

Л.Й. Івченко, В.В. Петрикін, С.І. Дядя, Б.М. Левченко

Взаємозамінність, стандартизація та метрологічне забезпечення технічних вимірювань

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний
посібник для студентів вищих навчальних закладів

Видавничий комплекс ОАО «Мотор Січ»
М. Запоріжжя
2010р.

УДК 621-182.8 (075.8)

ББК 34 ц

I -35

Затверджено Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, (лист № 1/11-7788 від 13.08.10)

Рецензенти:

Равська Н.С. – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри інтегрованих технологій машинобудування Національного технічного університету України «КПІ», м. Київ.

Кудрін А.П. – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри технології відновлення авіаційної техніки Національного авіаційного університету, м. Київ.

I-35 Івченко Л.Й та інш.

Івченко Л.Й. Взаємозамінність, стандартизація та метрологічне забезпечення технічних вимірювань: навч. посібник [для вищих навчальних закладів]/Л.Й. Івченко, В.В. Петрикін, С.І. Дядя, Б.М. Левченко; під заг. ред. Л.Й.Івченка – Запоріжжя, Вид. комплекс ВАТ «Мотор Січ», 2010 - 451 с.

У навчальному посібнику наведені основні принципи, які забезпечують взаємозамінність циліндричних, конічних, нарізних, зубчастих, шліцьових, шпонкових з'єднань. Показані методи розрахунку розмірних ланцюгів, а також правила нормування шорсткості та відхилень форми і розташування поверхонь. Викладено матеріали зі стандартизації, керування якістю, вибору засобів, технічних вимірювань та їх метрологічного забезпечення.

Розраховано на студентів вищих навчальних закладів машинобудівних спеціальностей. Посібник може бути корисним для спеціалістів при конструюванні і виробництві промислових виробів.

© Л.Й.Івченко, В.В. Петрикін, С.І. Дядя, Б.М. Левченко.
2010

© ЗНТУ, оригінал-макет, 2010

© Вид. комплекс ВАТ «Мотор Січ»

ISBN 966-87-2

Навчальне видання

Іщенко Леонід Йосипович, Петрикін Володимир Васильович,
Дядя Сергій Іванович, Левченко Борис Миколайович

**Взаємозамінність, стандартизація
та метрологічне забезпечення технічних вимірювань**

Підручник

Підписано до друку

ЗМІСТ

Вступ.....		9
1	Державна система стандартизації України.....	11
1.1	Стисла історія розвитку стандартизації.....	15
1.2	Мета, принципи та основні завдання стандартизації...	18
1.3	Об'єкти стандартизації	20
1.4	Принципи стандартизації	21
1.5	Види стандартів	26
1.6	Нормативні документи та категорії нормативних документів зі стандартизації.....	28
1.7	Організація робіт зі стандартизації.....	33
1.8	Стандартизація параметричних рядів машин.....	34
1.9	Класифікація параметрів машин.....	41
1.10	Методи стандартизації.....	42
1.11	Агрегування машин і інших виробів.....	46
1.12	Комплексна і випереджувальна стандартизація.....	48
1.13	Міжнародна стандартизація.....	51
1.14	Техніко-економічне обґрунтування уніфікації і стандартизації.....	55
1.15	Класифікація і кодування деталей і складальних одиниць загальномашинобудівного застосування.....	61
1.16	Основні напрями комплексної стандартизації деталей і складальних одиниць.....	78
Контрольні питання до розділу 1		82
2	Основні поняття про взаємозамінність і системи допусків і посадок.....	84
2.1	Поняття про взаємозамінність і її види.....	84
2.2	Основні терміни і визначення.....	87
2.3	Система допусків і посадок.....	94
2.4	Утворення і позначення полів допусків і посадок на кресленнях.....	105
2.5	Принципи і методи вибору допусків та посадок.....	107
2.5.1	Розрахунок посадок із зазором.....	108
2.5.2	Розрахунок перехідних посадок.....	117
2.5.3	Розрахунок посадок з натягом.....	123
Контрольні питання до розділів 2.1 – 2.5.....		128

2.6	Методи і засоби контролю деталей ГЦС. Калібри гладкі для розмірів від 1 до 500 мм	129
2.6.1	Калібри.....	131
	Контрольні питання до розділу 2.6.....	139
2.7	Система допусків і посадок для підшипників кочення.....	140
2.7.1	Розташування полів допусків приєднувальних розмірів.....	143
2.7.2	Вибір посадок у корпус і на вал.....	144
	Контрольні питання до розділу 2.7.....	149
2.8	Взаємозамінність, методи і засоби контролю нарізних з'єднань	150
2.8.1	Основні параметри і коротка характеристика кріпильних циліндричних різей.....	151
2.8.2	Загальні принципи забезпечення взаємозамінності циліндричних різей.....	154
2.8.3	Система допусків і посадок різей із зазором.....	160
2.8.4	Система допусків і посадок різей з натягом.....	166
2.8.5	Система допусків і посадок для перехідних нарізних з'єднань.....	171
2.8.6	Система допусків і посадок трапецеїдальних і упорних різей (кінематичних різей).....	176
	Контрольні питання до розділу 2.8.....	185
2.9	Взаємозамінність, методи і засоби контролю шпонкових і шліцевих з'єднань.....	186
2.9.1	Допуски і посадки в призматичних шпонкових з'єднаннях.....	188
2.9.2	Допуски і посадки в з'єднаннях за допомогою сегментних шпонок.....	191
2.9.3	Допуски і посадки в клинових і тангенціальних шпонкових з'єднаннях.....	192
2.9.4	Контроль шпонкових з'єднань.....	193
2.9.5	Класифікація шліцевих з'єднань.....	195
2.9.6	Допуски і посадки шліцевих з'єднань з прямобічним профілем.....	195
2.9.7	Допуски і посадки шліцевих з'єднань з евольвентним профілем.....	200
2.9.8	Шліцеві з'єднання з трикутним профілем.....	208

2.9.9	Контроль точності шліцевих з'єднань.....	208
	Контрольні питання до розділу 2.9.....	209
2.10	Взаємозамінність, методи і засоби контролю зубчастих коліс.....	209
2.10.1	Основні експлуатаційні та точнісні вимоги до зубчастих коліс.....	209
2.10.2	Норми кінематичної точності.....	211
2.10.3	Норма плавності роботи.....	217
2.10.4	Норма контакту зубів.....	223
2.10.5	Види спряження зубів коліс у передачі.....	228
2.10.6	Допуски зубчастих конічних коліс.....	240
2.10.7	Допуски черв'ячних циліндричних передач.....	242
2.10.8	Методи і засоби контролю зубчастих коліс і передач.....	243
	Контрольні питання до розділу 2.10.....	244
2.11	Допуски та відхилення форми, розташування і шорсткість поверхонь.....	245
2.11.1	Загальні відомості.....	245
2.11.2	Класифікація відхилень геометричних параметрів деталей.....	246
2.11.3	Відхилення і допуски форми.....	249
2.11.4	Відхилення форми циліндричних поверхонь.....	249
2.11.5	Відхилення і допуски форми плоских поверхонь.....	252
2.11.6	Відхилення і допуски розташування поверхонь.....	255
2.11.7	Сумарні відхилення (допуск) форми та розташування	260
2.11.8	Залежний і незалежний допуски розташування поверхонь деталей.....	264
2.11.9	Позначення на кресленнях допусків форми та розташування поверхонь деталей.....	266
2.11.10	Числові значення допусків форми і розташування поверхонь.....	276
2.11.11	Хвилястість поверхонь.....	277
2.11.12	Шорсткість поверхонь.....	278
2.11.12.1	Загальні поняття та параметри шорсткості.....	278
2.11.12.2	Вибір параметрів шорсткості.....	281
2.11.12.3	Позначення шорсткості поверхні.....	283
2.11.12.4	Методи та засоби контролю шорсткості поверхонь...	289

Контрольні питання до розділу 2.11.....	296
2.12 Розрахунок допусків розмірів, що входять у розмірний ланцюг.....	297
2.12.1 Класифікація розмірних ланцюгів.....	298
2.12.2 Послідовність розрахунку розмірних ланцюгів.....	300
2.12.3 Метод повної взаємозамінності.....	303
2.12.4 Теоретико-імовірнісний метод розрахунку розмірних ланцюгів.....	315
2.12.5 Метод групової взаємозамінності. Селективна збірка.....	322
2.12.6 Метод регулювання.....	326
2.12.7 Метод припасування.....	330
2.12.8 Розрахунок плоских і просторових розмірних ланцюгів.....	331
Контрольні питання до розділу 2.12.....	334
2.13 Кутові розміри і гладкі конічні з'єднання.....	334
2.13.1 Нормальні ряди і розміри кутів.....	334
2.13.2 Допуски куткових розмірів.....	335
2.13.3 Система допусків і посадок конічних з'єднань.....	338
2.13.4 Система допусків інструментальних конусів.....	339
Контрольні питання до розділу 2.13.....	340
3 Метрологія і технічні вимірювання.....	341
3.1 Короткі відомості з історії розвитку вимірювання і метрології.....	342
3.2 Міжнародна система одиниць.....	347
3.3 Державний метрологічний нагляд.....	348
3.4 Основні відомості про вимірювання фізичних величин.....	350
3.4.1 Вимірювання фізичних величин.....	351
3.4.2 Методи вимірювання.....	355
3.4.3 Засоби вимірювання.....	356
3.4.4 Похибки вимірювань.....	357
3.5 Вимірювання геометричних розмірів.....	370
3.5.1 Механічні засоби вимірювання довжини.....	371
3.5.1.1 Штангенінструменти.....	372
3.5.1.2 Мікрометричні інструменти.....	374
3.5.1.3 Індикатори годинникового типу.....	375
3.5.2 Оптико - механічні засоби вимірювання довжини.....	376

3.5.3	Засоби і методи вимірювання кутів.....	377
3.5.4	Вимірювання шорсткості поверхні.....	379
	Контрольні питання до розділу 3.....	385
4	Управління якістю продукції.....	386
4.1	Поняття про якість продукції.....	387
4.2	Показники якості продукції.....	388
4.3	Рівень якості продукції.....	398
4.4	Методи оцінювання рівня якості продукції.....	401
4.5	Класифікація видів контролю якості.....	406
4.6	Статистичні методи контролю та управління якістю продукції.....	411
4.7	Засоби контролю якості продукції.....	418
4.8	Система менеджменту якістю, її принципи і функції..	424
4.9	Сертифікація.....	430
	Контрольні питання до розділу 4.....	437
	Література.....	439
	Предметний покажчик.....	442
	Іменний покажчик.....	451

ВСТУП

Необхідність підготовки фахівців у галузі машинобудування і механіки в кінці XVIII століття спричинила формування вчення про побудову машин. Надалі з вчення про побудову машин виділяються такі самостійні напрямки як технічна механіка, прикладна механіка, деталі машин. На сьогодні в машинобудуванні склався цикл наукових і навчальних дисциплін, де поряд з теорією механізмів і машин, науками про опір матеріалів і про деталі машин видне місце займає наука про взаємозамінність, метрологію і технічні вимірювання.

Вказані дисципліни взаємно доповнюють одне одного. У першій з них розглядається класифікація механізмів, кінематика і динаміка їх руху, сили тертя; у другій – основи розрахунку на міцність і жорсткість елементів інженерних конструкцій; у третій – методи конструювання і розрахунку деталей машин за такими критеріями працездатності, як зносостійкість і надійність; у четвертій – вимоги до характеру типових з'єднань і розрахунково-дослідного обґрунтування точності їх виконання на основі експлуатаційного призначення механізму з урахуванням міжнародних систем допусків і посадок, метрологічного забезпечення якості продукції.

Для інженерно-технічних працівників усіх галузей промислового виробництва, особливо для машинобудівників, знання з міжгалузевої науки про стандартизацію, її наукові основи, методика і завдання стандартизації, як і практичні навички з технічних вимірювань, є необхідною складовою частиною їх підготовки.

Кожен технічний працівник, пов'язаний з конструкторськими розробками, розробкою технологічних процесів, обробкою, складанням, експлуатацією, контролем, зберіганням, повинен добре знати структуру побудови міжнародних, державних, галузевих і інших стандартів. Ці знання необхідні для технічного і економічного обґрунтування призначення точності, для технічного нормування і забезпечення заданих експлуатаційних характеристик виробів.

Комплекс глибоких знань і певних навичок у галузі забезпечення якості виробів, особливо з використанням процесів оптимізації параметрів і вимог до точності, метрологічного забезпечення і технічного контролю, стандартизації є необхідною

складовою частиною професійної підготовки фахівців з машинобудування і приладобудування.

Головним завданням стандартизації на сьогодні є створення прогресивної системи нормативно-технічної документації і її впровадження, використання її при розробці, виробництві і експлуатації продукції.

Вимоги, що встановлюються в державних стандартах, направлені на випуск найсучаснішої високоякісної продукції відповідної продукції, відповідної світовому рівню за всіма споживчими показниками: надійності і точності, матеріало- і енергоємності, трудомісткості, вимогам економіки і технічної естетики.

І ДЕРЖАВНА СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ

Образно про стандартизацію написав В. Маяковський:

Что гайка?
 Ерунда! Малость!
 А попробуй-ка
 езжай, ежели сломалась.
 Без этой вещи
 без гайки той –
 ни взад, ни вперед.
 Становись и стой!
 Наконец отыскали гайку эту...
 Прилаживают...
 Никакой возможности нету!...
 Эта мала, та велика, –
 словом,
 Не приладишь ее никак.
 И пошли пешком, как гуляки праздные.
 Отчего?
 Оттого что гайки разные.
 А если гайки одинаковые ввесь,
 сломалась –
 новая сейчас же есть.
 И ничего долго разыскивать тут,
 бери любую –
 Хоть эту, хоть ту!

«Залізна логіка» В.В. Маяковського не залишає сумнівів у необхідності стандартизації. Але може виникнути питання: чи не є стандарти перешкодою для творчої діяльності інженерів і робітників-новаторів? Ні, не є, оскільки вони систематично (через кожних 3-5 років) оновлюються з урахуванням перспективного розвитку науки і техніки, а також вимог міжнародних стандартів. «Дотримання стандарту є обов'язковою вимогою і його порушення переслідується законом».

Стандартизація – діяльність з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування в певній галузі за допомогою встановлення положень для загального багаторазового використання відносно реально існуючих або потенційних завдань.

Іншими словами, *стандартизація* – це наукове визначення мінімальної кількості вимог до об'єкту стандартизації для досягнення максимального ефекту. Зокрема ця діяльність виявляється в процесах проектування, видання і використання стандартів. Істотні вигоди від стандартизації полягають в тому, щоб підвищити відповідність продукції, процесів і послуг їх призначенню в торгівлі і допомозі в науково-технічній співпраці.

Об'єкт стандартизації – предмет (продукція, процес, послуга), що підлягає стандартизації.

Під поняттям «Об'єкт стандартизації» мається на увазі «продукція, процес або послуга», які однаково відносяться, наприклад, до матеріалів, компонентів, устаткування, правил, процедури, функції, методу або діяльності.

Без стандартів сучасна промисловість немислима. Рівень розвитку стандартизації характеризує не лише рівень розвитку промисловості, але й економічні показники цієї промисловості.

Між числом стандартів розроблених і вживаних в даній галузі, і їх коефіцієнтом корисної дії існує пряма залежність, більше стандартів – менше непотрібної роботи, менше витрата сировини, вище коефіцієнт корисної дії і інш.

Держстандарт України організовує і координує роботу зі стандартизації і функціонування державної системи стандартизації, встановлює спільні організаційно-технічні правила проведення робіт зі стандартизації, здійснює міжгалузеву координацію цих робіт, включаючи планування, розробку, видачу, поширення і використання державних стандартів, визначає порядок державної реєстрації нормативних документів і бере участь у проведенні заходів щодо міжнародної, регіональної стандартизації відповідно до міжнародних договорів України, організовує навчання і професійну підготовку фахівців у галузі стандартизації.

Стандарти повинні полегшити взаємне постачання продукції, в тому числі й складових частин механізмів і машин, підвищити її якісний рівень та конкурентоспроможність. Тому стандарти України (ДСТУ) не тільки орієнтуються на можливості свого виробництва, але

й узгоджуються з вимогами Міжнародної організації зі стандартизації (ISO).

Комплекс основоположних стандартів розроблено на заміну системи ДСТУ 1. «Державна система стандартизації...» та ряду інших, пов'язаних з нею нормативних документів.

Згідно із зазначеним комплексом, національна стандартизація повинна:

- мати затвержені правила про те, як розроблювати, схвалювати, приймати, переглядати, змінювати та скасовувати стандарти;

- застосовувати стандарти на добровільних засадах, якщо інше не встановлено законодавством і розроблювати їх за участі всіх зацікавлених сторін та приймати на основі консенсусу;

- розробляти національні стандарти на підставі відповідних міжнародних і регіональних стандартів або їх проектів на завершальній стадії, а доцільність розроблення національних стандартів, положення яких відрізняються від міжнародних, має бути зумовлено потребами захисту життя, здоров'я та майна людей, захисту тварин, рослин, охорони природного довкілля, кліматичними чи географічними чинниками або суттєвими технічними проблемами;

- створювати єдину систему забезпечування офіційною інформацією щодо програми робіт і чинних стандартів та самими стандартами — національний центр міжнародної інформаційної мережі ISONET WTO. Цей центр повинний також надавати повідомлення (нотифікації) щодо національних нормативних документів (стандартів, технічних умов, технічних регламентів, правив сертифікації тощо), які мають інші вимоги, ніж міжнародні. Інформація має бути доступна для всіх користувачів і надавати її треба за єдиними умовами сплати;

- відокремлювати адміністративні вимоги, наприклад, пов'язані з процедурою оцінювання відповідності, та інші нетехнічні вимоги від вимог щодо експлуатаційних чи технічних характеристик;

- мати єдиний національний орган, який представляє Україну в міжнародних організаціях зі стандартизації, а також брати активну участь у роботі цих організацій;

- зберігати документи, які стосуються розроблення стандартів.

З огляду на ці аспекти та наявність чинних настанов ISO/IEC, які деталізують чи встановлюють вимоги та правила виконання певних

робіт у сфері стандартизації, комплекс стандартів «Національна стандартизація» охоплює стандарти [1-12].

Згідно з міжнародною термінологією та Законом України «про стандартизацію», стандартизація, здійснювана на рівні однієї держави є національною, що відображено в її назві. Стандарти охоплюють основні положення щодо стандартизації. Відомості про побудову, оформлення та зміст стандартів, порядок розробки та затвердження державних стандартів, стандартів підприємств та технічних розумів.

