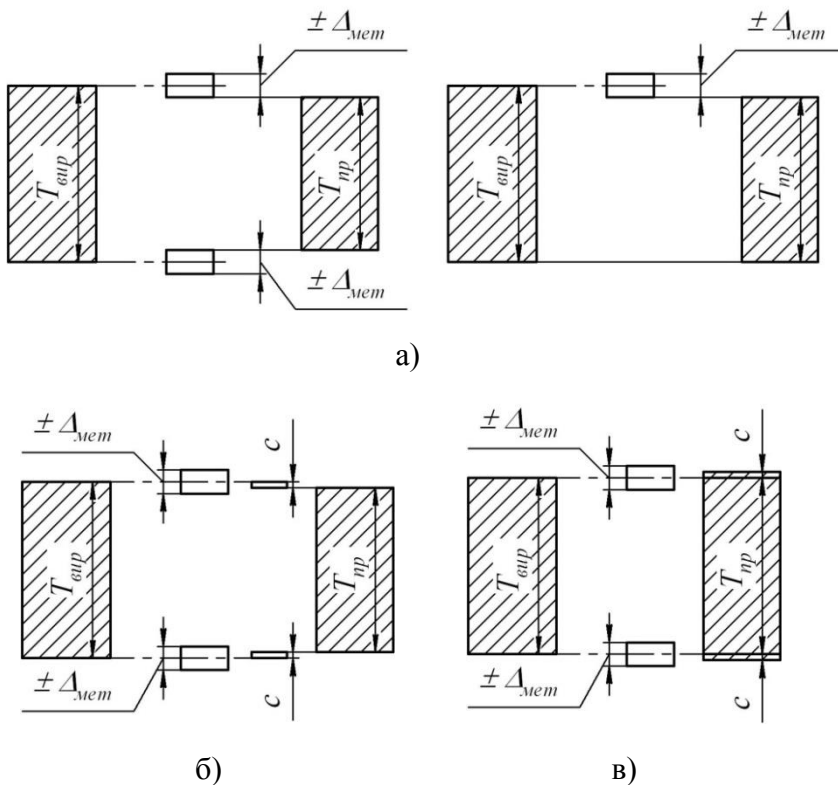


Рисунок 3.41 – Варіанти встановлення меж приймальних допусків  $T_{пр}$

З іншого боку, на виробництвах, що випускають особливо відповідальну продукцію, від якості якої залежить життя або безпека людини, неприпустима навіть мінімальна кількість дефектних деталей. Тоді необхідно вводити приймальний допуск.

У будь-якому випадку відносна похибка вибраних засобів вимірювання (КВП) не повинна перевищувати зазначеної у таблиці 2.1 для заданого в кресленні деталі класу точності.

#### **4 Загальні питання проектування точних механізмів**

При проектуванні нових механізмів насамперед установлюють їх схему і проводять кінематичний розрахунок, на основі якого визначають основні кінематичні параметри [1, 10].

На другій стадії проектування виконують силовий розрахунок та розрахунок на міцність, що дозволяє вибрати необхідні розміри деталей і їх матеріал, які забезпечать міцність і жорсткість конструкції, довговічність її роботи.

Для більшості конструкцій і, зокрема, КВП, необхідно проводити також і розрахунок на точність, за допомогою якого забезпечують задану точність роботи всього механізму.

У теорії точності механізмів розв'язуються дві основні задачі, з яких одна є прямою, а інша – зворотною [13].

**Пряма задача** полягає у визначенні раціональних параметрів проектованого механізму і вимог точності до окремих його деталей і вузлів на основі заданої точності роботи всього механізму.

Розв'язання цієї задачі становить значні труднощі, оскільки виходячи із службового призначення механізму і його сумарної точності потрібно вирішити питання: про допустимі відхилення розмірів усіх ланок, про допустимі відхилення форми поверхонь, про відхилення у відносному розміщенні цих поверхонь і вимоги до їх шорсткості. Пряма задача, як правило, розв'язується методом поступових наближень або шляхом накладення додаткових умов.