Державна система стандартизації передбачає, що на території України діятимуть такі нормативні документи:

- міжнародний стандарт (ISO) – стандарт, прийнятий Міжнародною організацією зі стандартизації. Охоплює різні сторони виробничої та економічної діяльності, має, як правило, рекомендаційний характер;

- міждержавний стандарт (колишній ГОСТ) – стандарт, прийнятий країнами, що приєдналися до Угоди про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації. Це стандарти колишнього СРСР, які не втратили своєї актуальності або термін дії яких продовжений згідно з Угодою, прийнятою країнами СНД;

- державний стандарт України (ДСТУ) – національний стандарт, затверджений Держстандартом України; або в галузі будівництва – Мінбудархітектури України; обов'язковий для всіх організацій, що діють на території України;

- галузеві стандарти України (ГСТУ) – стандарти, які діють лише в певних, специфічних галузях промисловості (наприклад у гірничо-видобувній промисловості);

- стандарт науково-технічних та інших товариств (ОТТУ) - нормативний документ, який є обов'язковим для використання лише організаціями того чи іншого науково-технічного товариства. Як правило, розроблюється на дослідну або експериментальну продукцію;

- технічні умови України (ТУУ) - нормативні документи, що регулюють стосунки між постачальником і споживачем (замовником) продукції, якщо відсутні державні чи галузеві стандарти;

- стандарти підприємств (СТП) - документи, які регулюють

організацію виробництва, технологічної документації, звітності, оформлення готової продукції в межах того чи іншого виробництва.

Позначення державного стандарту складається з індексу (ДСТУ), реєстраційного номера і відокремлені дві останні цифри – рік затвердження.

Приклад: ДСТУ 2500-94

Позначення стандарту, що входить до комплексу стандартів, складається з індексу, реєстраційного номера, перші цифри з крапкою якого визначають комплекс стандартів, а цифри, що стоять після крапки, є номером стандарту в даному комплексі, і відокремлені дві останні цифри - рік затвердження.

Приклад: ГОСТ 2.304-81, ГОСТ 8.523-85

Позначення галузевого стандарту складається з індексу (ГСТУ) умовного цифрового позначення міністерства (відомства), що затвердило стандарт, реєстраційного номера, присвоєного стандарту в порядку, встановленому в міністерстві (відомстві), і окремо дві останні цифри - рік затвердження. Допускається після цифрового позначення міністерства (відомства) перед реєстраційним номером стандарту наводити інші цифрові індекси, встановлені міністерствами (відомствами).

1.1 Стисла історія розвитку стандартизації

Історія розвитку стандартизації налічує декілька тисячоліть.

Стандартизація розвивалася паралельно з еволюцією цивілізації. Писемність, календарі, системи відліку, міри довжини, ваги, грошові одиниці – прояв стандартизації на перших етапах розвитку цивілізації.

Гігантські усипальні фараонів четвертої єгипетської династії – Хуфу (Хеопса і Хафрі (Хефрена)), споруджені у витоках єгипетської цивілізації, є могутніми спорудами країни та і всього світу. Висота – лише одна з характеристик піраміди – досягала 147 метрів, складена з 2,3 мільйонів ретельно оброблених глиб вапняку, кожен з яких вагою більше двох тонн, мали строго певну форму і розміри. Причому ці блоки підганялися так ретельно, що між ними неможливо було просунути навіть голку.

У Венеції в епоху Відродження (Венеція в XIV – XV століттях вважалася «владичицею морів», тобто потужною морською державою) будівництво кораблів було поставлене на потік. У вузький прямий канал опускався корпус корабля і в міру просування по каналу він оснащувався стандартними деталями, тобто будувалися стандартні кораблі, застосовуючи потокове виробництво з розподілом праці.

Відомо, що «водопровід створений ще рабами Риму». Проте водопроводи «працювали» не лише в Римі, а і в Давній Греції. Причому еллінські майстри робили стандартні труби з металу і прокладали їх під землею (майже як зараз) і витримували вони тиск до двадцяти атмосфер.

Древні греки і римляни робили й керамічні трубопроводи.

Російський цар Іван Грозний в 1555 році ввів «кружала» – стандартний калібр для контролю гарматних ядер.

У 1550-1560 роках російські будівельники застосували цеглину стандартної форми і розмірів – при будівництві храму Василя Блаженного в Москві з обмеженої кількості профілів цеглини робили багато всіляких з'єднань.

З 1636 року на місцевому ринку в Москві стояло багато будинків, частково зібраних, частково розібраних, які можна було купити, за невелику плату доставити на місце і протягом двох - трьох днів зібрати.

Виникнення промислової стандартизації в Росії відносять до початку XVIII століття, коли були опубліковані ряд указів Петра I про уніфікацію і якість в галузі озброєння і суднобудування.

У 1694 році, почавши підготовку до свого знаменитого Азовського походу, Петро I вирішив побудувати флот з 22 галер. Зразок такої галери був доставлений в село Преображенське під Москвою. Там по ньому зробили деталі, за якими на верфі у Воронежі була зібрана вся «Азовська флотилія». Це значне, як на той час, будівництво було типовим випадком серійного випуску стандартних суден.

Не менше уваги Петро I приділяв стандартизації озброєння російської армії, зокрема її артилерії. Він знищив строкатість типів знарядь. Відлили нові знаряддя трьох основних типів: гармати, мортири, гаубиці (їх калібри теж стали однаковими), які збереглися до наших днів.

Вперше принципи взаємозамінності, стандартизації були сформульовані в середині XVIII століття (1761 р.) в пам'ятній записці (інструкції) інженера Шувалова П.І. тульським збройарам.

Про високий технічний рівень тульських збройових заводів свідчить масштаб виробництва. З 1812 р. по 1814 р. було виготовлено 600 тисяч рушниць (на ті часи фантастична цифра), що можна здійснити лише на базі принципів взаємозамінності, стандартизації і розподілу праці.

Принципи взаємозамінності, стандартизації були впроваджені на передових підприємствах Європи значно пізніше (у Англії – 1855 року, в Німеччині в 1872 році).

У 1845 році уніфікована ширина залізничної колії – 1435мм, яка вважається нормальною.

В кінці XIX – на початку XX століття починає впроваджуватися на деяких підприємствах простановка допусків на робочих кресленнях, причому кількість посадок коливалася від трьох до шести («вільний пригін», «пригін натуго», «пригін нагарячу» і т. п.)

Перший проект стандарту був розроблений під керівництвом інженера Шелоумова П.М. в 1918-1921 роках, але через низку недоліків цей проект не знайшов використання.

У 1924-1925 роках був запропонований новий проект стандарту «Допуски для приганяння», розроблений під керівництвом професора Гатцука А.Д. в основу якого покладено проект Шелоумова П.М. В цьому стандарті було передбачено чотири класи точності, асиметричне розташування полів допусків для основних валів і отворів, залежність допуску від діаметру.

У 1925 році був створений комітет зі стандартизації при Раді праці і оборони СРСР, який затвердив розроблений стандарт і поклав початок для створення єдиних державних стандартів – ОСТУ (загальносоюзний стандарт). У 30-х роках були розроблені нові методи розрахунку точності механізмів, теоретичні основи вчення про взаємозамінність, створюються стандарти на допуски для зубчастих коліс, шліцових і шпонкових з'єднань, шорсткість поверхні і ін. У ці ж роки Рада народних комісарів приймає рішення про реорганізацію комітету зі стандартизації у Всесоюзний комітет із стандартизації (ВКС): а в 1940 році була введена категорія «Державний стандарт» (ГОСТ).

У 1954 році створено комітет стандартів, заходів і вимірювальних приладів при Раді міністрів СРСР, який у 1971 році був перетворений у Державний Комітет стандартів при Раді міністрів СРСР (Держстандарт СРСР).

На сьогодні питанням стандартизації надається велике значення як за кордоном, так і в нашій країні. Необхідність стандартизації наукової і технічної термінології обумовлюється, зокрема, тим, що терміни, поняття і позначення є невід'ємною частиною всієї нормативно-технічної, конструкторської і технологічної документації.

Терміни, встановлені стандартами, обов'язкові для використання в документації всіх видів науково-технічної, навчальної і довідкової літератури.

З 1990 року питаннями стандартизації в Україні займається Держстандарт України.

1.2 Мета, принципи та основні завдання стандартизації

Мета стандартизації – установити положення, що забезпечують відповідність об'єкта стандартизації своєму призначенню та безпечність його для життя чи здоров'я людей, тварин, рослин, а також майна й охорони природного довкілля, що створюють умови для раціонального використання всіх видів національних ресурсів, що сприяють усуненню технічних бар'єрів у торгівлі та підвищують конкурентоспроможність продукції, робіт та послуг до рівня розвитку науки, техніки і технологій.

Мета стандартизації досягається розробкою і впровадженням нормативної документації (НД).

Стандарти, як нормативні документи, повинні відповідати наступним чинникам:

- відповідність призначенню – здатність виробу, процесу чи послуги виконувати певну функцію за заданих умов;
- сумісність – придатність виробів, процесів чи послуг для спільного використання у відповідних умовах для задоволення певних потреб без спричинення небажаної взаємодії;

- взаємозамінність – здатність одного виробу, процесу чи послуги бути використаним замість іншого для задоволення тих самих потреб; функціональний аспект взаємозамінності називається «Функціональна взаємозамінність», а розмірний аспект – «розмірна взаємозамінність»;

- обмеження різноманітності – вибір оптимального числа розмірів або зразків виробів, процесів чи послуг для задоволення основних потреб (обмеження різноманітності пов'язане, звичайно, зі зменшенням її);

- безпека – відсутність неприйняттого ризику завдання шкоди. У сфері стандартизації безпечність продукції, процесів, послуг розглядається, як правило, з погляду досягнення оптимального балансу низки факторів, включаючи нетехнічні фактори, такі як поведінка людини, які можуть звести ризик завдання шкоди людині та майну до прийняттого рівня;

- захист навколишнього середовища – оберігання навколишнього середовища від несприятливої дії продукції, процесів і послуг;

- захист продукції – забезпечення продукції в кліматичних чи інших несприятливих умовах під час її використання, транспортування чи зберігання.

Державну політику у сфері стандартизації визначають закони України та інші нормативно-правові акти. Ця політика ґрунтується на таких принципах:

- забезпеченості участі фізичних і юридичних осіб у розробленні стандартів та можливості вільно вибирати види стандартів для виготовлення чи постачання продукції, якщо інше не передбачено законодавством;

- відкритості та прозорості процедур розроблення та приймання стандартів з урахуванням інтересів усіх зацікавлених сторін, підвищення конкурентоспроможності продукції вітчизняних виробників;

- доступності стандартів та інформації щодо них для користувачів;

- відповідності стандартів законодавству;

- адаптації стандартів до сучасних досягнень науки і техніки з урахуванням стану національної економіки;

- пріоритетності прямого впровадження в Україні міжнародних та регіональних стандартів;
- дотримання міжнародних та європейських правил і процедур стандартизації;
- участі в міжнародній (регіональній) стандартизації.

Основні завдання стандартизації полягають у тому, щоб забезпечити:

- безпечність продукції, процесів та послуг для життя, здоров'я та майна людей, тварин, рослин та охорону природного довкілля;
- захист та збереження майна і продукції, зокрема під час їх транспортування чи зберігання;
- якість продукції, процесів та послуг, відповідно до рівня розвитку науки, техніки, технологій і потреб людей;
- реалізацію прав споживачів;
- відповідність об'єктів стандартизації своєму призначенню;
- технічну та інформаційну сумісність і взаємозамінність;
- схожість та відтворюваність результатів контролювання;
- установлення оптимальних вимог до суспільно важливих продукції, процесів та послуг;
- заощадження усіх видів ресурсів, поліпшення техніко-економічних показників виробництва;
- упровадження новітніх технологій, оновлення виробництва та підвищення його продуктивності;
- безпеку господарських об'єктів, складних технічних систем з урахуванням допустимого ризику виникнення природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій;
- розвиток міжнародного та регіонального співробітництва;
- усунення технічних бар'єрів у торгівлі.

1.3 Об'єкти стандартизації

Об'єктами державної стандартизації в Україні є:

- а) об'єкти організаційно-методичного і загальнотехнічного характеру і призначення, у тому числі:
 - організація проведення робіт зі стандартизації;

- термінологічні системи в різних галузях знань і діяльності;
 - класифікація і кодування техніко-економічної і соціальної інформації;
 - системи і методи забезпечення якості і контролю якості (вимірів, аналізу), методи випробувань;
 - метрологічне забезпечення (метрологічні норми, правила, вимоги, організація робіт);
 - вимоги техніки безпеки, гігієна праці, ергономіки, технічної естетики;
 - системи технічної і іншої документації спільного вжитку, єдина технічна мова;
 - системи величин і одиниць;
 - типорозмірні ряди і типові конструкції виробів загальномашинобудівного використання (підшипники, кріплення, інструменти, деталі ін.);
 - інформаційні технології, включаючи програмні і технічні засоби інформаційних систем спільного використання;
 - достовірні довідкові дані про властивості речовин і матеріалів:
- б) продукція міжгалузевого призначення і широкого вжитку;
- в) складові елементи народногосподарських об'єктів державного значення, у тому числі банківсько-фінансова система, транспорт, зв'язок, енергосистема, охорона навколишнього природного середовища, вимоги до використовуваних природних ресурсів, оборона і т.п.;
- г) об'єкти (елементи) державних соціально-економічних програм і державних науково-технічних програм.

1.4 Принципи стандартизації

Високу якість стандартів визначає висока якість продукції, що випускається.

Досвід робіт, які проводяться в галузі стандартизації, показує, що для забезпечення високої якості і ефективності стандартів необхідно на стадії їх розробки виконувати наступні обов'язкові принципи.

- *Принцип системності.* Технічний прогрес і підвищення якості продукції, яка випускається, викликали об'єктивну необхідність системного підходу до процесу виробництва, що включає працю людей, які забезпечують процес виробництва, засобів праці (сукупність вживаного устаткування, оснащення, інструменту, засобів контролю і так далі) і предмети праці (продукцію, що випускається, на всіх стадіях її створення і використання).

Під системою розуміють сукупність взаємозамінних елементів, функціонування яких приводить до виконання поставленої мети з максимальної ефективності і найменшими витратами. Кількісні зв'язки елементів системи можуть бути детермінованими або випадковими. Сукупність взаємозв'язаних елементів, що входять в систему, утворює структуру, яка дозволяє будувати ієрархічну залежність їх на різних рівнях.

- *Принцип комплексності і оптимального обмеження.* При розробці стандартів необхідно враховувати всі основні елементи (чинники), які впливають на кінцевий об'єкт стандартизації. Для скорочення трудомісткості робіт зі стандартизації елементи, що незначно впливають на основний об'єкт, не враховують. При стандартизації розглядають систему характеристик і вимог до комплексу взаємозв'язаних матеріальних і нематеріальних елементів. При цьому вимоги до елементів визначаються виходячи з вимог до основного об'єкту стандартизації. Для створення умов здобуття продукції високої якості і підвищення ефективності виробництва необхідна раціональна система стандартів, яка охоплювала б усі її життєві цикли: проектування, серійне виробництво і експлуатацію готового виробу.

- *Принцип прогресивності і оптимізації стандартів.* Показники, норми, характеристики і вимоги, що встановлюються стандартами, повинні відповідати світовому рівню науки, техніки і виробництва. Вони повинні враховувати тенденцію розвитку стандартизованих об'єктів. Необхідно встановлювати економічно оптимальні показники якості, що враховують не лише ефективність нової (підвищеної) якості продукції, але і витрати на її виготовлення, матеріал і експлуатацію, тобто має бути отриманий максимальний економічний ефект при мінімальних витратах. Досягненню цієї мети сприяють методи випереджувальної і комплексної стандартизації.

- *Принципи забезпечення функціональної взаємозамінності стандартизованих виробів.* Цей принцип дозволяє забезпечити взаємозамінність виробів за експлуатаційними показниками. Він є головним при комплексній і випереджувальній стандартизації, а також при стандартизації виробів, технічних умов на них і інш.

- *Принципи взаємодії стандартів.* При великій різноманітності загальнотехнічних і міжгалузевих стандартів необхідна їх взаємна ув'язка. Метод комплексної стандартизації є найбільш переконливим прикладом важливості і ефективності даного принципу, що відноситься до всіх видів стандартів. Важлива також взаємна ув'язка термінів і визначень в галузі стандартизації.

- *Науково-дослідний принцип розробки стандартів.* Для підготовки проектів стандартів і їх успішного впровадження необхідне не лише широке узагальнення практичного досвіду, але й проведення спеціальних теоретичних, експериментальних і дослідно-конструкторських робіт. Цей принцип відноситься до всіх видів стандартів.

- *Принцип переваги.* Зазвичай типорозміри деталей і типових з'єднань, ряди допусків, посадок і інші параметри стандартизують одночасно для багатьох галузей промисловості, тому такі стандарти охоплюють великий діапазон значень параметрів. Щоб підвищити рівень взаємозамінності і зменшити номенклатуру виробів і типорозмірів заготовок, розмірного різального інструменту, оснащення і калібрів, використовуваних у тій або іншій галузі промисловості, а також створити умови для ефективної спеціалізації і кооперації, здешевлення продукції при уніфікації і розробці стандартів застосовують принципи переваги. Відповідно до цього принципу встановлюють декілька рядів значень стандартизованих параметрів для того, щоб при виборі віддавати перевагу першому ряду перед другим, другому – перед третім і т.д. За таким принципом побудовані ряди діаметрів і кроків метричної різьби, ряди нормальних кутів, стандарти на допуски і посадки і інш. Крім того, рекомендується створити галузеві обмежувальні стандарти, що зводять до необхідного мінімуму число параметрів, що допускаються до використання, типів і типорозмірів виробів.

При проектуванні одним із важливих моментів є встановлення типів, параметрів, що визначають розмірну, технологічну і експлуатаційну характеристики. При цьому головні і основні

параметри виробу повинні вибиратися на основі певних закономірностей. Ця закономірність встановлюється переважними числами.

Сенс системи переважних чисел полягає у виборі лише тих параметрів і розмірів, які підкоряються строго певному математичному закону. Вони можуть бути будь-яких значень отримуваних у результаті розрахунку або таких, що призначаються вольовим порядком.

Було багато спроб створити ряд чисел. Наприклад, 1, 2, 3...100, 101.... – арифметичний ряд. Але цей ряд не задовольняє потреб машинобудування, оскільки він дуже густий, а для приладобудування – дуже рідкий.

Якнайповніше відповідає вимогам промисловості геометрична прогресія (з різними знаменниками), оскільки відношення між сусідніми числами у всьому ряду однакові, тобто:

- добуток двох членів є членом ряду;
- частка від ділення двох членів є членом ряду;
- ступінь числа ряду є членом ряду;
- корінь з числа ряду є членом ряду.

Ряди переважних чисел нормовані стандартом (ГОСТ 8032-56), який розроблений на основі рекомендацій ISO (міжнародна організація зі стандартизації). За цим стандартом встановлено чотири основні десяткові ряди переважних чисел, побудованих за геометричною прогресією із знаменником ϕ , рівним:

для ряду R 5 $\sqrt[5]{10} \approx 1,6$ (1,0; 1,60; 2,50; 4,0.)

для ряду R 10 $\sqrt[10]{10} \approx 1,25$ (1,0; 1,25; 1,60; 2,0.)

для ряду R 20 $\sqrt[20]{10} \approx 1,12$ (1,0; 1,12; 1,25; 1,40.)

для ряду R 40 $\sqrt[40]{10} \approx 1,06$ (1,0; 1,06; 1,12; 1,18.)

Кожен член ряду отримують шляхом множення попереднього члена на знаменник прогресії ϕ .

Окрім основних рядів, застосовують три додаткові ряди:

R 80 $\sqrt[80]{10} \approx 1,03$; (1,04 1,03; 1,06; 1,094 1,12;.)

R 160 $\sqrt[160]{10} \approx 1,015$ (1,0; 1,007; 1,0144 1,02.)

R 320 $\sqrt[320]{10} \approx 1,007$ (1,0; 1,007; 1,014; 1,02;.)

І один проміжний R 270:

$$R \ 270 \ \sqrt[270]{10} \approx 1,009 \ (1,0; 1,009; 1,018; 1,027.)$$

У деяких випадках допускається вживання довільних рядів, отриманих шляхом відбору яких-небудь членів ряду. Так утворюється ряд $R \ 10/3$, що складається з кожного третього значення основного ряду, причому починається він може з першого, другого або третього значення, наприклад:

$R \ 10$	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10
$R \frac{10}{3}$	1			2			4			8	
$R \frac{10}{3}$		1,25			2,5			5			10
$R \frac{10}{3}$			1,6			3,15		6,3			

Додаткові і проміжні ряди допускається застосовувати лише в окремих обґрунтованих випадках.

При виборі ряду переважних чисел або типорозмірів виробів доцільно використовувати ряди з великим значенням знаменника геометричної прогресії (ϕ), але вибір ряду, у будь-якому випадку, необхідно технічно і економічно обґрунтувати.

Ряди переважних чисел потрібно застосовувати не лише при стандартизації, але і при виборі номінальних значень параметрів в процесі проектування будь-яких не стандартизованих машин, приладів і інших виробів і їх частин. Лише при такій єдиній закономірності побудови параметрів і розмірів виробів можна погоджувати між собою параметри і розміри, пов'язані з ними, комплектувальних виробів, а також напівфабрикатів і матеріалів.

- *Принцип динамічності.* Для підвищення ефективності промислового виробництва необхідно періодично переглядати вимоги до об'єктів стандартизації з метою приведення їх у відповідність з вимогами технічного прогресу.

- *Принцип мінімальної питомої витрати матеріалів.* Вартість матеріалів і напівфабрикатів у машинобудуванні становить від 40 до 80% загальної собівартості продукції. Тому зниження питомої витрати матеріалу на одиницю продукції має велике значення.

При стандартизації заготовок і виробів економію металу можна отримати в результаті використання раціональних конструктивних схем і компоновок машин, вдосконалення методів розрахунку деталей на міцність і обґрунтованого зниження запасу міцності, вживання економічних профілів, періодичного прокату, зварних конструкцій, пластмас, литих заготовок, особливо литва по моделях, що виплавляються.

Великий ефект дає використання порошкової металургії і холодного об'ємного штампування.

Значним резервом економії матеріалів є підвищення терміну служби машин і їх складових частин, у тому числі і в результаті захисту від корозії.

- *Патентна чистота стандартів.* Багато стандартних агрегатів широко застосовуються в машинах, приладах і устаткуванні, що поставляються на експорт. Для забезпечення конкурентоспроможності, окрім відповідності якості виробів світовому рівню, вони не повинні порушувати патенти (свідоцтва), які діють в країнах ввезення, на винаходи, моделі, промислові зразки, що надають власникам виняткове право на використання запатентованого об'єкту протягом певного терміну (10-15 років). Порушення цих прав спричиняє накладення арешту на вироби, що експортуються, і штрафи, які відшкодовують збитки патентотримача. Тому продукція, яка стандартизується, повинна мати патентну чистоту. Ця вимога відноситься до технологічних процесів, методів і засобів виміру і випробування виробів тощо.

1.5 Види стандартів

Відповідно до специфіки об'єкту стандартизації, складу і вмісту встановлюваних до нього вимог для різних категорій нормативних документів зі стандартизації, розробляють стандарти таких видів:

- основоположний стандарт;
- термінологічний стандарт;
- стандарт на методи випробування;
- стандарт на продукцію;
- стандарт на процес;

- стандарт на послугу;
- стандарт на сумісність;
- стандарт загальних технічних вимог.

Основоположний стандарт має широку сферу поширення або такий, що містить загальні положення для певної галузі, може використовуватися безпосередньо як стандарт або слугувати основою для інших стандартів.

Термінологічний стандарт поширюється на терміни та їхні визначення.

Стандарт на методи випробування встановлює методи випробування, як наприклад, використання статистичних методів і порядок проведення випробувань.

Стандарт на продукцію встановлює вимоги, які повинні задовольняти виріб (групу виробів), щоб забезпечити свою відповідність призначенню. Крім вимог відповідності призначенню, може містити безпосередньо або через посилення такі елементи, як терміни та визначення, вибір проб, випробування, пакування та етикеткування та інші технологічні вимоги.

Стандарт на процес встановлює вимоги, які повинні задовольняти процес, щоб забезпечити свою відповідність призначенню.

Стандарт на послугу встановлює вимоги, які повинні задовольняти послуги, щоб забезпечити свою відповідність призначенню. Стандарти на послуги можуть бути розроблені в таких галузях, як наприклад, торгівля, банківська справа, страхування, готельне господарство, транспорт, автосервіс, телезв'язок.

Стандарт на сумісність - стандарт виробів чи систем у місцях їх поєднання.

Стандарт загальних технічних вимог містить перелік характеристик, для яких значення чи інші дані встановлюються для виробу, процесу чи послуги в кожному випадку окремо. У деяких стандартах, зазвичай, передбачаються дані, зазначені постачальником, у інших – споживачем.

Загальнотехнічні та організаційно-методичні стандарти – важлива частина спільного фонду нормативно-технічних документів, що відображають сучасний рівень науки, техніки і виробництва. Встановлено також, що загальнотехнічні і організаційно-методичні

стандарти повинні, як правило, групуватися в комплексі, системно, які вирішують те або інше завдання.

Виняткове право видання, перевидання і поширення державних стандартів і змін до них належить Держстандарту України і Мінбудархітектурі України (у відповідній галузі).

Видання або перевидання стандартів міжнародних і регіональних організацій, міждержавних стандартів, національних стандартів інших країн Держстандарт України здійснює на основі відповідних договорів і угод.

Видання або перевидання галузевих стандартів і змін до них, стандартів науково-технічних і інженерних товариств України і забезпечення ними користувачів здійснюють міністерства, відомства, товариства, що затвердили їх.

Порядок видання або перевидання технічних умов і стандартів підприємств, включаючи зміни до них і забезпечення ними користувачів встановлюють організації або підприємства — тримачі оригіналів цих документів.

1.6 Нормативні документи та категорії нормативних документів зі стандартизації

Нормативний документ – це документ, що встановлює правила, загальні принципи чи характеристики різного виду діяльності або її результатів.

Термін «нормативний документ» є разовим терміном, що охоплює такі поняття, як «стандарт» «технічні умови», «настанова» (правила) та «регламент».

Стандарт – нормативно-технічний документ, створений на основі консенсусу та ухвалений визнаним органом, що встановлює, для загального і багаторазового користування, правила, настановні вказівки або характеристики різного виду діяльності чи її результатів і який є спрямованим на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері та доступним широкому колу користувачів.

Стандарти повинні ґрунтуватися на узагальнених досягненнях науки, техніки та практичного досвіду і бути спрямованими на збільшення суспільної вигоди.

Міжнародний стандарт – стандарт, прийнятий міжнародною організацією зі стандартизації.

Регіональний стандарт – стандарт, прийнятий регіональною організацією зі стандартизації.

Національний стандарт – стандарт, прийнятий національним органом стандартизації.

Інші стандарти. Стандарти можуть прийматися і на інших рівнях, наприклад центральних органів виконавчої влади, галузей, суб'єктів господарювання та їх об'єднань.

Пробний стандарт – стандарт, прийнятий тимчасово органом стандартизації і доведений до широкого кола користувачів з метою накопичення потрібного досвіду в процесі його застосування і який може бути використаний як база стандарту.

Технічні умови – нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинен відповідати виріб, процес чи послуга. У технічних умовах у разі потреби повинна бути зазначена методика, за якою можна визначити, чи дотримано даних вимог. Технічні умови можуть бути стандартом або частиною стандарту.

Настанова – нормативний документ, що рекомендує практичні прийоми чи методи проектування, виготовлення, монтажу, експлуатації або утилізації обладнання конструкцій чи виробів. Настава може бути стандартом, частиною стандарту або іншим незалежним від стандарту документом.

Регламент – нормативний документ, прийнятий органом влади, що передбачає обов'язковість правових положень.

Технічний регламент – регламент, що містить технічні вимоги або безпосередньо, або через посилання на стандарт, технічні умови, настанову чи їхній зміст. Технічний регламент може бути доповнений технічною настановою, яка означає способи дотримання вимог регламенту, тобто вичерпним положенням.

Нормативні документи зі стандартизації поділяються на такі категорії:

- державні стандарти України – ДСТУ;
- галузеві стандарти України – ГСТУ;
- стандарти науково-технічних і інженерних суспільств і союзів

України – СТТУ;

- технічні умови України – ТУУ;
- стандарти підприємств – СТП.

До державних стандартів прирівнюються державні будівельні норми і правила, а також державні класифікатори техніко-економічної і соціальної інформації.

Республіканські стандарти колишньої УРСР застосовуються як державні стандарти України до їх заміни або відміни.

Державні стандарти України містять обов'язкові вимоги, що рекомендуються.

До обов'язкових відносять:

- вимоги, що забезпечують безпеку продукції для життя, здоров'я і майна громадян, її сумісність і взаємозамінність, охорону навколишнього природного середовища і вимоги до методів визначення цих показників;

- вимоги техніки безпеки і гігієни праці із посиланням на відповідні норми і правила;

- метрологічні норми, правила, вимоги і положення, які забезпечують достовірність і єдність вимірів;

- положення, що забезпечують технічну єдність під час розробки, виготовлення, експлуатації (вживання) продукції.

Обов'язкові вимоги державних стандартів підлягають безумовному виконанню органами державної виконавчої влади, всіма підприємствами і громадянами — суб'єктами підприємницької діяльності, на діяльність яких поширюється дія стандартів.

Вимоги державних стандартів, що рекомендуються, підлягають обов'язковому виконанню, якщо:

- це передбачено чинними актами законодавства;

- ці вимоги включені в договір на розробку, виготовлення і постачання продукції;

- заготівником (постачальником) продукції зроблена документальна заявка про відповідність продукції цим стандартам.

Галузеві стандарти розробляють на продукцію, послуги за відсутності державних стандартів України або у разі потреби встановлення вимог, державних стандартів, що перевищують або доповнюють вимоги. Обов'язкові вимоги галузевих стандартів не повинні суперечити вимогам державних стандартів. Обов'язкові вимоги галузевих стандартів підлягають безумовному виконанню

підприємствами, установами і організаціями, що входять у сферу управління органу, який затвердив їх. Підприємства, установи, організації, що не входять у сферу управління органу, який затвердив галузеві стандарти, але що користуються ними при виготовленні і постачанні продукції, повинні виконувати обов'язкові вимоги галузевих стандартів.

Стандарти науково-технічних і інженерних товариств (спілок) розробляють у разі потреби поширення і використання, систематизованих і узагальнених результатів фундаментальних і прикладних досліджень, отриманих в окремих галузях знань або сферах професійної діяльності. Вимоги цих стандартів не повинні суперечити обов'язковим вимогам державних і галузевих стандартів.

Технічні умови — нормативний документ, що розробляється для встановлення вимог, які регулюють стосунки між постачальником (розробником, заготівником) і споживачем (замовником) продукції, для якої відсутні державні або галузеві стандарти (або при необхідності конкретизації їх вимог).

Державні стандарти України, галузеві стандарти і стандарти товариств (спілок) і зміни до них, підлягають державній реєстрації в Держстандарті України.

Технічні умови на продукцію і зміни до них підлягають державній реєстрації в територіальних органах Держстандарту України.

Стандарти, технічні умови і зміни до них, які не пройшли державну реєстрацію вважаються недійсними.

Для забезпечення організації виробництва, взаємозв'язку виробничих процесів, встановлення вимог до технологічної оснащеності і інструменту, технологічних норм і технологічних процесів, які використовуються лише на даному підприємстві, розробляють стандарти підприємств.

Стандарти підприємства не повинні суперечити обов'язковим вимогам державних стандартів.

Стандарти розробляють відповідно до плану державної стандартизації України з урахуванням норм чинного законодавства України, вимог стандартів державної системи стандартизації України і документів міжнародних і регіональних організацій зі стандартизації.

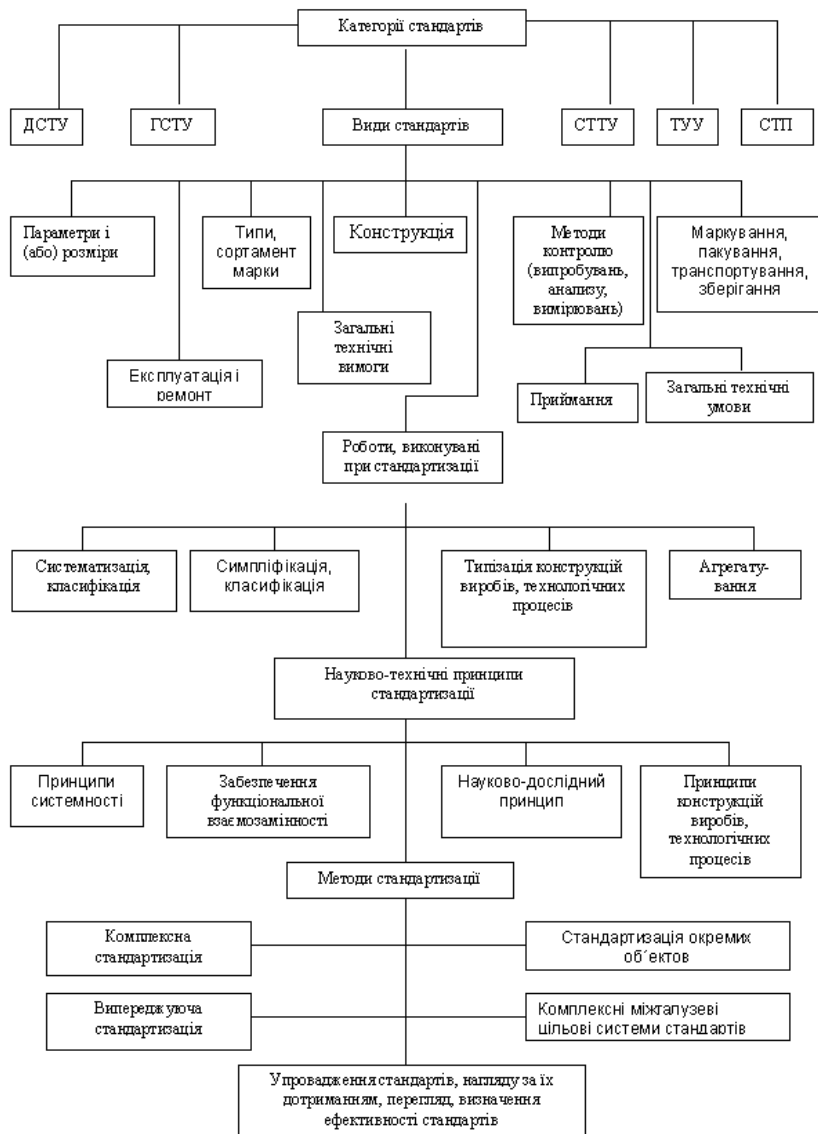


Рисунок 1.1 – Принципові методичні і науково-технічні основи стандартизації

При розробці стандартів використовують результати науково-дослідних, дослідно-конструкторських і проектних робіт, що проводяться підприємствами, результати патентних досліджень (рисунок 1.1).

З метою забезпечення координації і контролю робіт при розробці стандартів і підготовці до їх впровадження встановлюють стадії розробки стандартів, а саме:

- організація розробки стандарту;
- розробка проекту стандарту (першої редакції);
- розробка проекту стандарту (остаточної редакції) ;
- затвердження і державна реєстрація стандарту;
- видання стандарту.

1.7 Організація робіт зі стандартизації

Держстандарт України організовує і координує роботу зі стандартизації і функціонуванню державної системи стандартизації, встановлює в державних стандартах цієї системи спільні організаційно-технічні правила проведення робіт, здійснює міжгалузеву координацію цих робіт, включаючи планування, розробку, видання, поширення і використання державних стандартів, визначає порядок державної реєстрації нормативних документів і бере участь у проведенні заходів щодо міжнародної, регіональної стандартизації відповідно до міжнародних договорів України, організовує навчання і професійну підготовку фахівців у сфері стандартизації.

Міністерства (відомства), державні комітети, органи державної виконавчої влади беруть участь у роботах зі стандартизації і організовують цю діяльність у межах своєї компетенції.

Для організації, планування і координації робіт зі стандартизації в галузях народного господарства і інших сферах діяльності в міністерствах (відомствах) України створюють підрозділи (служби) стандартизації і (або) головні (базові) організації зі стандартизації.

Для організації і забезпечення розробки, експертизи, узгодження і підготовки до затвердження державних стандартів і інших нормативних документів по стандартизації, а також для

проведення робіт з міжнародної (регіональної) стандартизації за рішенням Держстандарту України або Мінбудархітектури України (у відповідній сфері) створюють технічні комітети України (ТК) зі стандартизації.

ТК здійснюють свою діяльність відповідно до положення, затвердженого Держстандартом України.

Державні стандарти України за дорученням Держстандарту України можуть розробляти також підприємства, установи і організації, які у відповідній області стандартизації мають необхідний науково-технічний потенціал.

Підрозділи (служби) стандартизації (науково-дослідні центри, конструкторсько-технологічні або науково-дослідні відділи і наукові лабораторії, бюро, групи), які функціонують на підприємствах (у установах, організаціях), проводять науково-дослідні, дослідно-конструкторські і інші роботи по стандартизації, здійснюють організаційно-методичні і науково-технічне керівництво роботами по стандартизації на підприємствах, включаючи підготовку до впровадження стандартів (нормативних документів), залучають до цих робіт інші підрозділи і координують їх діяльність з розробки і застосуванню стандартів.

Підрозділи стандартизації здійснюють свої функції, відповідно до положення про службу стандартизації на підприємстві.