**Зворотна задача** полягає у розрахунку результативної точності механізму на основі розроблених конструктивних креслень і вимог точності до окремих ланок механізму.

Ця задача значно простіша, оскільки вона зводиться до підсумовування окремих складових похибок механізму і до визначення загальної неточності механізму, що розраховується.

#### **4.1 Функціональне призначення механізму**

Структура будь-якого технічного пристрою, у тому числі й КВП, визначається його функціональним призначенням (основною цільовою функцією). Структура може бути достатньо складною і для здійснення основної цільової функції в складному пристрої може бути декілька функціонально відокремлених блоків або вузлів, що мають специфічні – частинні цільові функції.

Аналіз існуючих технічних рішень КВП показав, що в їх конструкціях реалізуються такі частинні функції:

- а) установлення (зняття);
- б) базування;
- в) закріплення;
- г) позиціонування (координування);
- г) установлювальні і допоміжні переміщення;
- д) налагодження;
- е) об'єднання;
- є) зразкові переміщення;
- ж) приймання інформації (первинний вимірювальний перетворювач);
- з) передача і перетворення інформації;
- и) видача результатів вимірювання (відображення).

На рисунку 4.1 наведений приклад реалізації в КВП потоку частинних функцій.



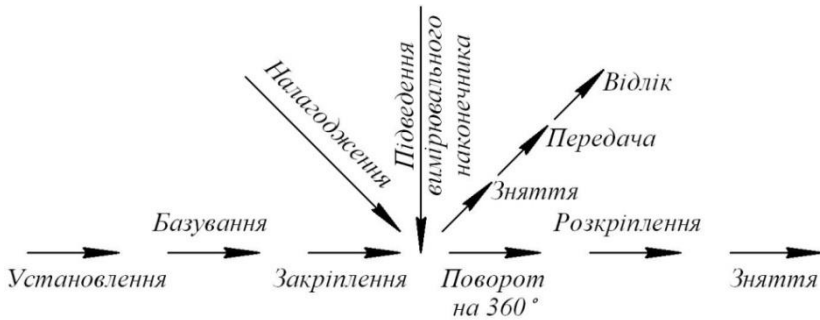


Рисунок 4.1 – Схема потоку частинних функцій, що реалізуються у КВП

Для виконання однієї і тієї самої цільової функції можна використовувати механізми, що мають різну внутрішню структуру. Тому для розроблення необхідно прийняти той варіант механізму, який дозволить отримати якнайкращі експлуатаційні, конструктивно-технологічні та економічні показники.

**Експлуатаційні показники** визначають якість виконання цільової функції упродовж усього терміну експлуатації механізму: похибки параметрів механізму, ККД, надійність, простоту керування і обслуговування, ремонтпридатність, габарити і масу.

**Конструктивно-технологічні показники** – захищеність від зовнішніх механічних і кліматичних дій, тобто від впливу навколишнього середовища, що заважає нормальному функціонуванню механізму, конструктивна досконалість, технологічність.

**Економічні показники** – вартість розроблення, виготовлення та експлуатації конструкції механізму КВП.

## 4.2 Умови роботи механізмів у КВП

Під час роботи у КВП механізми піддаються різноманітним діям довкілля, характер яких залежить від стану робочого об'єму, в якому механізм розміщений [20].

Такими діями є: *механічні* – дії, що представляють зовнішні силові чинники (удари, вібрації, прискорення тощо); *кліматичні* – дії, що характеризують мікроклімат об'єму (температуру, вологість тиск, радіації різного вигляду тощо).

Зазначені збурення порушують функціонування механізму і всього КВП, змінюють робочі параметри, які відхиляють останні від номінальних. Досконалий механізм повинен виконувати свою функцію, незважаючи на наявність збурювальних чинників, тобто відхилення його параметрів від номінальних повинні знаходитися в допустимих межах.

У той самий час значення параметрів, що характеризують зовнішні дії, можуть змінюватися у значних межах. Навіть під час роботи у звичайній земній атмосфері перепади температури і тиску навколишнього повітря є достатньо значними, а якщо КВП установлений на рухомих об'єктах – наземному, повітряному або водному транспорті, механічні дії на нього є достатньо великими.

Так, наприклад, на КВП, що входять до складу наземної апаратури може впливати вібрація з частотою від 2 до 120 Гц, з прискоренням до 6g, ударні навантаження до 120g, під час роботи в умовах тропіків – вологість може досягати до 100 % при температурі до 50 °С. У цілому в умовах нашої планети змінення температури повітря коливається у межах від -80 до +65 °С.

Якщо ж КВП установлені на водних кораблях, то вони додатково піддаються дії вітру зі швидкістю до 50 м/с,

водяних бризок, туману тощо. Ще важчі умови роботи авіаційної техніки: частота до 1000 Гц, прискорення до 10g, ударні імпульси до 35g тощо.

Зупинимося докладніше на цих механічних і кліматичних діях.

### ***Механічні дії***

Дія ***лінійних прискорень*** призводить до появи додаткових динамічних навантажень, пропорційних масі деталей і величині цих прискорень. Ці навантаження впливають на міцність конструкції і в несприятливих випадках підсумовуються з робочими навантаженнями. Тому міцність деталей в небезпечних перерізах повинна бути розрахована з урахуванням додаткової напруги, що виникає при цьому. За наявності неврайонованих мас унаслідок дії лінійних прискорень з'являються додаткові зусилля, що вимагає додаткового запасу міцності.

***Вібраційні навантаження***, як правило, за абсолютною величиною значно менші від лінійних, проте їх дія має особливість, що є наслідком періодичного знакозмінного прикладення зусиль. У пружних системах вібраційні дії можуть викликати резонансні явища – збільшення амплітуди коливань і, як наслідок, перевантажень, аж до руйнування деталей. Резонанс настає за умови збігу частот власних коливань КВП і зовнішньої дії. Тому в КВП захист від вібрацій виконує система амортизації – спеціальні пружні елементи, що зменшують ефект цієї дії.

Вібрації ослаблюють сили тертя у з'єднаннях і вузлах, що труться, а це призводить до порушення цілісності з'єднань з гарантованим натягом і різьбових з'єднань. Тому для запобігання відгвинчуванню в таких конструкціях необхідно передбачати стопоріння цих з'єднань. Вібрації не змінюють величини робочих навантажень, оскільки вони є знакозмінними, а час роботи

привода, як правило, більше від напівперіоду вібраційних навантажень.

В умовах вібраційних відносних зсувів поверхонь може з'явитися особливий вид їх руйнування – фретинг-корозія. Сприятливі умови для фретингу спостерігаються у рухомих з'єднаннях – підшипниках кочення, кулькових і роликових напрямних, кулачкових, зубчастих та інших механізмах КВП. Інтенсивність руйнування залежить від низки чинників: зовнішніх зусиль, хімічної активності доквілля, природи контактуючих матеріалів, властивостей продуктів зношення тощо.

**Ударні дії** можуть призвести до руйнування деталей від ударних перевантажень, якщо останні більші, ніж ті, на які ці деталі розраховані. Захист від ударних перевантажень забезпечується в КВП спеціальною протиударною амортизацією.

#### ***Кліматичні дії***

**Змінення температури** деталей пов'язане з їх температурними деформаціями. Дуже часто окремі деталі КВП вироблені з різних матеріалів, які мають різні коефіцієнти лінійного розширення, що приводить до взаємного зсуву деталей і вузлів механізму КВП. Зазори, які необхідні для нормального функціонування механізму, змінюються, що позначається на його працездатності. Збільшення зазорів може призвести до появи неприпустимих «мертвих» ходів (люфтів), порушенню робочих ходів і моментів спрацьовування різних пристроїв тощо. Зменшення зазорів може призвести до заклинювання кінематичних пар, до збільшення втрат енергії і неприпустимого зносу.