1.8 Стандартизація параметричних рядів машин

Останнім часом має місце тенденція на збільшення кількості найменувань різних машин, приладів і механізмів. Проте в ряді випадків має місце випуск надмірно великої номенклатури виробів, схожих за призначенням, які незначно відрізняються за конструкцією і розмірами. Для раціонального скорочення номенклатури виробів, що виготовляються, з метою уніфікації, підвищення серійності і розвитку спеціалізації їх виробництва розробляють стандарти на параметричні ряди цих виробів.

Кожну машину характеризує декілька параметрів. Номенклатура стандартизованих параметрів має бути мінімальною, але достатньою

для оцінки експлуатаційних характеристик даного типу машин і його модифікацій.

Спільна номенклатура параметрів має бути мінімальною, щоб не обмежувати творчої ініціативи конструктора, але достатньою для правильної оцінки типів виробів і не повинна дублювати характеристик, включених в інші стандарти на ці типи машин. Наприклад: не дублювати спільних технічних умов, розмірів, установлених в інших стандартах.

Вибір параметрів повинен здійснюватися на основі рядів переважних чисел. Найбільше і найменше числове значення кожного параметра встановлюється з урахуванням поточних і перспективних потреб в машинах даного вигляду.

При визначенні частоти ряду необхідно завжди пам'ятати, що використання густіших рядів (R20, R40) збільшує номенклатуру запасних частин, ускладнює ремонт, підвищує витрати на експлуатацію.

Рідші ряди (R5, R10) дають можливість організувати спеціалізоване виробництво, знизити трудомісткість, собівартість, поліпшити якість, надійність.

У машинобудуванні найчастіше використовують ряд переважних чисел R10. Наприклад, для подовжньо-шліфувальних верстатів найбільша ширина оброблюваних виробів також утворює ряд R 10: 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200 мм.

По цьому ж ряду прийняті діаметри дискових триб'ячних фрез (50; 63; 80; 100 мм), встановлюють ряд номінальних потужностей електричних машин і інш.

Зі всіх параметрів виділяють головні, основні і допоміжні параметри машин.

Головним називають параметр, який визначає важливий експлуатаційний показник машини (або іншого виробу) і не залежить від технічних удосконалень виробу і технології виготовлення. Наприклад, головним параметром токарного верстата є габаритні розміри оброблюваних заготовок, висота центрів і відстань між центрами в крайньому положенні задньої бабки і її пінолі; мостового крана – вантажопідйомність, протяжного верстата – тягова сила, штангенінструменту, мікрометричного інструменту, важільної скоби – діапазон виміру і т. д. По головному параметру будують

параметричний ряд. Вибір головного параметра і визначення діапазону значень цього параметра мають бути технічно і економічно обґрунтованими. Крайні числові значення ряду вибирають з врахуванням поточної і перспективної потреби в даних виробках.

Головний параметр характеризується тим, що він встановлюється на основі аналізу сутності конструкції, досягнень науки і техніки повинен забезпечувати якнайкращі технічні і експлуатаційні характеристики виробів і не залежить від технології виготовлення.

Стандарти на головні параметри переглядаються лише при створенні принципово нових конструкцій. Цей параметр приймається як база при визначенні числових значень основних параметрів.

Основними називають параметри, які визначають якість машин. Наприклад, для металорізального устаткування – це точність обробки, потужність, межі швидкостей різання, продуктивність; для вимірювальних приладів – похибка виміру, ціна ділення шкали, вимірювальна сила і ін.

До *допоміжних* параметрів відносять питому витрату енергії, мастила, гальмування, ємність баків, зусилля перемикання рукояток, вимоги до матеріалів, до зовнішнього вигляду, експлуатаційних вимог.

Допоміжні параметри залежать від конструкції, методів виготовлення і не розглядаються частіше.

Найчастіше головний параметр є лінійною величиною. Для виробів загальномашинобудівного вживання залежно від їх виду в таблицях 1.1 – 1.4 приведені рекомендації по вибору головних і основних параметрів. Знаком “XX” позначені головні параметри, “X” – основні параметри.

Значення головних і основних параметрів, що занесені в паспорт, систематизують в порядку їх зростання, тобто складають параметричний ряд, який і є початковим для проведення уніфікації.

Таблиця 1.1 – Головні і основні параметри (різьбових деталей, штифтів, шплінтів, заклепок)

Найменування виробу	Головні і основні параметри, мм			
	зовнішній діаметр	діаметр різьблення	внутрішній діаметр	довжина
Болти	–	XX	–	X
Гвинти	–	XX	–	X
Шпильки	–	XX	–	X
Гайки	–	XX	–	–
Штифти	XX	–	–	X
Шплінти	XX	–	–	X
Шайби	–	–	XX	–
Заклепки	XX	–	–	X

Таблиця 1.2 – Головні і основні параметри (зірочок, шківів, зубчастих коліс і передач)

Найменування виробу	Головні і основні параметри									
	$d_{e_2}, \text{мм}$	u	$p, \text{мм}$	z	Кількість канавок	Перетин канавки	$da, \text{мм}$	$dw, \text{мм}$	$t, \text{мм}$	$b, \text{мм}$
Зірочки	—	—	XX	X	—	—	—	—	—	—
Шківів:										
для плоских ременів	—	—	—	—	—	—	XX	—	—	X
для клинових ременів	—	—	—	—	X	X	XX	—	—	—
Передачі зубчасті										
циліндричні силові	—	X	—	—	—	—	—	XX	—	X
Колеса зубчасті циліндричні	—	—	—	X	—	—	—	—	XX	X
Передачі зубчасті конічні	XX	X	—	—	—	—	—	—	—	—
Передачі черв'ячні	—	X	—	—	—	—	—	XX	—	—

d_{e_2} – діаметр ділительного кола;

u – передавальне відношення;

p – крок зубів зірочки;

z – число зубів;

dw – діаметр западин;

da – діаметр виступів;

t – модуль;

b – ширина.

Таблиця 1.3 – Головні і основні параметри

Найменування виробу	Головні і основні параметри								
	$T_t, Н м$	$T_{ном}, Н м$	$T_{max}, Н м$	$awt, мм$	Діапазон регулюван ня	$U_{ном}, мм$	$D, мм$	$de_2, мм$	$r, мм$
Редуктори:									
циліндричні	XX	—	—	XX	—	X	—	—	—
конічні	X	—	—	—	—	X	—	XX	—
конічно-									
циліндричні	X	—	—	XX	—	X	—	—	—
планетарні	X	—	—	—	—	X	—	—	XX
черв'ячні	X	—	—	XX	—	X	—	—	—
черв'ячно-									
циліндричні	X	—	—	XX	—	X	—	—	—
Муфти:									
зубчасті	—	X	—	—	—	—	XX	—	—
кулачкові	—	X	—	—	—	—	XX	—	—
фланцеві	—	X	—	—	—	—	XX	—	—
пружні з									
тороподібною									
оболонкою	—	X	—	—	—	—	XX	—	—
Варіатори	—	—	XX	—	X	—	—	—	—

T – крутний момент відповідно індексу: t – тихохідного валу;
 $ном$ – номінальний; max – максимальний;

r – радіус водила;

awt – міжосьова відстань;

u – передавальне відношення;

D – зовнішній діаметр;

de_2 – діаметр діляльного кола.

Таблиця 1.4 – Головні і основні параметри (підшипникових вузлів)

Найменування виробу	Головні і основні параметри						
	Діаметр розточування підшипник	Зовнішній посадочний діаметр	Зовнішній діаметр	Діаметр отвору під вал	Довжина (для корпусів підшипників ковзання, робоча довжина опори)	Відстань від валу до основи лап	
Корпуси підшипників кочення фланцевого виконання	XX	X	-	-	-	-	
Корпуси підшипників кочення з кріпленням на лапах	XX	-	-	-	-	X	
Кришки	-	XX	-	X	-	-	
Втулки дистанційні в корпус	-	-	XX	-	X	-	
Втулки дистанційні на вал	-	-	-	XX	X	-	
Корпуси підшипників ковзання з кріпленням на лапах	XX	-	-	-	-	X	
Корпуси підшипників ковзання фланцевого виконання	XX	X	-	-	-	-	
Втулки підшипників ковзання	-	X	-	XX	X	-	

1.9 Класифікація параметрів машин

Аналіз стандартів та типів машин показує, що кількість параметрів, якими повинні характеризуватися вироби можна звести до невеликої номенклатури, тобто всі параметри умовно можна поділити на 5 груп.

1. Параметри, що характеризують продуктивність:

- частота обертання, число подвійних ходів робочого органу;
- швидкість переміщення робочих органів (характерний для гідравлічних пресів, екскаваторів);
- швидкість руху всієї машини – автомобілі, трактори, дорожні машини і т. д.
- кількість матеріальних цінностей, що виготовляються в одиницю часу.

2. Розмірні параметри:

- розміри встановлюваних заготовок (металоріжучі верстати, преси);
- величина переміщення робочих органів за один робочий цикл (металоріжучі верстати, преси);
- основні розміри базових деталей (стіл, довжина станини і інш.);
- розмір робочих органів (бульдозер);
- розміри, що визначають взаємозамінності деталей і агрегатів (у трактора – навісні і причіпні знаряддя, електродвигуни);
- розміри, що визначають можливість використання машини в певних виробничих умовах (автомобілі, колісні трактори, екскаватори, тобто машини в яких стандартизована колія, стріла і інш.).

3. Силові параметри:

- зусилля, що розвиваються робочим органом (преси, трактори, протяжні верстати і т.п.)
- крутний момент (двигуни, редуктори);
- осьова вага 3,5-6-10 т (автомобілі, вагони і т. д.);
- питомий тиск середовища (циліндри, резервуари);
- питомий об'єм (екскаватор, холодильник).

4. Вагові:

- конструктивна маса;

- відносна конструктивна маса (вага конструкції, віднесеної до одиниці головного параметра);
 - експлуатаційна маса (транспортні машини заправлені);
 - відносна експлуатаційна маса (маса віднесена до одиниці головного параметра);
 - вага (літраж) заправки.
5. Параметри, що характеризують охорону здоров'я.

1.10 Методи стандартизації

Уніфікація від латинського unio – єдність і fasege – робити, тобто приведення чого-небудь до одноманітності, до єдиної форми або системи. При уніфікації встановлюють мінімально необхідне, але достатнє число типів, видів, типорозмірів, виробів, складальних одиниць і деталей, які володіють високими показниками якості і повною взаємозамінністю.

В основі уніфікації рядів деталей, вузлів, агрегатів, машин і приладів лежить їх конструктивна подібність, яка визначається спільністю експлуатаційних вимог. До них, наприклад, відносяться характер навантаження і режим його зміни, температурні умови, силова і теплова напруженість і ін.

Уніфікація найбільш поширена і ефективна форма стандартизації. Завдання уніфікації дещо відрізняються від завдань стандартизації. При стандартизації повинні задовольнятися вимоги всіх зацікавлених галузей в даному виді виробів з урахуванням технічного прогресу. При уніфікації ж номенклатура виробів обмежується сферою найбільшого їх використання.

Таким чином, залежно від масштабів і призначення уніфікації вона може передувати стандартизації, що буває найчастішим, проте завдання уніфікації можуть зводитися до обмеження номенклатури стандартних деталей стосовно потреб галузі або підприємства. Але стандартизація виробів обов'язково передбачає їх уніфікацію. Якщо розробляється стандарт, який застосовуватимуть у декількох галузях промисловості, допускається більше число типорозмірів. Подальше їх скорочення може бути досягнуте шляхом складання галузевих або внутрішньозаводських обмежувальних переліків типорозмірів

виробів, їх складових частин і деталей. Уніфікації підлягають також марки матеріалів, їх властивості і розміри, процеси, інструмент, технологічне оснащення, методи випробування, документація, термінологія, позначення і т. д.

Основою уніфікації є систематизація і класифікація.

Систематизація предметів, явищ або понять переслідує мету розташувати їх в певному порядку і послідовності, створюючи чітку систему, зручну для користування. При систематизації необхідно враховувати взаємозв'язок об'єктів. Найбільш простою формою систематизації є алфавітна система розташування об'єктів. Таку систему використовують, наприклад, в енциклопедичних і політехнічних довідниках, в бібліографії і інш. Застосовують також порядкову нумерацію об'єктів, що систематизуються, або розташування їх у хронологічній послідовності. Наприклад, Держстандарт України реєструє стандарти за порядком номерів, після якого в кожному стандарті вказують рік його затвердження (наприклад, ДСТУ 2500-94 „Єдина система допусків та посадок” Терміни та визначення. Позначення і загальні норми). Для систематизації параметрів і розмірів машин, їх частин і деталей рекомендуються ряди переважних чисел.

Широкого поширення набув різновид систематизації – класифікація. Вона переслідує мету розташувати предмети, явища або поняття за класами, підкласами і розрядами залежно від їх спільних ознак. Найчастіше класифікацію проводять за десятковою системою. На її основі створений класифікатор продукції. Універсальна десяткова класифікація (УДК) прийнята як міжнародна система рубрикації індексів технічної і гуманітарної літератури. Наприклад: УДК62 – техніка; УДК621 – спільне машинобудування і електроніка; УДК621.3 – електроніка і інш.

Розрізняють наступні види уніфікації:

- внутрішньорозмірна уніфікація – це уніфікація між базовою моделлю і її модифікаціями. Наприклад, токарно-гвинторізний для обробки заготовок з максимальним діаметром 320 мм уніфіковано з токарними, двосупортними, операційними і т. д. Їх ступінь уніфікації між собою і з базовим токарно-гвинторізним верстатом досягає 85-95%. Ступінь уніфікації автомобілів Мінського автомобільного заводу – 82-93%;

- міжрозмірна уніфікація – уніфікація між різними типорозмірами усередині одного параметричного ряду, але усередині одного типа;

- міжтипова уніфікація – уніфікація між різними типами і різними рядами. Наприклад, на Мінському верстатобудівному заводі уніфіковані в один міжтиповий ряд подовжньо-фрезерні, подовжньо-шліфувальні, подовжньо-стругальні верстати на основі стандартної ширини оброблюваних заготовок, встановлених по ряду R10 (800; 1000; 1250; 1600 мм). Це дозволило застосувати для вказаних верстатів 45% уніфікованих вузлів (стійки, станини, поперечки і ін.);

- конструкторська уніфікація – уніфікація виробів, вузлів, агрегатів, деталей, матеріалів і т.д.;

- технологічна уніфікація – уніфікація технологічних процесів, оснащення, інструментів.

Уніфікація може проводитися в масштабах заводу, галузі, країни, держави.

Заводська (в рамках одного заводу) і галузева (для ряду заводів галузі) уніфікація може охоплювати номенклатуру виробів, складальних одиниць і деталей, які проводять і застосовують у різних галузях (міжгалузева уніфікація). Вона є найбільш економічно ефективною при обмеженні номенклатури використовуваних матеріалів, конструктивних і технологічних елементів деталей машин — отворів, фасок, проточок, різьб, шпонкових і шлицових з'єднань і т. п. Уніфікацію, як і подальшу за нею стандартизацію, конструктивних і технологічних елементів деталей машин необхідно проводити у взаємному зв'язку зі стандартизацією різального і вимірювального інструментів: спочатку уніфікуються конструктивні елементи, а потім на їх базі — інструмент. Необхідною умовою уніфікації конструктивних елементів, різального і вимірювального інструментів є систематизація і аналіз даних вживаності типорозмірів конструктивних елементів і відповідних ним інструментів. Аналіз проводять з метою впорядкування номенклатури розмірних характеристик кожного конструктивного елементу і забезпечення взаємної ув'язки цих характеристик з відповідними характеристиками різального і вимірювального інструменту.

Особливе місце в заводській стандартизації займає уніфікація заготовок, з якою пов'язане збільшення партій заготовок у заготівельних і ливарних цехах. Будь-який з прогресивних методів

здобуття заготовок, будь то литво за моделями, що виплавляються, машинне формування в ливарних цехах, гаряче і холодне штампування і т. д., передбачає наявність дорогого оснащення. Скорочення оснащення для заготівельних цехів особливо в дрібносерійному виробництві за рахунок уніфікації заготовок при одночасному збільшенні коефіцієнта оснащеності заготівельних операцій є необхідною умовою. Уніфікація заготовок тісно пов'язана з підвищенням коефіцієнта використання металу і якості готових деталей.

Уніфікація різьб також зменшує їх номенклатуру у виробі, що значною мірою полегшує умови його ремонту і експлуатації.

Вельми важливу роль в технологічному вдосконаленні конструкції деталі і складальної одиниці відводять уніфікації отворів. Проте і тут необхідно насамперед забезпечити комплексність проведення уніфікації. Скорочення номенклатури отворів тягне за собою скорочення кількості свердел, зенкерів, розгорток, а також різьб, болтів, гвинтів, заклепок і інших деталей та інструментів.

Наступним етапом у процесі уніфікації є синтез уніфікованих конструкцій, під якими розуміють створення таких конструкцій, де основні параметри, приєднувальні розміри і інші характеристики знаходяться відповідно до прийнятих рядів значень цих характеристик.

Найбільш простий метод уніфікації деталей і агрегатів загальномашинобудівного призначення полягає в заміні групи близьких за конструкцією і розмірами типів одним оптимальним типорозміром, використання якого не пов'язане з істотними труднощами в якій-небудь сфері застосування. Цей метод широко використовують для деталей і вузлів машин з обмеженим числом параметрів, що визначають їх конструкцію (шайби, гвинти, болти, гайки, ущільнення, муфти і інш.)

Приводні ланцюги, клинові ремені, більшість кріпильних деталей, арматури, багато уніфікованих деталей і складальні одиниці виготовляють на спеціалізованих заводах. Це дає можливість і підвищити якість деталей. Наприклад, трудомісткість виготовлення болтів і гайок на спеціалізованому підприємстві в 10 разів нижча, ніж на неспеціалізованому.

Спеціалізація на базі уніфікації дозволяє:

- скоротити терміни проектування і поліпшити якість продукції;

- скоротити терміни підготовки виробництва;
- підвищити продуктивність праці, понизити собівартість;
- поліпшити якість ремонту, підвищити продуктивність праці при ремонті;
- уніфікація типів виробів сприяє скороченню різноманітності виробів.

Симпліфікація – форма стандартизації, мета якої зменшити число типів або інших різновидів виробів до числа, достатнього для задоволення потреб, що існують зараз. Таке визначення дане ISO/СТАКО. При симпліфікації зазвичай виключають різновиди виробів, їх складових частин і деталей, які не є необхідними. До об'єктів симпліфікації не вносять які-небудь технічні удосконалення.

Типізація конструкцій виробів – розробка і встановлення типових конструкцій, що містять конструктивні параметри, спільні для виробів, складальних одиниць і деталей. При типізації не лише аналізують вже існуючі типи і типорозміри виробів, їх складові частини і деталі, але і розробляють нові, перспективні, такі, що враховують досягнення науки і техніки і розвиток промисловості. Часто результатом є встановлення відповідних рядів виробів, їх складових частин і деталей.