У неметалічних матеріалів під впливом температури змінюються твердість, модуль пружності та інші фізичні характеристики, при цьому, як правило, знижується і міцність.

Особливо великі наслідки має контактна корозія, як результат появи різниці потенціалів. У вологій атмосфері необхідно уникати контакту матеріалів із різними контактними потенціалами, наприклад, сплави алюмінію із сплавами міді або неіржавіючою сталлю.

Вбираючи вологу, багато пластмас змінюють свої властивості і розміри. Тому захист їх від дії вологи частіше виконують за допомогою різних покриттів – хімічних і лакофарбових.

**Змінення тиску** зовнішнього середовища не позначається безпосередньо на роботі деталей, проте за наявності в КВП герметично закритих об'ємів через перепад тиску можуть виникнути додаткові навантаження на його елементи.

Таким чином, під час проектування КВП необхідно враховувати достатньо велику кількість чинників.

### **4.3 Проектування механізму із заданою цільовою функцією**

Проектування є найважливішою ланкою в комплексі заходів щодо створення кожного нового технічного пристрою КВП, це розроблення основних показників КВП і шляхів їх реалізації.

Процес проектування КВП передбачає:

- а) вибір структурної схеми;
- б) розроблення схем кінематичних ланцюгів;
- в) розрахування основних характеристик;
- г) розроблення конструкції;
- г) випуск технічної документації;
- д) визначення технології виробництва;
- е) вибір методів набуття кількісних значень основних параметрів КВП після його виготовлення;
- е) розроблення інструкцій з експлуатації та ремонту.

Проектування КВП проводять спочатку на структурно-кінематичному рівні, а потім – на конструкторсько-технологічному.

*Перший рівень* – це синтез механізму із структурно-кінематичними ознаками, які відповідають заданим з необхідною точністю. Структурні ознаки механізму: *зовнішні* – кількість ступенів рухомості та кількість забезпечуваних механізмом зв'язаних один з одним переміщень зовнішніх об'єктів, *внутрішні* – склад механізму, тобто внутрішня структура.

Зовнішні структурні ознаки, як правило, задані або визначаються характером основної цільової функції.

Внутрішня структура КВП – кількість ланок кінематичних пар і ступінь рухомості останніх.

Кінематичні властивості проектованого механізму визначаються його геометричними характеристиками, тобто залежностями, що зв'язують параметри руху ланок на вході в механізм і на виході з нього.

Кінцевою метою структурно-кінематичного синтезу є створення схеми КВП, яка відтворює його геометричні характеристики із заданою точністю.

У багатьох випадках геометричні характеристики існуючих механізмів підходять для здійснення основної цільової функції проектованого механізму КВП. Тоді під час проектування на структурно-кінематичному рівні схема існуючого механізму може бути лише модифікованою щодо конкретного завдання виконання основної цільової функції.

Бувають і випадки, коли структурно-кінематичні ознаки існуючих механізмів можуть не повністю задовольняти вимоги, що ставляться до знову проектованого КВП: наприклад, за необхідності розширення діапазону змінення будь-якого параметра. У цьому випадку можливе комбінування структурно-

елементарних механізмів (є ще структурно-складні механізми, що складаються з декількох структурно-елементарних механізмів), що дозволяють розширити кінематичні або структурні їх можливості. Так, наприклад, комбінуючи зубчастий і важільний механізми (зубчасто-важільні індикатори), можна отримати диференціальний механізм із декількома ведучими ланками або істотно розширити діапазон змінення передавального відношення тощо.

Звичайно в реальному житті виникають ситуації, коли жодна з існуючих структурно-кінематичних схем не має потрібних характеристик. У цьому випадку необхідний синтез принципово нового механізму КВП.

Можливості сучасних ЕОМ дозволяють уже зараз не лише в проектному режимі оптимізувати параметри відомої кінематичної схеми, а й синтезувати структуру нового механізму.

#### **4.4 Конструювання механізму із заданими геометричними характеристиками**

*Другий рівень* конструювання механізму КВП – це проектування на конструкторсько-технологічному рівні, тобто процес розроблення технічних шляхів реалізації структури і кінематичних зв'язків механізму, як внутрішніх, так і зовнішніх, у вигляді системи взаємодіючих ланок – деталей і вузлів, що виконують основну цільову функцію КВП. Результатом конструювання є комплект конструкторської і технологічної документації, що забезпечує виготовлення реального механізму КВП.

Конструктивні і технологічні параметри механізму тісно пов'язані один з одним – під час проектування конфігурація деталей і вибір матеріалу значною мірою

визначають характер технологічного процесу, причому іноді потрібне розроблення зовсім нових технологічних методів отримання деталей і складання вузлів. У той самий час можливості нових технологічних процесів дозволяють інакше підійти і до конструювання деталей. Наприклад, розроблення лазерного методу обробки металів дозволило виготовляти деталі, отримання яких раніше вважалося принципово неможливим.

Під час конструювання механізму структурні і кінематичні ознаки повинні бути реалізовані в його конструкції, тобто конструктивне оформлення, перш за все кінематичних пар, повинно відповідати їх кінематичним характеристикам.

Недотримання цієї вимоги призводить до виникнення в механізмі надмірних зв'язків і, як наслідок, до появи в кінематичних парах внутрішніх зусиль, що викликають прискорене зношення, зниження ККД тощо.

Механізми без надмірних зв'язків завжди статично визначені, тобто зусилля в них можна розрахувати за допомогою рівнянь статички. У таких механізмах змінення розмірів ланок, що викликаються виробничими похибками, не впливає на величину реакцій у кінематичних парах, а отже, не зменшують його надійності. Тому конструювати потрібно так, щоб реальний механізм КВП був статично визначеним, тобто раціональним [1, 10].

Сформуємо основні положення методу конструювання *раціональних механізмів*:

а) ступінь рухомості ланки визначається числом точок контакту, тобто числом опор; по прямій не може знаходитися більше двох опор, на площині або сферичній поверхні – не більше 3, на будь-якій іншій – не більше 4. Будь-яка точка опори повинна позбавляти ланку одного ступеня рухомості;



б) характер рухомості ланки (обертання або поступальна хода) визначається числом точок контакту і розташуванням відносно них контактних поверхонь;

в) відстані між точками контакту повинні бути максимальними;

г) нормалі до опорних поверхонь у точках контакту повинні збігатися з напрямом зусилля, переміщення від якого обмежується;

г) розміри опорних площин повинні бути мінімальними;

д) відносно переміщення поверхонь у кінематичних парах бажано здійснювати за допомогою тертя кочення або пружності;

е) необхідно зменшувати масу рухомих деталей;

е) необхідно уникати застосування нижчих пар;

ж) необхідно вибирати механізми з найменшою можливою кількістю кінематичних пар у ланцюзі;

з) шорсткість поверхонь не повинна перевищувати (0,16–0,04) мкм за критерієм  $R_a$ ;

и) у кінематичних парах необхідно підбирати матеріали з найменшим коефіцієнтом тертя.

Зазначені положення легко здійснити у механізмах КВП, де передаються незначні зусилля.

Техніко-економічні показники розроблюваної конструкції залежать від її конструктивної спадкоємності, тобто доцільного використання уніфікованих, нормалізованих і стандартизованих виробів, а також від того, наскільки широко застосовуються під час її створення методи автоматизованого проектування за допомогою ЕОМ. Уже зараз широко використовують системи УТК (уніфікованих типових конструкцій).