Типізація технологічних процесів – розробка і встановлення технологічного процесу для виробництва однотипних деталей або збирання однотипних складових частин або виробів тієї чи іншої класифікаційної групи. Типізація технологічних процесів повинна передувати роботі по класифікації деталей, складальних одиниць і виробів і встановлення типових представників, які мають найбільше числом ознак, характерних для деталей, складальних одиниць і виробів даної класифікаційної групи.

1.11 Агрегування машин і інших виробів

Агрегування – принцип створення машин, устаткування, приладів і інших виробів з уніфікованих стандартних агрегатів встановлюваних у виріб в різному числі і комбінаціях. Ці агрегати повинні мати повну взаємозамінність за всіма експлуатаційними показниками і приєднувальними розмірами. Виділення агрегатів

виконують на основі кінематичного аналізу машин і їх складових частин з урахуванням застосування їх в інших машинах. При цьому прагнуть, щоб з мінімального числа типорозмірів автономних агрегатів можна було створити максимальне число компоновок устаткування.

Великого поширення набули агрегатні верстати, оскільки при зміні об'єкту виробництва їх легко розібрати і з тих же агрегатів збирати нові верстати для обробки інших деталей з необхідною точністю.

Введена єдина система уніфікованих вузлів агрегатних верстатів і автоматичних ліній, що виготовляються централізовано. Одночасно розроблений і успішно упроваджується комплекс державних стандартів, що регламентують основні і приєднувальні розміри, норми точності і жорсткості уніфікованих вузлів, які входять в систему. На основі цієї системи на Харківському заводі агрегатних верстатів вже виготовляють переналагоджувані агрегатні верстати.

На основі широкого впровадження агрегатних уніфікованих вузлів, а також елементів затискних пристосувань створені типові уніфіковані компоновки основних типів агрегатних верстатів, що регламентують розташування і розмірну прив'язку всіх основних вузлів і агрегатів. Це дозволило розробити типові електричні, гідравлічні і пневматичні схеми, а так само системи охолодження і мастила. Рівень уніфікації в типових компоновках близько 90%.

Принцип уніфікації і агрегування є обов'язковим при розробці стандартів на все нове устаткування.

Наочним прикладом застосування принципу агрегування є також система універсально-збірних пристосувань (УЗП). Також пристосування komponують з остаточно і точно оброблених взаємозамінних елементів: косинців, стійок, призм, опор, прихватів, затисків, кріпильних деталей і ін. Систему УЗП широко використовують на дослідних заводах і в умовах мало- і середньосерійного виробництва, тобто там, де конструювання і виготовлення неопрацьованих пристосувань економічно не вигідне. За допомогою УЗП збирають пристосування для фрезерних, свердлувальних, розточувальних, зварювальних, складальних, контрольних і інших операцій. Час, витрачений на збирання УЗП, як правило, компенсується при обробці перших двох-трьох деталей. Елементи УЗП можуть служити 6-10 років.

Методи агрегування:

- метод секціонування;
- метод базового агрегату;
- метод паралельного поєднання;
- метод модифікації.

1.12 Комплексна і випереджувальна стандартизація

Комплексна стандартизація (КС) – це стандартизація, при якій здійснюється цілеспрямоване і планомірне встановлення і застосування системи взаємозв'язаних вимог як до самого об'єкту КС в цілому і його основних елементів, так і до матеріальних і нематеріальних чинників, що впливають на об'єкт, з метою забезпечення оптимального вирішення конкретної проблеми. Отже, суть КС слід розуміти як систематизацію, оптимізацію і ув'язку всіх взаємодіючих чинників, що забезпечують економічно оптимальний рівень якості продукції в необхідні терміни. До основних чинників, що визначають якість машин і інших виробів, ефективність їх виробництва і експлуатації, відносяться: досконалість конструкцій і методів проектування і розрахунку машин (їх складових частин і деталей) на міцність, надійність і точність; якість вживаної сировини, матеріалів, напівфабрикатів, купованих і отримуваних по кооперації виробів; ступінь уніфікації, агрегування і стандартизації; рівень технології і засобів виробництва, контролю і випробувань; рівень взаємозамінності, організації виробництва і експлуатації машин. Схема об'єктів комплексної стандартизації наведена на рисунку 1.2.

Для забезпечення високої якості машин необхідна оптимізація вказаних чинників і сувора взаємна узгодженість вимог до якості як при проектуванні, так і на етапах виробництва і експлуатації.

Велике значення у справі підвищення якості промислової продукції має КС норм проектування (системи допусків і посадок, профілі різі і зубів, зірочок до приводних ланцюгів і т.д.; методи розрахунку на міцність, точність; термінів, оформлень креслень деталей і вузлів, методів і засобів контролю і випробувань і інш.)

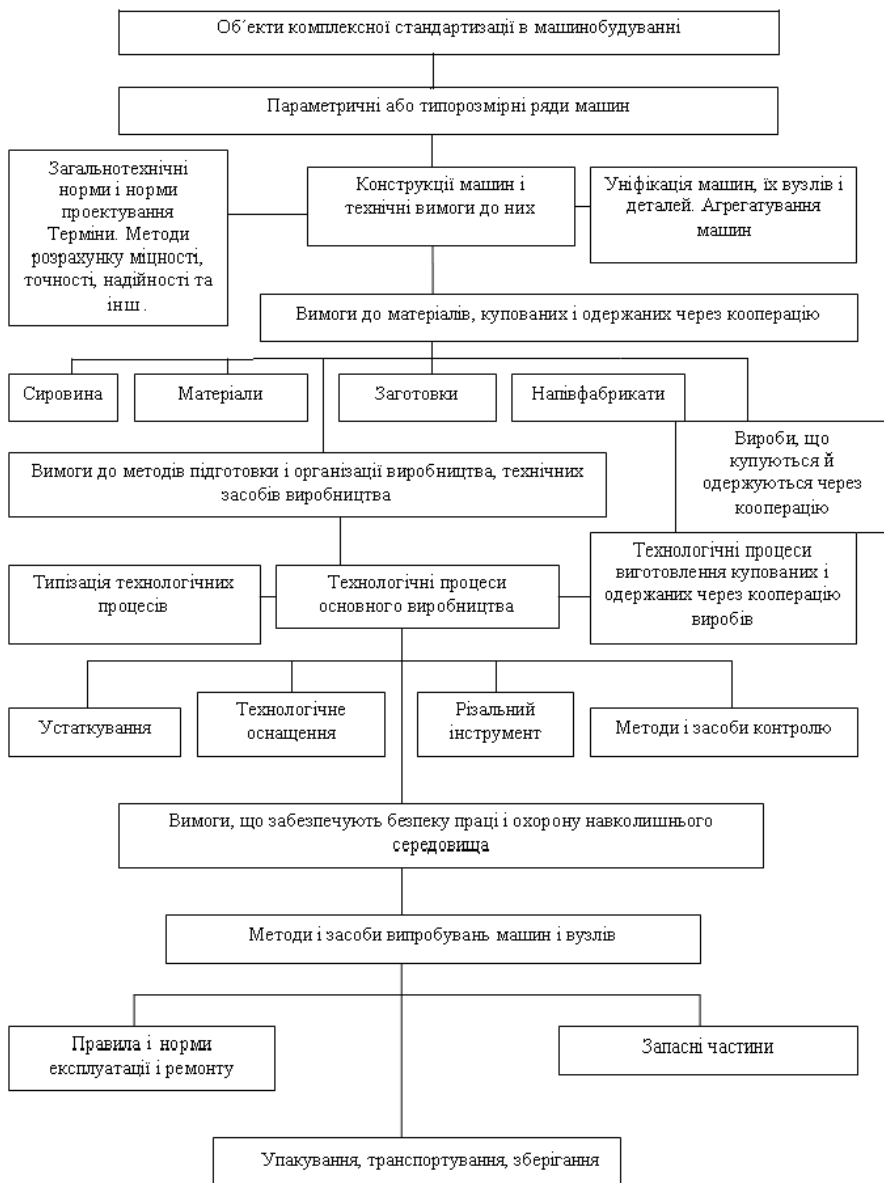


Рисунок 1.2 – Схема об'єктів комплексної стандартизації

Темпи науково-технічної революції ХХ століття привели до різкого скорочення часу між появою наукової ідеї та її реалізацією. Так, для радіо період втілення ідеї в практику дорівнював приблизно 35 рокам (1867-1902 гг.), для телебачення – 14 років (1922-1936 гг.), для транзисторів – 5 років (1948-1953 гг.), сонячних батарей – 2 роки, лазера – 1 рік. Цей процес прискореного розвитку стосується як конструкції машин і інших виробів, так і методів, засобів виробництва, нових матеріалів. Термін морального старіння устаткування, приладів і механізмів скоротився, що викликало швидшу їх зміну. Критерієм зняття з виробництва виробу, що випускається, є економічні переваги виробництва і експлуатації нового виробу того ж призначення, його великі технічні можливості, кращі ергономічні і інші показники.

Розробляючи стандарти, необхідно аналізувати тенденції і прогнозувати розвиток відповідних галузей і, як наслідок, машин і виробів, тобто стандарти мають бути випереджувальними. При розробці стандартів необхідно враховувати результати дослідницьких і конструкторських робіт, патентну інформацію, світову технічну літературу і досвід промисловості. Стандартизація не може випереджати наукові і технічні відкриття, які є результатом науково-дослідних робіт, але вона має ґрунтуватися на них, прискорюючи процес їх широкого впровадження у промисловість.

Випереджувальна стандартизація – це стандартизація, що полягає у встановленні підвищених по відношенню до вже досягнутого на практиці рівня норм, вимог до об'єктів стандартизації, які згідно з прогнозами будуть оптимальними в подальший планований час. Випередження може відноситися як до виробу в цілому, так і до найбільш важливих параметрів і показників його якості, методів і засобів виробництва, випробування і контролю і т. д.

Випереджувальні стандарти можуть бути державними, галузевими, заводськими, регіональними.

1.13 Міжнародна стандартизація

При розробці вітчизняних стандартів враховуються рекомендації міжнародних організацій зі стандартизації. Це необхідно для забезпечення взаємозамінності деталей стандартних вузлів машин, виготовлених у різних країнах, а також для спрощення їх експлуатації, що сприяє розширенню науково-технічних і торговельних зв'язків між державами.

Найбільшою міжнародною організацією у сфері стандартизації є ISO (до 1941 року називалася ISA, організована в 1926 році).

У статті 2 статуту ISO записано: «Метою організації є сприяння розвитку стандартизації і пов'язаних з нею галузей у світовому масштабі для забезпечення міжнародного товарообміну і взаємодопомоги, а так само для розширення співпраці у сфері інтелектуальної, наукової, технічної і економічної діяльності».

Одночасно з рекомендаціями ISO випускає міжнародні стандарти, на яких повинні ґрунтуватися національні стандарти; їх використовують також для міжнародних економічних зв'язків.

У міжнародній організації зі стандартизації ISO входять 90 країн (75 комітетів-членів і 15 членів – кореспондентів).

Законодавчим найвищим органом ISO є Генеральна Асамблея, яка збирається раз у три роки і складається з представників усіх національних організацій зі стандартизації.

Генеральна Асамблея приймає рішення з найбільш важливих питань і обирає Президента організації.

ISO управляється радою, що складається з президента, віцепрезидента, скарбника і представників 18 комітетів, які обираються всіма комітетами терміном на три роки. Рада ISO обирається не рідше одного разу за рік.

Весь обсяг робіт з розробки і узгодження проектів міжнародних стандартів виконується робочими органами ISO – технічними комітетами (ТК), підкомітетами (ПК) і робочими групами (РГ).

У ISO є: Виконавчий комітет (ISO/Виконком), Комітет з вивчення наукових принципів стандартизації (ISO/СТАКО), Комітет допомоги країнам, що розвиваються, (ISO/ДЕВКО), Атестаційний Комітет (ISO/СЕРТИКО) і близько 180 технічних комітетів, які розробляють рекомендації і стандарти (ТК-1 «Різі», ТК-2 «Болти

гайки і деталі кріплення», ТК-3 «Допуски і посадки» і інш.). Крім того, є члени-кореспонденти ISO, якими можуть бути країни, що розвиваються, які не мають національних організацій зі стандартизації. Їм надано право безкоштовного здобуття рекомендацій і стандартів ISO і іншої інформаційної літератури. Організаційна структура ISO наведена на рисунку 1.3.

У зв'язку з розвитком економічних і науково-технічних зв'язків, міжнародної спеціалізації і кооперації робота ISO значно розширювалася. За останніх 10 років число опублікованих МС ISO потроїлося. До каталогу стандартів ISO входить понад 5500 стандартів ISO (в середньому за рік розробляється близько 150 раніше затверджених стандартів ISO).

Зацікавленість багатьох країн у підвищенні якості вироблюваної продукції привела до створення в 1957 році Європейської організації з контролю якості (ЄОКЯ), а з 1988 року Європейської організації з якості (ЄОЯ), яка на сьогодні є однією з провідних неурядових організацій у галузі якості (дивись схему організаційної структури рисунок 1.4)

Діяльність ЄОЯ направлена на зниження собівартості продукції і підвищення продуктивності праці, встановлення контактів між установами і окремими особами, що займаються питаннями забезпеченням якості продукції.

У роботі ЄОЯ беруть участь 52 країни не лише європейські, але й ті, що представляють Азію, Африку і Америку.

У 1965 році був утворений в Роттердамі Міжнародний центр якості (МЦЯ). Цілі і завдання МЦЯ полягають в удосконаленні контролю якості, надійності продукції шляхом обміну інформацією і досвідом роботи між членами організації.

У 1906 році була створена Міжнародна Електротехнічна комісія (МЕК), яка в даний час є однією з провідних міжнародних організацій з питань стандартизації в галузі електротехніки і радіотехніки. У завдання МЕК входить сприяння координації і уніфікації національних стандартів в області електроніки, електротехніки і телекомунікації.

Членами МЕК є національні комітети 43 країн. У кожній країні може бути тільки один комітет з правом одного голосу.

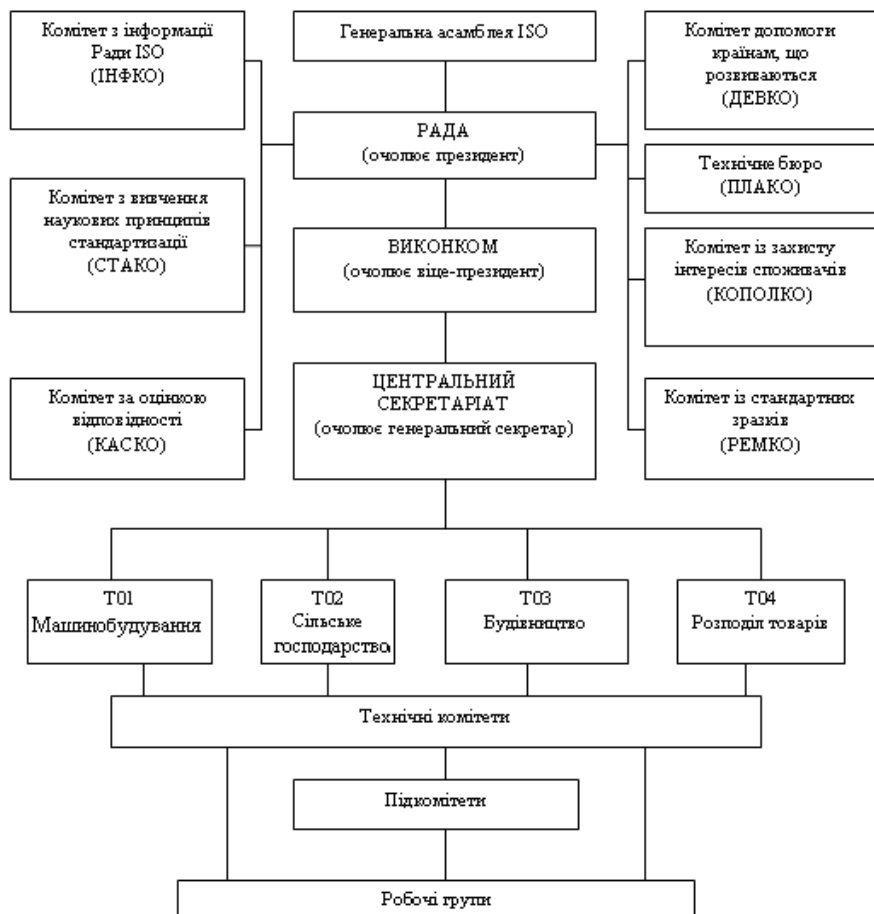


Рисунок 1.3 – Організаційна структура ISO

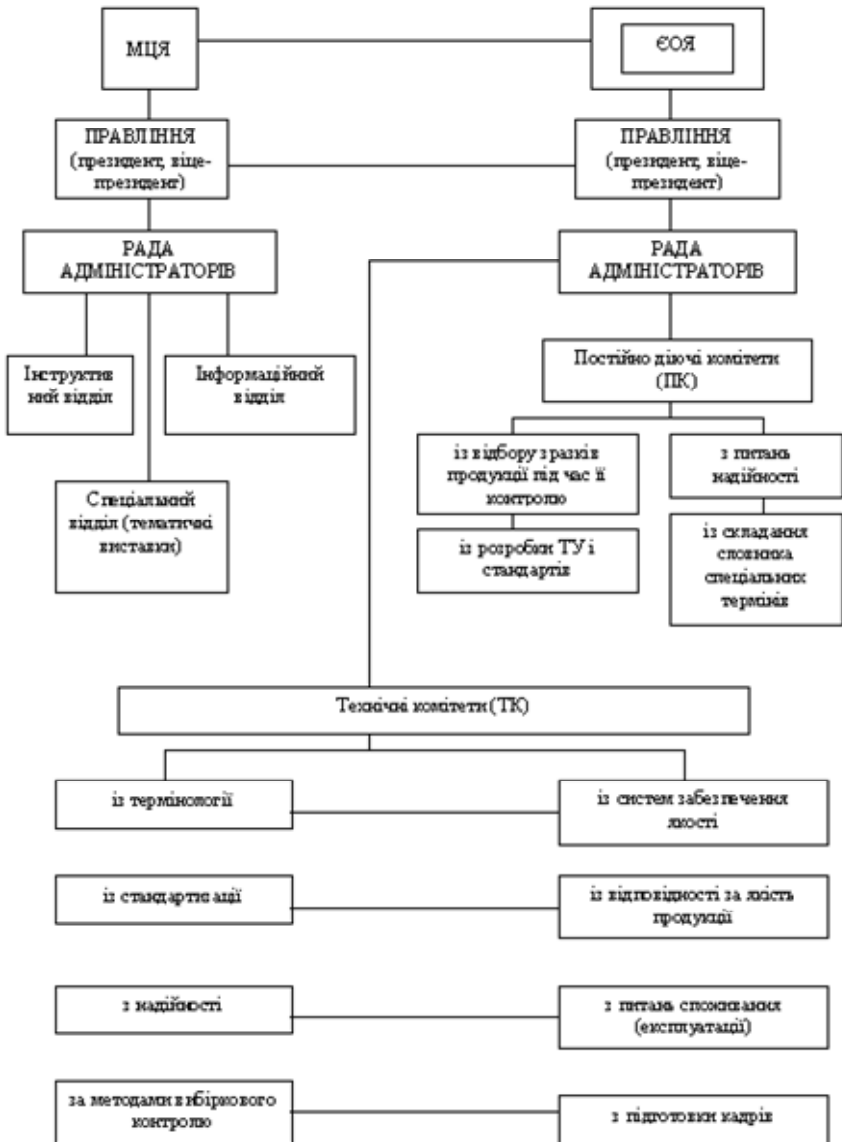


Рисунок 1.4 – Організаційна структура ЄОЯ

Співпраця МЕК і ISO здійснюється шляхом встановлення безпосередніх зв'язків між технічними комітетами МЕК і ISO. В цілому 35ТК МЕК здійснює зв'язок з 43ТК ISO.