## **4.5 Характеристики конструктивної якості та економічної ефективності проектного КВП**

Під час створення будь-якого пристрою необхідно прагнути до отримання його техніко-економічної ефективності. Це означає, що конструкція повинна бути оптимальною, а витрати засобів на проектування, виготовлення та експлуатацію – мінімальними. Тому дуже важливо мати критерії оцінювання технічної і економічної досконалості створюваного КВП, причому ці критерії повинні бути кількісними, тобто такими, що дають можливість об'єктивно оцінити якість виробу, порівняти його з тими, що існують і вибрати перспективні напрями конструювання.

Оцінювання ступеня конструктивної досконалості механізмів, як правило, проводять за допомогою частинних критеріїв якості, таких як питома потужність для силових механізмів, точність – для кінематичних, довговічність, надійність тощо.

Ці критерії не є універсальними, оскільки відображають лише будь-який один якісний бік характеризуваного ними КВП. Для об'єктивного оцінювання конструктивної досконалості механізмів потрібний комплексний критерій якості, що дозволяє враховувати більшість конструктивних характеристик механізму, універсальний і не залежний від конкретних значень потужності, моментів, швидкостей та інших частинних параметрів. Таким критерієм повинен бути показник, що відображає виконання будовою КВП основної цільової функції, до складу якого входять найбільш важливі параметри якості, які пов'язані з частинними цільовими функціями КВП.

Такими критеріями можуть бути:

- а) параметри, що пов'язані з потужністю і розмірами:
  - 1) момент на вихідній ланці;
  - 2) кутова швидкість вихідної ланки;
  - 3) характерний розмір механізму;
  - 4) модуль пружності матеріалу, з якого виготовлені ланки КВП;
- б) показники надійності:
  - 1) технічний ресурс;
  - 2) ймовірність безвідмовної роботи;
- в) показники точності:
  - 1) кінематична похибка;
  - 2) «мертвий» хід;
- г) показники використання несучої здатності матеріалів:
  - 1) значень діючих нормальних, дотичних і контактних напружень;
  - 2) значень допустимих нормальних, дотичних і контактних напружень;
- г) показники технологічної досконалості конструкції.

Із першої групи величин і технічного ресурсу утворюється безрозмірний критерій – коефіцієнт використання об'єму.

Для урахування інерційних властивостей КВП вводять момент інерції, що приведений до ведучої ланки. Якщо важливо оцінити масові характеристики КВП, то вводять коефіцієнт використання маси.

Очевидно, що якість механізму КВП тим вища, чим більша за інших рівних умов потужність на вихідній ланці і технічний ресурс, а також чим менший об'єм, який займає КВП, і модуль пружності матеріалу (корпус КВП бажано виготовляти з легких сплавів або пластмас).

Точність механізму характеризується коефіцієнтом кінематичної точності, і чим менші похибки КВП, тим вище його якість.

Значення діючих і допустимих напружень визначають коефіцієнт використання несучої здатності матеріалу. Якість механізму тим вища, чим повніше використовується несуча здатність матеріалів.

Технологічна досконалість конструкції може бути виражена комплексним показником – коефіцієнтом технологічності, що враховує частинні коефіцієнти, такі як трудомісткість виготовлення, технологічна собівартість КВП, уніфікація його деталей і вузлів, стандартизація складових частин КВП і т. ін.

Остаточний вираз для комплексного критерію техніко-економічної досконалості КВП можна отримати, об'єднавши усі частинні критерії якості, які були наведені раніше.

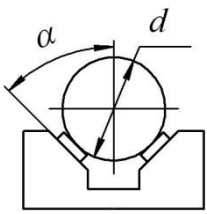
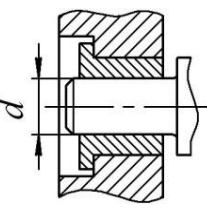
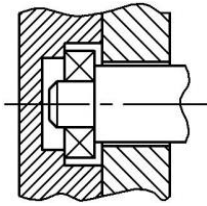
Кінцевим показником техніко-економічної досконалості конструкції є витрати коштів на виконання головної цільової фікції, тобто вартість створення та експлуатації пристрою, що забезпечує задані параметри процесу.

Розглянемо приклад експертного оцінювання ступеня конструктивної досконалості декількох видів напрямних обертального руху. При цьому за умовну оцінку якості беремо вищий бал, який відповідає найменшій похибці, найбільш високій зносостійкості тощо (див. табл. 4.1).

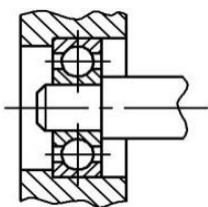
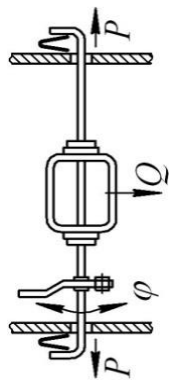
## **4.6 Етапи створення конструкції КВП**

Специфіка створення механізму полягає у тому, що саме існування його конструктивних елементів, взаємодія ланок, їх механічне переміщення складає суть виконання основної цільової функції – перетворення і передачі руху. Тому конструювання механізму починається практично одночасно з проектуванням, органічно з ним об'єднуючись.

Таблиця 4.1 – Характеристики напрямних обертального руху

Найменування	Конструкція	Критерії експертної оцінки якості							
		точність збереження положення осі обертання	втрата на тертя	нечутливість до зміння температури	здатність до навантаження	стійкість до зношення	вартість	фактор швидкості	габаритні розміри
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
<b>Ковзання, циліндричні, радіальні</b>									
На призмах		4	2	5	2	1	5	1	2
Із малим зазором, припрацьовані		3	4	3	5	3	4	3	4
<b>Ковзання, спеціальні</b>									
Аеродинамічні, гідродинамічні		3	5	5	2	5	1	5	1

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Кочення, шарикопідшипники</b>									
Радіальні одно- рядні		3	4	2	4	4	4	5	1
<b>Опору пружності</b>									
На роз- тяж- ках		5	5	5	2	5	4	5	5

Кінцевим результатом конструювання є випуск конструкторської документації – комплекту графічних і текстових документів, що визначають склад і будову механізму КВП, містять необхідні дані для його виготовлення та експлуатації відповідно до стандартів ЄСКД.

Стандарт [7] визначає такі стадії та етапи розроблення конструкторської документації.

Початковим документом для створення будь-якого пристрою є *технічне завдання*, яке встановлює основне

призначення, характеристики, показники якості і техніко-економічні вимоги, що ставляться до КВП, виконання необхідних стадій розроблення конструкторської документації та її склад.

Першим етапом проектування є **технічна пропозиція** – сукупність конструкторських документів, що містять технічне і техніко-економічне обґрунтування доцільності розроблення КВП і різних можливих його рішень. Технічна пропозиція викладається у **відомості технічної пропозиції** і **пояснювальній записці**. Крім того, можуть бути подані креслення загального вигляду, габаритне креслення, схеми, таблиці, патентний формуляр і карта технічного рівня і якості майбутнього виробу.

На основі технічної пропозиції розробляється **ескізний проект** – сукупність конструкторських документів, які містять принципові конструктивні рішення, що надають загальне уявлення про будову та принцип роботи КВП, а також дані, що визначають його призначення, основні параметри і габаритні розміри. Обов'язкові документи – **відомість ескізного проекту** і **пояснювальна записка**. Крім того, для проєктованих конструкцій механізмів також необхідні розроблення креслень загального вигляду, теоретичних і габаритних креслень, кінематичної схеми, таблиць, розрахунків, програми і методики випробувань тощо.