Кожен ТК займається визначеною для нього галуззю техніки. В даний час функціонує 79 технічних комітетів.

1.14 Техніко-економічне обґрунтування уніфікації і стандартизації

Прийнято вважати, що всяка уніфікація конструкцій виробів загальномашинобудівного використання економічно ефективна. Проте найбільш ефективною уніфікація стає у тому випадку, коли в результаті її організують спеціалізоване виробництво.

Економічна ефективність спеціалізованого виробництва обумовлена високою серійністю виробництва виробів, які забезпечують швидку окупність проведених капіталовкладень. Тому уніфікація, тобто скорочення числа використовуваних типорозмірів деталей машин, стає одним із важливих народногосподарських завдань. Проте використання уніфікованого ряду деталей призводить до того, що в кожному конкретному випадку замість існуючого оптимального типорозміра деталі для заданих умов роботи доводиться приймати найближчий більший уніфікований типорозмір. При цьому збільшуються розміри і маса як самої деталі, так і всього виробу.

Чим більше ми скорочуємо номенклатуру деталей, прагнучи до досягнення високої серійності їх виготовлення, тим з більш великими втратами за рахунок збільшення маси доводиться стикатися. Цих втрат можна уникнути лише при спеціалізації виробництва даного виду деталей і, насамперед, за рахунок підвищення їх якості.

Таким чином, уніфікацію деталей машин слід розглядати як інженерно-економічне завдання, мета якого полягає в регламентації типорозмірів виробів у такій кількості, щоб сумарна економічна ефективність, отримана в процесі їх виробництва і експлуатації, була щонайвищою.

Це положення можна пояснити графіком (рисунок 1.5), побудованим у координатах: N — серійність виробництва і E —

економічний ефект, одержуваний при спеціалізованому виробництві деталей. З рисунка видно, що в міру скорочення типів створюються умови для організації спеціалізованого виробництва і здобуття значного економічного ефекту (крива 1), але при цьому збільшуються і втрати (крива 2). У межах ділянки АВ зростання ефективності переважає над зростанням витрат. У межах ділянки ВС витрати інтенсивно збільшуються, тобто подальше скорочення типів деталей стає економічно не вигідним, а за певних умов призводить до негативного ефекту (ділянка CD).

Зміна сумарного економічного ефекту залежно від ступеня скорочення типів відображає крива 3.

Наведена схема не поширюється на деталі машин масового виробництва, оскільки їх випускають з високою серійністю і досить хорошою якістю. Проте їх уніфікація має дуже важливе значення, сприяючи скороченню номенклатури запасних частин і поліпшенню умов експлуатації машинобудівної продукції масового призначення.

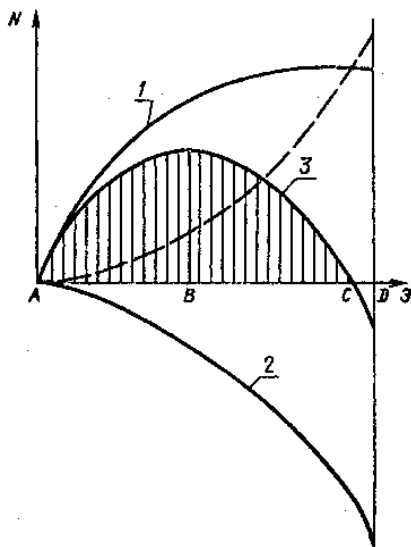


Рисунок 1.5 – Діаграма складових економічної ефективності уніфікації

Розглянемо також економічний ефект, одержуваний при безпосередньому застосуванні специфічних видів стандартів. До специфічних слід віднести стандарти на методи випробувань, що забезпечують надійність і довговічність машин. Застосування стандартних методів випробувань і вимірів деталей машин підвищує їх достовірність, що зменшує брак, спрощує і здешевлює випробування і контроль виробу.

Особливої актуальності набувають прискорені випробування, стандартизація яких вивільняє значну частину оборотних коштів за рахунок скорочення обсягу випробувань, а отже, вивільнюються кошти, що витрачаються на випробувальні стенди і обслуговуючий персонал.

Важливе значення має класифікатор деталей і складальних одиниць, на якому б рівні він не був складений. Ефективність класифікації деталей і складальних одиниць в машинобудуванні виявляється, перш за все, у виключенні дублюючих один одного під різними найменуваннями виробів, а також в усуненні не виправданих відмінностей у виконанні конструкцій.

Класифікатор дозволяє скоротити запаси на складах, зменшити номенклатуру матеріалів.

Особливого розвитку класифікація набуває при розробці кодів для широкого використання ЕОМ у всіх сферах створення виробів машинобудування, що сприяє значному підвищенню продуктивності праці конструкторів і інженерно-технічного персоналу.

Визначення економічної ефективності стандартизації деталей і складальних одиниць здійснюють комплексно, з урахуванням стадій проектування, виготовлення і експлуатації.

Відповідно до ГОСТ 20779—81 «Економічна ефективність стандартизації. Методи визначення. Основні положення», під економічним ефектом стандартизації розуміється виражена в грошовій або натуральній формі економія живої або опредметненої праці в суспільному виробництві в результаті впровадження стандарту з врахуванням необхідних для цього витрат. У тих випадках, коли витрати виміряні в тих же одиницях, що і економія, економічний ефект може бути виражений у натуральній формі (зниження трудомісткості, зменшення потреби в устаткуванні і площах, скорочення тривалості циклів проектування і виготовлення і

т, п.). У решті всіх випадків ефект може бути виражений у грошовій формі.

Економічна ефективність стандартизації може бути диференційована на дві групи: ефект від стандартів, що поширюються на окремі види деталей і складальних одиниць і ефект від стандартів загальногалузевого використання, які поширюються на всі види деталей і складальних одиниць. У першу групу входять, наприклад, стандарти на зубчасті передачі, підшипники ковзання і ін., які встановлюють нормативні вимоги до якості конкретних виробів, оптимізації їх розмірів, форм, конструктивних виконань. Стандартизація цих норм і вимог виключає необхідність розробки і конструювання стандартизованих деталей, забезпечує оптимальний рівень їх якості і матеріаломісткості. Скорочення кількості типорозмірів при стандартизації та уніфікації, оптимізація їх параметрів створюють необхідні передумови для організації спеціалізованих виробництв. У свою чергу, спеціалізація виробництва окремих видів виробів на основі оптимальної кількості типорозмірів приводить до підвищення якості виготовлення, зниження собівартості.

До другої групи відносяться такі системи стандартів, як Єдина система конструкторської документації (ЄСКД), Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ), Система технічного обслуговування і ремонту техніки (СТОіРТ) і ін.

Ця група стандартів направлена на оптимізацію процесів проектування, виготовлення, експлуатації і ремонту, впровадження сучасних методів організації і управління виробництвом. Це також приводить до поліпшення якості виробів, підвищення ефективності суспільного процесу виробництва.

Основні джерела економічного ефекту від стандартизації і уніфікації деталей і складальних одиниць наведені в таблиці 1.5.

У сфері технологічної підготовки виробництва і серійного виготовлення стандартизація приводить до підвищення якості виготовлення, зниження собівартості і витрат на капітальні вкладення, скорочує терміни постановки нових виробів на виробництво, дозволяє автоматизувати працю технолога, упроваджувати сучасні технологічні процеси.

На етапі виробництва найбільша ефективність забезпечується за рахунок спеціалізації, максимальної автоматизації, скорочення

витрат металів за рахунок максимального зближення маси і форм заготовок і готових деталей. Використання стандартних методів контролю і випробувань серійної продукції сприяє зниженню браку, дозволяє об'єктивно оцінювати рівень якості вироблюваної продукції.

Таблиця 1.5 – Джерела ефективності в різних сферах

Джерело ефективності у сфері		
дослідно-конструкторських робіт	виробництва	експлуатації
Скорочення термінів, трудомісткості, обсягу і вартості	Скорочення термінів, трудомісткості і витрат на підготовку виробництва стандартних і уніфікованих виробів	Збільшення ефективності використання за рахунок підвищення якості
Зниження витрат на розрахунки і випробування дослідних зразків (дослідної партії)	Зниження собівартості	Зниження експлуатаційних витрат
Зменшення термінів трудомісткості і витрат на виготовлення дослідного зразка (дослідної партії)	Організація спеціалізованих виробництв і розширення обсягу кооперативних поставок	Зниження потреби в запасних частинах
	Зменшення обсягів капіталовкладень, вивільнення виробничих площ, підвищення фондовіддачі	Зменшення витрат на ремонт

Найбільший ефект стандартизація і уніфікація забезпечують в умовах експлуатації. Пояснюється це тим, що підвищення якості і

надійності деталей і складальних одиниць приводить до збільшення терміну служби і зниження потреби в запасних частинах. Стандартизація у сфері технічного обслуговування і ремонту техніки підвищує рівень ремонтпридатності, що знижує тривалість і вартість операцій технічного обслуговування і ремонту, дозволяє упроваджувати сучасну технологію ремонту. За допомогою стандартів за системою збору і обробки інформації про надійність виробів здійснюють зворотний зв'язок між стадіями експлуатації і розробки.

Економічний ефект від стандартизації E обчислюють за формулою:

$$E = [(C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)] P_2, \quad (1.1)$$

де E — собівартість одиниці продукції або роботи;

E_n — нормативний коефіцієнт ефективності (для деталей і складальних одиниць можна приймати, що $E_n=0,12$);

P — річний випуск (програма);

K — питомі капітальні вкладення (виробничі фонди) ;

Індекс 1 позначає положення до стандартизації, індекс 2 — після стандартизації.

За наявності даних, що відносяться не до одиниці продукції, а до річного випуску стандартизованої продукції, економічний ефект визначають за формулою:

$$E_p = (C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2), \quad (1.2)$$

де C - собівартість річного випуску продукції;

K - виробничі фонди.

Приблизний розрахунок економічної ефективності від стандартизації може бути проведений за формулою:

$$E_T = (C_2 - C_1) P_2 - \frac{T_2}{T_1} q \quad (1.3)$$

де E_T – економічна ефективність від стандартизації одного типорозміру виробу;

C_1, C_2 – собівартість виготовлення виробу до і після стандартизації;

T_1, T_2 – середній ресурс до і після стандартизації;

P_2 – програма випуску даного типорозміру після стандартизації (з врахуванням скорочення числа типорозмірів);

q – коефіцієнт, що характеризує зменшення потреби у виробі (програми) при зміні його надійності.

Оскільки після стандартизації і уніфікації програма випуску даного типорозміру змінюється (як правило, збільшується), то величину C_2 можна визначити за вираженням:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^b, \quad (1.4)$$

де P_1 — програма випуску до стандартизації;

b — коефіцієнт, що характеризує зміну собівартості при зміні програми.

Для усереднених розрахунків можна приймати $b = 0,11$.

Собівартість однієї деталі визначають, як суму витрат на матеріали M , заробітну плату Z і накладних витрат N , тобто

$$Z = M + Z + N \quad (1.5)$$

За окремими складовими економічний ефект розподіляється приблизно таким чином; підвищення якості — 54,5 %; зниження трудомісткості — 18,8 %; зменшення матеріаломісткості — 14,6 %; зниження транспортних витрат — 4,5 %; фондомісткість — 3,8%; зниження витрат на науково-дослідні і проектно-конструкторські роботи — 3,8 %.

1.15 Класифікація і кодування деталей і складальних одиниць загальномашинобудівного застосування

Під *класифікацією* розуміють сукупність заздалегідь установлених ознак, на основі яких проводять розподіл об'єктів кодової множини за класифікаційними угрупованнями. Множиною

в цьому випадку є вироби машинобудування і приладобудування. Сукупність правил, застосованих при класифікації, становить систему класифікації.

Кодування – це створення і привласнення позначення об'єкту класифікації або класифікаційному угрупованню.

При проектуванні виробу і розробці конструкторських документів кожному виробу (деталі, складальній одиниці) привласнюють найменування і позначення. Позначення, привласнене виробу, є одночасно позначенням його основного конструкторського документа (креслення деталі або специфікації складальної одиниці).

При розробці технологічної документації позначення виробу включають у карти технологічних процесів, що служить основним пошуковим ключем конкретного технологічного документа на вироби. Крім того, обчислювальні машини при автоматизованій обробці інформації, а також при проведенні технологічних розрахунків теж працюють з позначеннями виробів. Очевидно, що воно виконує комплексну роль, тому і виникла необхідність створення єдиної системи позначень виробів і формування у всіх галузях промисловості єдиної інформаційної мови, зрозумілої і людям, і машинам.

Структура позначення виробів і конструкторських документів наведена на рисунку 1.6

<u>Код організації розробника</u>	<u>XXXX</u>
<u>Код класифікаційної характеристики</u>	<u>XXXXXXXX</u>
<u>Порядковий реєстраційний номер</u>	<u>XXX</u>

Рисунок 1.6 – Структура позначення виробів і конструкторських документів

Код організації-розробника дозволяє відрізнити документацію, розроблену однією організацією, від іншої. Код класифікаційної характеристики за класифікатором виробів (класифікатором ЄСКД) виконує в позначенні основну роль, будучи носієм інформації про виріб, включений до Класифікатора ЄСКД.

Порядковий реєстраційний номер призначає організація – розробник конструкторської документації в межах коду класифікаційної характеристики від 001 до 999.

Класифікатор – це звід найменувань виробів, класифікаційних

угруповань і їх кодових позначень

Методика розробки класифікатора залежить від мети даної класифікації. Так метою Класифікатора ЄСКД є створення єдиної класифікаційної системи позначення, що забезпечує швидкий пошук виробів і конструкторських документів.

Досвід показує, що найбільш раціональна організація використання раніше розробленої конструкторської документації можлива лише при класифікаційній системі позначення. Ця система забезпечує можливість міжгалузевої і галузевої уніфікації виробів. Усі вироби однакового виду одержують у Класифікаторі ЄСКД певну класифікаційну характеристику, а, отже, вона увійде до позначень цих виробів, у якій би галузі вони не розроблялася. При проведенні уніфікації виробів певного виду, користуючись однією і тією ж класифікаційною характеристикою, можна зібрати інформацію від усіх підприємств.

Класифікатор ЄСКД. Процес класифікації полягає в наступному: всю множину виробів спочатку ділять на класи, які є найзагальнішим класифікаційним угрупованням. Кожен клас об'єднує функціонально-однорідні вироби, незалежно від їх відомчої приналежності.

Так, наприклад, для складальних одиниць загальномашинобудівного використання в Класифікаторі ЄСКД виділений спеціальний клас 30, проте цим класом не обмежені всі складальні одиниці загальномашинобудівного використання. Складальні одиниці, які представляють галузь техніки із спеціалізованим виробництвом і великою номенклатурою, виділені в інші самостійні класи; для підшипників кочення виділений клас 31, для арматури трубопровідної – клас 49. Вся множина деталей, в яку включаються і загальномашинобудівні, об'єднані в класи 71, 72, 73, 74, 75, 76.

При розробці класифікаторів використовують поняття і методи логіки і математичної логіки, теорії множин, теорії ієрархічних багаторівневих і інформаційно-пошукових систем.

Класифікатор ЄСКД побудований за ієрархічним десятковим принципом, заснованим на дедуктивному логічному діленні класифікаційної множини. Цим досягається конкретизація ознак виробів на кожному подальшому ступені класифікаційного ділення. Конкретизація ознак повинна забезпечувати створення

розпізнавального образу, необхідного для пошуку виробу. Виходячи з десяткового принципу класифікації кожен клас послідовно ділиться на 10 підкласів, кожен підклас – на 10 груп, кожна група – на 10 підгруп, кожна підгрупа – на 10 видів.

Класифікаційна характеристика складається з п'яти ступенів класифікації і має структуру, наведену на рисунку 1.7.

Клас	XX
Підклас	X
Група	X
Підгрупа	X
Вид	X

Рисунок 1.7 – Структура класифікаційної характеристики

Шестизначне число, складене з цифр, що послідовно позначають номер класу, підкласу, групи, підгрупи і виду виробу (деталі, складальної одиниці), що класифікується, є кодом класифікаційної характеристики.

З позицій понять логіки і теорії множини, класифікація виробів проводиться за такими правилами:

- дотримання єдності підстави ділення, тобто на одному ступені класифікації можна застосовувати лише одну ознаку або одне і те ж поєднання ознак.

Наприклад, правильно: редуктори циліндричні, конічні, черв'ячні. Неправильно: редуктори циліндричні, конічні, багатоступінчасті.

Це правило забезпечує можливість віднесення виробу лише до одного класифікаційного угруповання і не допускає перетину множини;

- члени ділення на кожному ступені класифікації повинні вичерпувати обсяг ділимості множини.

Наприклад, кріплення різьбове, нерізьбове.

Якщо вибрані ознаки не дозволяють однозначно визначити, чи вичерпаний об'єм ділимості множини, - додають угруповання «інші». Наприклад, кріплення різьбові: болти, гвинти, гайки, шпильки, інші;

- вироби класифікують послідовно без пропуску чергового ступеня класифікації;

- на жодному зі ступенів класифікації, у тому числі і на останньому, не повинно бути конкретних виробів, тобто будь-яке класифікаційне угруповання повинне охоплювати сімейство виробів, що мають спільну ознаку, використану при класифікації. Ознаки класифікації вибирають виходячи з призначення класифікатора і основних завдань, при вирішенні яких його застосовують.

Складальні одиниці загальномашинобудівного застосування в класі 30 ділять на підкласи за виконуваною функцією, а саме: за способом кріплення, передачі руху, направленні і обмеженні руху, захисту, облицьовування, ущільнення і ін. Подальшу класифікацію підкласів на групи проводять за функціональною і конструктивною ознакою.

У тих випадках, коли обидві ці ознаки можна замінити, а також однозначно визначити вид виробу або найменування, як ознаку класифікації використовують найменування.

У таблиці 1.6 наводиться класифікація загальномашинобудівних складальних одиниць класу 30 на підкласи і групи.

Кожну групу складальних одиниць класифікують до виду за ознаками, які є найбільш об'єктивними в даній групі виробів. Так, групу «редуктори» класифікують на підгрупи за конструктивною ознакою (табл. 1.7), а кожну підгрупу на види — за параметричною. При цьому вказані інтервали міжосьових відстаней пари зубчастих коліс, або номінального діаметру основи ділильного конуса зубчастого колеса, або радіусу водила планетарної передачі і т. п.

При виділенні об'єктивних ознак деталей, що несуть про них найбільш суттєву інформацію, встановлюють головні, визначувані геометричною формою, конструктивною характеристикою окремих елементів, взаємним розташуванням елементів, параметрами і виконуваною функцією. Ці ознаки не лише визначають деталь, але й беруть участь у вирішенні тих або інших конструкторсько-технологічних завдань.

Геометричний аналіз деталей показує, що різноманітність конфігурацій деталей може бути зведена до елементарних простих форм. Сукупні комбінації цих простих форм досить чітко характеризують і визначають деталь, що дає можливість об'єднати їх у конструктивно подібні угруповання.

Таблиця 1.6 – Класифікація загальномашинобудівних складальних одиниць (класу 30)

Підклас	Група						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Пристрої базові, кріплення, трубопроводи	Пристрої базові кріплення і кріпильні деталі	Пристрої кріплення і кріпильні деталі	Елементи жорсткості	Трубопроводи, з'єднання трубопроводів, рукава гнучкі	Муфти	Ланцюги, канати, ремені, троси.	Елементи механічних передач
2. Пристрої, що передають рух	Редуктори	Мотор-редуктори	Варіатори	Приводи (окрім, мотор-редукторів)		Елементи ручного управління	
3. Пристрої що направляють, обмежують і перетворюють рух	Пристрої, що спрямовують рух	Пристрої, що обмежують рух	Пристрої, що спрямовують і обмежують рух	Пристрої, що перетворюють рух			
4. Пристрої захисні, облицювальні, ущільнювальні	Засоби захисту і обслуговування робочих місць і механізмів	Засоби захисту індивідуального захисту	Пристрої ущільнювальні	Пристрої обрамувальні, облицювальні			
5. Пристрої гідравлічні, пневматичні і змашувальні	Передачі гідродинамічні	Гідро- і пневмоциліндри	Елементи гідропневмо-систем, пристрої змашувальні				

Таблиця 1.7 – Класифікація за конструктивною ознакою

Клас 300000	Складальні одиниці загальномашинобудівні							
Підклас 30300	Пристрої, що передають рух							
Група 303100	Редуктори							
Підгрупа	Вигляд							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Циліндрові одноступінчасті	A до 16	A більш 16 до 25	A _T більш 25 до 40	A більш 40 до 63	A більш 63 до 315	A більш 315 до 1000	A більш 1000 до 1250	A більш 1250
Циліндрові двоступінчасті	A _T до 100	A _T більш 100 до 315	A _T більш 315 до 1000	A _T більш 1000 до 1600	A _T більш 1600			
Циліндричні багатоступінчасті	A _T до 160	A _T більш 160 до 315	A _T більш 315 до 1000	A _T більш 1000 до 1600	A _T більш 1600			
Конічно- циліндричні	Двоступінчасті				Багатоступінчасті			
	A _T до 100	A _T більш 100 до 315	A _T більш 315 до 710	A _T більш 710	A _T до 100	A _T більш 100 до 315	A _T більш 315 до 710	A _T більш 710

Продовження табл. 1.7

Конічні	D_k до 40	D_k більш 40 до 80	D_k більш 80 до 125	D_k більш 125 до 400	D_k 400 до 630	D_k більш 630		
Планетарні	Одноступінчаті		Двоступінчаті		Багатоступінчасті			
	P_y до 100	P_y більш 100	P_y до 80	P_y більш 80	P_y до 100	P_y до 100		
Черв'ячно-циліндричні	$A_{ц}$ до 100	$A_{ц}$ більш 100 до 160	$A_{ц}$ більш 160 до 250	$A_{ц}$ більш 250				
Черв'ячні	A до 40	A більш 40 до 125	A більш 125 до 250	A більш 250	A_T до 80	A_T більш 80 до 160	A_T більш до 160	
Хвильові і цевочні	Хвильові							
	зубчасті	фрикційні	гвинтові	комбіновані				

Примітка. Прийняті умовні позначення: A – міжосьова відстань пари зубчастих коліс; A_T – міжосьова відстань пари зубчастих коліс тихохідного ступеня передач; $A_{ц}$ – міжосьова відстань циліндричного ступеня черв'ячно-циліндричного редуктора; D_k - номінальний діаметр підстави ділильного конуса більшого зубчастого колеса конічної передачі; P_y – радіус водила планетарної передачі.

Для деталей, які мають сталі найменування (болт, гвинт, шплінт, зубчасте колесо, пружина, вал і т. п.), доцільно використовувати його як класифікаційну ознаку. Найменування цих деталей виражають геометричну форму, тобто еквівалентні ознаці геометричної форми.

Вся множина деталей за геометричною формою ділиться на дві категорії: тіла обертання і нетіла обертання. Виходячи з цього, класи деталей сформовані таким чином:

клас 71 — «Деталі – тіла обертання типу кілець, дисків, котушок стрижнів, шківів, втулок, стаканів, валів і т.п.»;

клас 72 — «Деталі – тіла обертання з елементами зубчастого зачеплення, труби, сектори, корпусні опорні, підшипників»;

клас 73 — «Деталі — не тіла обертання — корпусні, опорні, ємнісні»;

клас 74 — «Деталі — не тіла обертання — площинні, шарнірно-важільні, вантажні, тягові, профільні»;

клас 75 — «Деталі — тіла обертання або не тіла обертання — кулачкові, карданні, кріпильні і т. п.».

У таблиці 1.12 наведена класифікація болтів і гвинтів з голівкою на групи у вигляді класу 75.

Таблиця 1.8 – Класифікація підкласу кріпильних деталей

Підклас	Група				
	1	2	3	4	5
Кріпильні	Болти і гвинти з голівкою	Гвинти без головки, шурупи, шпильки	Заклепки, штифти	Гайки, шайби	Цвяхи, дюбелі, костилі, шпонки, прихвати, хомутики, затиски, шплінти

У таблиці 1.9 як приклад наведена класифікація підкласу кріпильних деталей в класі 75 на групи.

Технологічна класифікація деталей. Основна мета конструкторсько-технологічної класифікації деталей — зниження

трудомісткості технологічної підготовки виробництва і скорочення виробничого циклу. При цьому робота з класифікації направлена на вирішення таких завдань:

- групування деталей за конструкторсько-технологічною подібністю для розробки групових і типових технологічних процесів;
- подетальна спеціалізація виробничих підрозділів;
- підвищення серійності за рахунок організації виробництва;
- уніфікації і стандартизації технологічних процесів;
- вибору типів технологічного устаткування;
- адресації деталей до раніше розроблених типових або групових технологічних процесів.

Вибір ознак конструкторсько-технологічної класифікації деталей ґрунтується на визначенні ступеня участі кожної ознаки у вирішенні вказаних і інших виробничих завдань.

Ступінь участі визначають за формулою

$$C_Y = \frac{N_{zi}}{N_3} \cdot 100, \quad (1.6)$$

де N_3 — спільна кількість виробничих завдань;

N_{zi} — кількість завдань, у вирішенні яких бере участь дана ознака.

В результаті аналізу визначені наступні основні ознаки конструкторсько-технологічної класифікації деталей:

1) геометрична форма; 2) конструктивна характеристика окремих елементів деталі; 3) параметричний; 4) взаємне розташування елементів деталі; 5) функція; 6) найменування; 7) розмірна характеристика; 8) група матеріалу; 9) вид деталі за технологічним процесом; 10) клас точності; 11) вид початкової заготовки; 12) клас шорсткості; 13) характеристика технологічних вимог; 14) характеристика маси; 15) додаткова інформація (термічна обробка, вид покриття і т. д.).

Таблиця 1.9 – Класифікація кріпильних деталей

Клас 750000	Деталі – тіла обертання або не тіла обертання				
Підклас 758000	Кріпильні				
Група 758300	Заклепки, штифти				
	Вид				
Підгрупа	1	2	3	4	5
<i>Заклепки</i>	Голівка				
Суцільні	плоска	напівкругла	напівпотайна	потайна	плосковипукла
Напівпорожністі	плоска	напівкругла		потайна	
Порожністі	плоска	що округляє		потайна	
<i>Штифти</i>	Окрім пружинних				
	для наскрізних отворів				
Циліндричні	пружинні	без отвору уздовж осі	з отвором уздовж осі	для глухих отворів	
	Без різи		З різью		
Конічні	не розвідні	розвідні	внутрішнім	зовнішнім	

Перші шість ознак закладено у Класифікатор ЄСКД і утворюють інформацію про деталь в позначенні креслення.

Конструктивна характеристика деталі є тією спільною інформацією, яка необхідна для вирішення як конструкторських, так і технологічних завдань, що є передумовою для встановлення тісного зв'язку між двома класифікаторами — Класифікатором ЄСКД і Технологічним класифікатором деталей. Органічність такого зв'язку очевидна, оскільки конструювання деталі і втілення її в матеріалі є двома сторонами одного процесу — створення деталі.

Враховуючи це, в Технологічний класифікатор деталей (включені ознаки 7 — 15), а перші шість відомі з креслення деталі.

Зв'язок між класифікаторами здійснюють таким чином: класифікаційна характеристика, що призначається за Класифікатором ЄСКД, продовжується і доповнюється за Технологічним класифікатором деталей для спільного використання при підборі деталей за їх конструкторсько-технологічною подібністю.

Технологічний класифікатор побудовано за принципом багатоаспектної класифікації, заснованої на незалежній класифікації деталей за декількома різними ознаками; кодування здійснюють буквено-цифровим кодом.

Код класифікаційної характеристики деталі за Класифікатором ЄСКД і за Технологічним класифікатором деталей є конструкторсько-технологічним кодом деталі.

Структура конструкторсько-технологічного коду деталі наведена на рисунку 1.9.

Технологічний код (рисунок 1.8) складається з 14 розрядів і поділяється на постійну і змінну частини.

Встановлено, що ознаки: розмірна характеристика, група матеріалу, вид деталі за технологічним процесом — є основними ознаками технологічної класифікації, властивими різним технологічним процесам. Вони характеризуються об'єктивними даними креслення, не залежать від конкретних виробничих умов виготовлення деталей, спільно з кодом класифікаційної характеристики за Класифікатором ЄСКД використовуються при вирішенні всього комплексу виробничих завдань і багато в чому визначають раціональність технологічних процесів виготовлення деталі.

Ознака «вид деталі за технологічним процесом» є сполучною ланкою між основними ознаками технологічної класифікації деталей і групою технологічних ознак, які характеризують конструктивно-технологічні особливості деталі стосовно конкретного виду деталі за технологічним процесом.

Код класифікаційних угруповань основних ознак складається з шести розрядів і встановлений структурою (рисунок 1.8)



Рисунок 1.8 – Структура технологічного коду деталі



Рисунок 1.9 – Структура коду класифікаційних угруповань основних ознак

У таблицях 1.10, 1.11, 1.12 наведені приклади побудови класифікаційних таблиць відповідно до ознак «розмірна характеристика», «група матеріалів», «вид деталі за технологічним процесом».

Таблиця 1.10 – «Розмірна характеристика»

Код	Ширина, мм	Код	Довжина, мм	Код	Висота, мм
0	До 20	0	До 20	0	До 6
1	20-45	1	20-45	1	6-20
2	45-71	2	45-75	2	20-50
3	71-95	3	75-120	3	50-71
4	95-120	4	120-150	4	71-95

Таблиця 1.11 – «Група матеріалів»

Код	Група матеріалу		
30	Чавун		
31	Чавун	сірий	простий
32			модифікований
33		ковкий високоміцний з особливими властивостями	
34			
35			
40	Мідь, алюміній і сплави на їх основі		

Таблиця 1.12 – «Вид деталі за технологічним процесом»

Код	Вид деталі за технологічним процесом
1	Лита
2	Виготовлювана ковким і гарячим штампуванням
3	Виготовлювана холодним штампуванням
4	Оброблювана різанням
5	Термічно оброблювана
6	Виготовлювана формоутворенням з полімерних матеріалів
7	З покриттям

Кількість розрядів змінної частини коду рівна восьми. Самі ж ознаки технологічної класифікації, їх значність і структура змінної частини коду різні для різних видів деталей за технологічним процесом.

Порівняємо для прикладу структуру змінного коду деталей, що обробляються різанням (рисунок 1.10) і литих (рисунок 1.11).

<u>Вид початкової заготовки</u>	<u>X</u>
<u>Клас точності</u>	<u>XX</u>
<u>Клас шорсткості</u>	<u>X</u>
<u>Характеристика елементів зубчастого зачеплення</u>	<u>XX</u>
<u>Характеристика термічної обробки</u>	<u>X</u>
<u>Характеристика маси</u>	<u>X</u>

Рисунок 1.10. – Структура змінного коду деталей, які обробляються різанням

<u>Вид початкової заготовки</u>	<u>X</u>
<u>Клас точності</u>	<u>XX</u>
<u>Клас шорсткості</u>	<u>X</u>
<u>Характеристика технологічних вимог</u>	<u>XX</u>
<u>Характеристика термічної обробки</u>	<u>X</u>
<u>Характеристика маси</u>	<u>X</u>

Рисунок 1.11 – Структура змінного коду литих деталей

Наведемо приклад формування конструкторсько-технологічного коду деталі (рисунок 1.12), що обробляється різанням, вал шліцьовий:

Конструкторсько-технологічна класифікація деталей розрахована на застосування засобів обчислювальної техніки при групуванні деталей.

Структура коду забезпечує обробку інформації в різних кодових

комбінаціях для вирішення виробничих завдань, допускає використання частин коду або їх поєднань залежно від характеру завдань, а також введення додаткових ознак і кодів.

$\sqrt{Ra\ 125\ (V)}$

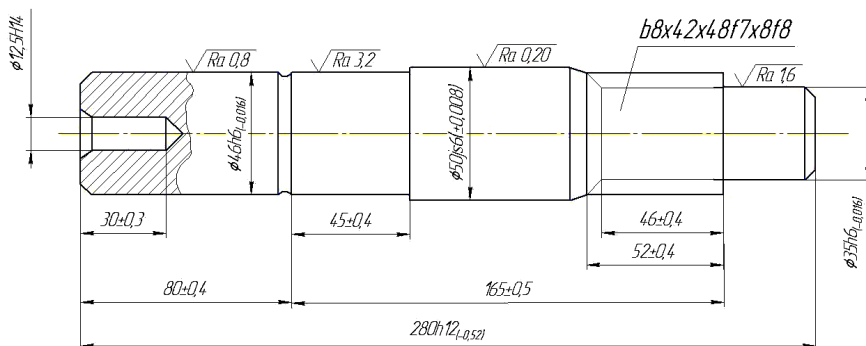


Рисунок 1.12 – Деталь, що обробляється різанням. Вал шліців

У пам'ять ЕОМ заздалегідь мають бути введені всі найменування класифікаційних угруповань і їх коди за класифікатором, що дозволяє автоматизувати процес кодування шляхом занесення інформації з креслень в абсолютному вираженні (розміри, матеріал і т.д.). Ця інформація в ЕОМ зіставляється з кодами за класифікатором і видається потім в кодах без ручного попереднього кодування даних креслення.

За конструкторсько-технологічними кодами ЕОМ зможе провести групування деталей з метою утворення груп, які мають найбільшу подібність за технологією виготовлення, і подальшої розробки групових і типових технологічних процесів. При цьому має бути створена інформаційно-пошукова система для пошуку спроектованих технологічних процесів під час вступу до технологічних служб креслень знову спроектованих деталей. Інформація про деталь у закодованому вигляді (рисунок 1.13) передається в обчислювальний центр, а після обробки її на ЕОМ технологів видається машинограма із вказівкою позначення розробленого раніше технологічного процесу.

Позначення деталі

Код організації-розробника (умовний)	АБВГ
Код класифікаційного угруповання конструктивних ознак	
Деталь — тіло обертання з 4D більше 2 із зовнішньою циліндричною поверхнею без закритих уступів, східчастої двосторонньої без зовнішньої різі, з центральним глухим отвором з однієї або двох сторін, без різі, з пазами, шліцями на зовнішній поверхні, без отворів поза віссю деталі	715423
Порядковий реєстраційний номер (умовний)	004

Основні ознаки технологічної класифікації деталі

Розмірна характеристика, мм:	893	02	4
найбільший зовнішній діаметр.....50			
довжина.....280			
діаметр центрального отвору.....12,5			
Група матеріалу — сталь вуглецева конструкційна (сталь 45 по ГОСТ 1050—60)			
Вид деталі за технологічним процесом — деталь оброблена різанням			

Технологічна класифікація деталі, обробленої різанням

Вид початкової заготовки — круглий пруток, що не калібрується	31	2		
Клас точності розмірів зовнішніх поверхонь – 2				
Клас точності розмірів внутрішніх поверхонь – 7		5	4	0
Клас чистоти зовнішніх поверхонь – 0,20				
Характеристика елементів зубчастого зачеплення — без елементів зубчастого зачеплення				2
Характеристика термічної обробки – термообробка HRC 40 ... 45				
Вагова характеристика – маса 4,3 кг				B

	715423	893024.312502B
Код конструкторського класифікаційного угруповання		
Технологічний код деталі		

Рисунок 1.13 – Кодування деталі

1.16 Основні напрями комплексної стандартизації деталей і складальних одиниць

Велику різноманітність машин збирають з деталей і складальних одиниць, значну частину яких багато разів застосовують у різних за конструкціями і призначенням машинах і механізмах. Це — деталі і складальні одиниці загальномашинобудівного застосування (зубчасті передачі, підшипники, кріпильні деталі, муфти, вали, осі і т. д.), переважна кількість яких стандартизована.

Стандартизація деталей і складальних одиниць об'єктивно необхідна для забезпечення не лише оптимального рівня їх якості, але й надійності і довговічності машин у цілому.

Якість деталей і складальних одиниць забезпечують на всіх стадіях, починаючи від проектування і кінчаючи експлуатацією, а це викликає необхідність їх комплексної стандартизації.

Особливості комплексної стандартизації деталей і складальних одиниць полягають у створенні стандартів, що відображають основні правила і норми, яких необхідно дотримуватися при проектуванні, виготовленні і експлуатації. Комплексна стандартизація складальних одиниць одночасно передбачає і комплексну стандартизацію складових цих одиниць елементів.