Ескізний проект є підставою для розроблення **технічного проекту** – сукупності конструкторських документів, які містять остаточні технічні рішення, що дають повне уявлення про будову КВП і початкові дані для розроблення **робочої документації**. Обов'язкові документи – **креслення загального вигляду, відомість технічного проекту** і **пояснювальна записка**. Крім того, можуть бути розроблені теоретичні і габаритні креслення, схеми, креслення основних деталей тощо.

Після узгодження і затвердження технічного проекту розробляють ***робочу конструкторську документацію*** – специфікації складальних креслень і креслень деталей, їх розрахунки, таблиці та інші документи.



## Список використаної літератури

1. Вopilкин Е. А. Расчет и конструирование механизмов приборов и систем / Е. А. Вopilкин. – М. : Высшая школа, 1980. – 463 с.
2. Выбор точности контрольных приспособлений. Методические указания к выполнению курсового и дипломного проекта / сост.: Е. Ф. Никадимов, Э. Г. Грановский, О. Н. Деев. – М. : Ротопринт МВТУ, 1979. – 36 с.
3. Гипп Б. А. Контрольные приспособления / Б. А. Гипп и др. – М. : Машгиз, 1960. – 340 с.
4. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйш. школа, 1983. – 256 с.
5. Городецкий Ю. Г. Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов / Ю. Г. Городецкий. – М. : Машиностроение, 1971. – 376 с.
6. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
7. ГОСТ 2.103-68. ЕСКД. Стадии разработки.
8. Гостев В. И. Методы управления качеством продукции / В. И. Гостев. – М. : Машиностроение, 1980. – 262 с.
9. Данильченко В. П. Метрологическое обеспечение промышленного производства : справочник / В. П. Данильченко, Р. А. Егошин; под ред. В. П. Данильченко. – К. : Техника, 1982. – 151 с.
10. Уваров Б. М. Детали и механизмы приборов : справочник / Б. М. Уваров, В. А. Бойко, В. Б. Подаревский; под ред. П. П. Орнатского. – К. : Техника, 1978. – 368 с.
11. Дунаев И. М. Организация проектирования системы технического контроля / И. М. Дунаев,

Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – М. : Машиностроение, 1981. – 191 с.

12. Иванов А. Г. Измерительные приборы в машиностроении / А. Г. Иванов и др.; под ред. Г. Д. Бурдуна и Б. А. Тайца. – М. : Машиностроение, 1964. – 524 с.

13. Коротков В. П. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств / В. П. Коротков, Б. А. Тайц. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 352 с.

14. Марков Н. Н. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов / Н. Н. Марков, Г. М. Ганевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 416 с.

15. Проненко В. И. Метрология в промышленности / В. И. Проненко, Р. В. Якирин – К. : Техника, 1979. – 222 с.

16. Средства для линейных измерений / Б. М. Сорочкин, Ю. З. Тененбаум, А. П. Курочкин, Ю. Д. Виноградов – Л. : Машиностроение, 1978. – 264 с.

17. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения / А. Н. Виноградов и др. ; под ред. А. И. Якушева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 527 с.

18. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.

19. Точность и производственный контроль в машиностроении : справочник / И. И. Балонкина, А. К. Кутай, Б. М. Сорочкин, Б. А. Тайц; под ред. А. К. Кутая, Б. М. Сорочкина. – Л. : Машиностроение, 1983. – 368 с.

20. Цейтлин Я. М. Нормальные условия измерений в машиностроении / Я. М. Цейтлин – Л. : Машиностроение, 1981. – 224 с.

Навчальне видання

**Євтухов Віталій Геннадійович,  
Євтухов Артем Віталійович**

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ  
КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ**

**Навчальний посібник**

Художнє оформлення обкладинки А. В. Євтухова  
Редактор С. М. Симоненко  
Комп'ютерне верстання В. Г. Євтухова, А. В. Євтухова

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 8,14. Обл.-вид. арк. 6,32. Тираж 300 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.