Основними напрямками комплексної стандартизації, найбільш характерними для переважної більшості деталей і складальних одиниць, є регламентація норм проектування, конструкцій, параметрів виробничого процесу, рівня якості виробів і умов їх експлуатації.

Розглянемо кожне з цих напрямків, наведених у схемі комплексної стандартизації деталей і складальних одиниць (рисунки 1.14), детальніше.

Регламентація норм проектування. Конструкція деталей машин визначається десятками параметрів. Так, циліндричне зубчасте колесо характеризується модулем, початковим контуром, числом зубів, коефіцієнтом зміщення початкового контуру, шириною вінця, кутом нахилу зуба, діаметром посадочного отвору, довжиною маточини, видом з'єднання маточини з валом, матеріалом, термообробкою, нормами точності, конструктивного виконання і т.п.

Оскільки кожен з параметрів може мати широкий діапазон значень, кількість варіантів поєднань цих параметрів у конкретній конструкції деталі практично не обмежена. Тому в нашій країні, як і за кордоном, був прийнятий метод послідовної поелементної стандартизації параметрів деталей машин, причому, перш за все, були стандартизовані спільні норми, використовувані при проектуванні і характерні або для всіх, або для більшості деталей машин даного виду. До цієї групи відносяться стандарти, що регламентують допуски і посадки, профілі і допуски різьб, профілі зубів зірочок і канавок шківів, розміри кінців валів, форму і допуски з'єднань шпонкових і шліцьових і т.п.

Незважаючи на значне число стандартів, що діють у цій галузі, машинобудування, яке безперервно розвивається, вимагає їх систематичного перегляду і оновлення, а також створення нових стандартів на прогресивні норми.

Так, був здійснений перехід на єдину систему допусків і посадок (ДСТУ ISO 286-1-2002, ДСТУ ISO 286-2-2002, ДСТУ 2500-94).

Затверджений комплекс стандартів на основні норми взаємозамінності шпонкових з'єднань (ГОСТ 23360-78, ГОСТ-78, ГОСТ 24068-80).

Не менш важливі роботи з регламентації єдиних методів розрахунку. Розбіжності в рекомендаціях за розрахунками, особливо міцнісними, призводять до помилок при виборі розмірів деталей і складальних одиниць і, як наслідок цього, — або до передчасного виходу деталей машин з ладу, або до невиправданого збільшення розмірів і маси деталей. Як позитивні приклади слід навести ГОСТ 1284-68 на клинові ремені, в додатку до якого дано рекомендації з підбору і розрахунку клинопасових передач, і ГОСТ 21425-75 «З'єднання зубчасті (шліцьові) прямобічні. Методи розрахунку навантажувальної здатності».

У цілому розробка стандартів першого напрямку дозволяє створити передумови для значного підвищення якості деталей машин при проектуванні.

Мета другого напрямку комплексної стандартизації — регламентація конструкцій деталей і складальних одиниць і створення передумов для організації спеціалізованих виробництв, які зможуть забезпечити стабільно високий рівень якості деталей. Слід мати на увазі, що під регламентацією конструкцій найчастіше розуміють

встановлення основних параметрів, габаритних і приєднувальних розмірів деталей і складальних одиниць, які визначають можливість їх незалежного виготовлення і використання.

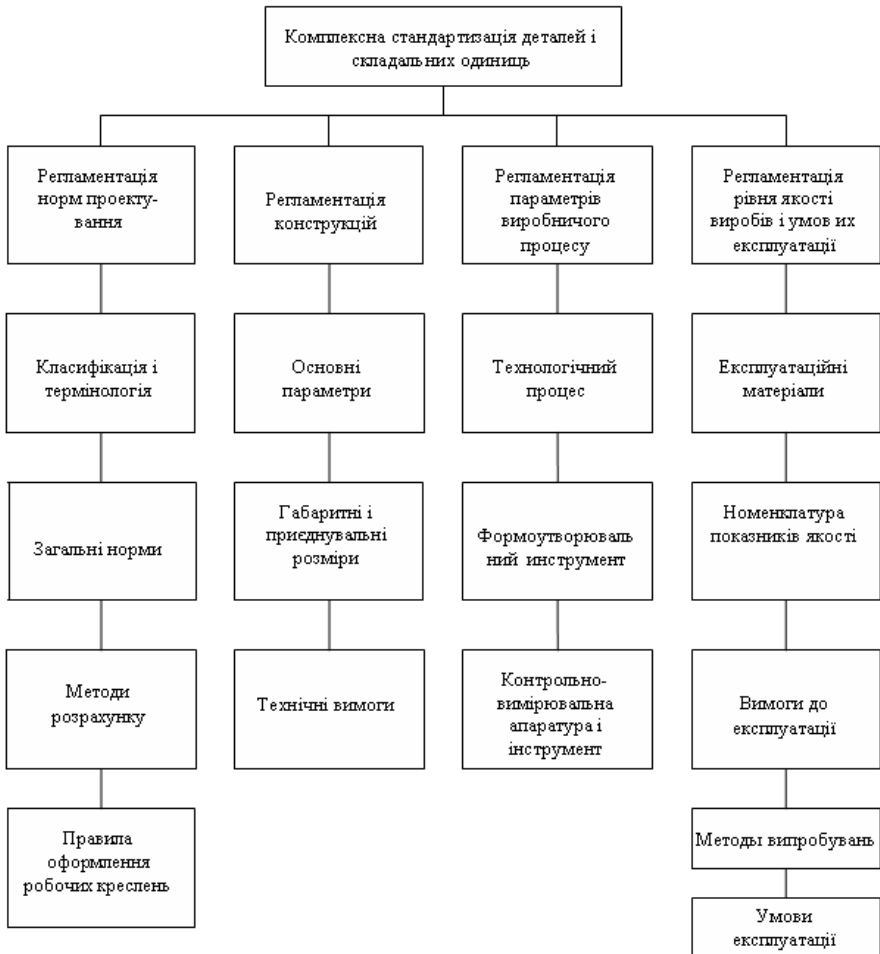


Рисунок 1.14 – Схема комплексної стандартизації деталей і складальних одиниць.

Для впорядкування можливої різноманітності конструкцій деталей і складальних одиниць необхідна стандартизація їх основних параметрів як порізно, так і у взаємозв'язку. Важливість розробки цієї групи стандартів визначається тим, що не завжди доцільно повністю стандартизувати конструкцію щодо складних видів деталей і складальних одиниць (зубчасті колеса, зірочки і т. п.), оскільки в окремих випадках це може призвести до зменшення ініціативи конструктора і навіть зіграти роль гальма у вдосконаленні машин. Проте регламентація основних параметрів у переважній більшості випадків абсолютно реальна і поряд з упорядкуванням, що вводиться, аж ніяк не стримує ініціативи конструктора.

Типовими для цієї групи є стандарти на передавальні числа і міжосьові відстані різних видів зубчастих і черв'ячних передач, діаметри шківів, числа зубів зірочок і дрібномодульних циліндричних зубчастих коліс і т.п. Надалі належить стандартизувати можливі поєднання модулів, чисел зубів, ширини вінців і кутів нахилу зуба в циліндричних зубчастих колесах, поєднання кроків ланцюгів і чисел зубів зірочок, поєднання діаметрів посадочних отворів з довжинами маточин деталей і т.д.

Шляхи регламентації поєднання основних параметрів, габаритних і приєднувальних розмірів деталей і складальних одиниць або, інакше кажучи, конкретних конструкцій, які можна було б виготовляти спеціалізовано, для різних видів деталей машин неоднакові. Створено ряд стандартів на різні види кріплення, деяких типів приводних, тягових і вантажних ланцюгів, велику групу шарико- і роликотидшипників, деякі види муфт (зубчасті і електромагнітні), корпуси підшипників кочення і деякі інші деталі. Слід зазначити, що деталі, конструкція яких регламентована стандартами, випускають, як правило, спеціалізовані підприємства.

Велике значення для забезпечення стабільної якості виготовлення деталей машин мають стандарти, що встановлюють технічні вимоги.

Стандартизації конкретних конструкцій різних видів зірочок, шківів, муфт, деталей, складальних одиниць підшипників кочення, підшипників ковзання, пружин і інш. повинна передувати велика робота з їх уніфікації.

Створення уніфікованої номенклатури деталей машин – це складне інженерно-економічне завдання, при вирішенні якого треба

враховувати результати аналізу даних застосування, сучасні методи розрахунку, прогресивні напрямки в розвитку техніки і т.п. Скорочення типу уніфікованої номенклатури деталей вимагає: встановлення сфери найбільш щільного їх застосування; використання як знання параметрів рядів переважних чисел і т.д.

Забезпеченню високої якості деталей машин у сфері виробництва сприяє регламентація параметрів прогресивних технологічних процесів, формоутворювального інструменту, контрольно-виміральної апаратури. Розроблена велика група стандартів на інструмент для формування поверхонь деталей машин.

Важливим напрямком комплексної стандартизації є регламентація рівня якості деталей і складальних одиниць машин: створення стандартів, що передбачають вимоги, які пред'являються до початкових матеріалів; стандартизація номенклатури показників якості і конкретних значень цих показників, що закладаються в стандарти на технічні вимоги і методів випробувань. Це дозволяє об'єктивно оцінити якість продукції, що випускається.

Так, у сфері початкових матеріалів ГОСТ 801—78 регламентує властивості спеціальної сталі, з якої виготовляють шарики- і роликопідшипники; ГОСТ 3632—73 — властивості холоднокатаної сталевий стрічки, що йде на виготовлення втулок і роликів до приводних втулкових і роликів ланцюгів і т.п.

Контрольні питання до розділу 1

1. Які організації займаються питаннями стандартизації?
2. Хто вперше сформулював принципи взаємозамінності та стандартизації?
3. Які прояви стандартизації були на перших етапах розвитку цивілізації?
4. Що таке стандартизація?
5. Які нормативні документи зі стандартизації діють на території України?
6. З чого складається позначення стандарту?
7. Назвіть основні принципи стандартизації.
8. Як формуються ряди переважних чисел?

9. Назвіть види стандартів.
10. Які параметри машин називають головними, основними та допоміжними?
11. На які групи умовно поділяють параметри машин?
12. Що таке агрегування?
13. Що таке комплексна стандартизація?
14. Що таке випереджувальна стандартизація?
15. Розкрити сутність та структуру міжнародної стандартизації.

2 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ І СИСТЕМИ ДОПУСКІВ І ПОСАДОК

2.1 Поняття про взаємозамінність і її види

Взаємозамінність – властивість незалежно виготовлених із заданою точністю деталей забезпечувати можливість без пригінної їх збірки у вузли і вузлів у виріб, а в разі ремонту беспригінної заміни деталей або вузлів, за умови збереження експлуатаційних вимог, що ставляться до виробу.

Взаємозамінність прослідковується на всіх життєвих циклах виробу від його проектування до експлуатації.

1. При проектуванні виробів слід прагнути: до використання стандартизованих вузлів і деталей, до обґрунтованої вимоги точності виконання розмірів і вибору матеріалу.

2 У процесі підготовки і організації виробництва планувати використання стандартного різального і вимірювального інструменту і уніфікованого оснащення.

3 У процесі експлуатації машин інколи виникає потреба в їх ремонті. У машинах, виконаних з дотриманням вимог взаємозамінності і стандартизації, ремонт зводиться до заміни зношених або поламаних деталей новими, без підгінних робіт.

Взаємозамінними можуть бути деталі, окремі вузли або вироби в цілому. Вимоги до взаємозамінності деталей, вузлів і виробів будуть різні.

Для окремих деталей взаємозамінність забезпечується заданою точністю геометричних, механічних, фізичних і інших параметрів.

Для вузлів найбільш характерною є взаємозамінність за приєднувальними поверхнями і функціональними параметрами, що впливають на експлуатаційні показники виробу.

Для виробів взаємозамінність визначається експлуатаційними показниками і габаритними розмірами.

Розрізняють такі форми взаємозамінності; повну, неповну, зовнішню, внутрішню і функціональну.

Повна взаємозамінність – це взаємозамінність за механічними, геометричними, електричними та іншими параметрами, якими можна охарактеризувати деталь або виріб. Повна взаємозамінність має такі переваги:

- процес збирання спрощується і зводиться до простого з'єднання деталей, що не вимагає від робітників високої кваліфікації;
- складальний процес точно нормується, легко укладається у встановлюваний темп роботи і може бути автоматизований;
- допускається вузька спеціалізація виробництва. Це дає можливість заводу-постачальнику випускати обмежену номенклатуру уніфікованих виробів при високому ступені автоматизації виробництва і, відповідно, нижчій собівартості продукції;
- спрощується ремонт виробів.

Повна взаємозамінність економічно доцільна при виготовленні деталей не точніше 6 квалітету. Для досягнення вищої точності виробів в умовах масового виробництва використовують неповну взаємозамінність (обмежену).

Неповна взаємозамінність – це взаємозамінність, що допускає груповий підбір деталей, пригін і доводку деталей за деякими геометричними параметрами, вживання компенсаторів, регулювання.

Прикладом неповної взаємозамінності є збирання радіальних кулькових підшипників, в яких основним монтажним елементом є радіальний зазор 0,001 – 0,005 мм. Для забезпечення необхідної точності, в умовах повної взаємозамінності кульки і кільця необхідно виготовляти з точністю практично недосяжною в умовах масового виробництва і економічно недоцільною.

Забезпечити задану точність збирання без значного підвищення точності виготовлення можна, використовуючи селективне збирання, при якому виготовлені кульки і кільця сортуються по групах, а потім проводиться збирання з деталей з близькими розмірами. При цьому взаємозамінними будуть лише деталі з однойменних груп.

Зовнішня взаємозамінність – це взаємозамінність вузлів виробів за розмірами і формою приєднувальних поверхонь. Прикладом може служити взаємозамінність підшипників кочення, яка здійснюється по зовнішньому діаметру зовнішнього кільця, внутрішньому діаметру внутрішнього кільця і ширині кілець.

Внутрішня взаємозамінність – це взаємозамінність окремих деталей, що входять у вузол, або вузлів і механізмів, що входять у

виріб. Наприклад, взаємозамінність кульок, що входять як складальні деталі в конкретний підшипник.

Функціональна взаємозамінність – це взаємозамінність, при якій забезпечуються в заданих межах економічно оптимальні експлуатаційні показники всіх однотипних виробів. Функціональна взаємозамінність, як і будь-яка з тих, що розглядалися раніше, забезпечується дотриманням геометричних, механічних, електричних, хімічних і інших параметрів. З повного переліку параметрів, якими характеризується виріб, слід виділити параметри виробів, що впливають на експлуатаційні показники, в заданих умовах експлуатації і назвати їх функціональними, щоб підкреслити їх органічний зв'язок зі службовими функціями деталей і вузлів машин. Функціональна взаємозамінність поширюється на конструювання, виготовлення, контроль і експлуатацію деталей і виробів. Відхилення допустимих експлуатаційних показників визначаються шляхом аналітичного або експериментального дослідження і можливі зміни цих параметрів в процесі тривалої експлуатації обумовлюються. Встановлюється термін служби виробу. Як приклад функціональної взаємозамінності можна розглянути взаємозамінність електродвигуна. Функціональними параметрами, за якими оцінюватиметься можливість взаємозамінності, будуть: потужність, частота обертання, рід струму, $\cos\phi$ і приєднані розміри. Такі, на перший погляд, важливі моменти, як конструкція якоря, статора, корпусу електродвигуна, тип підшипників при функціональній взаємозамінності електродвигунів відіграють другорядну роль і до уваги можуть не братися.

Рівень взаємозамінності характеризується коефіцієнтом взаємозамінності:

$$K_{вз} = \frac{T_{вз}}{T_{вир}} \leq 1 \quad (2.1)$$

де $T_{вз}$ – трудомісткість виготовлення взаємозаміни деталей в виробі;

$T_{вир}$ – трудомісткість виготовлення всього виробу.

2.2 Основні терміни і визначення

Основні терміни і визначення регламентуються ДСТУ 2500-95 (ДСТУ ISO 286-1-2002).

Розмір – числове значення лінійної величини у вибраних одиницях виміру.

Розміри можуть бути:

- такі, що визначають величину і форму деталі;
- координуючі (положення осей щодо бази);
- складальні;
- монтажні;
- габаритні.

Окрім цього, розміри поділяються на такі, що охоплюють, і ті, що є охоплюваними.

Охоплюючі розміри прийнято називати отворами.

Отвір - це термін, призначений для позначення внутрішніх (що охоплюють) елементів деталей (рисунок 2.1).

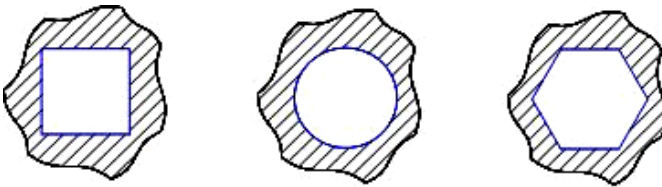


Рисунок 2.1 – Отвори

Охоплювані розміри прийнято називати валами.

Вал – це термін, призначений для позначення зовнішніх (охоплюваних) елементів деталей (рисунок 2.2).

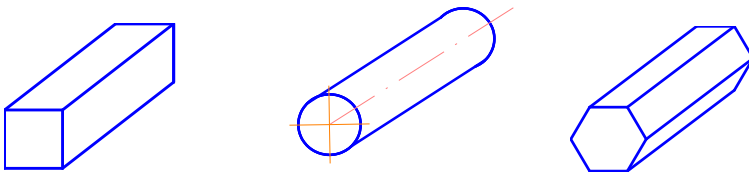
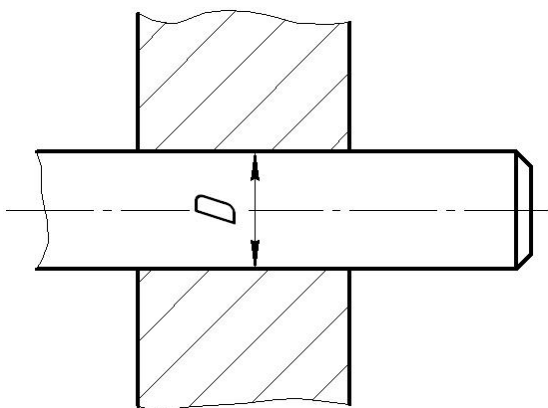


Рисунок 2.2 – Вали

Розрізняють номінальний, дійсний і граничні розміри.

Отвір і вал, як складові з'єднання, повинні мати спільний розмір. Цей розмір прийнято називати *номінальним* розміром з'єднання (рисунок 2.3). Відносно нього визначаються граничні розміри і він слугує початком відліку відхилень.

Номінальний розмір може бути отриманий розрахунковим шляхом або виходячи з конструктивних міркувань. Розмір, отриманий розрахунковим шляхом, має бути округлений у бік його збільшення до найближчого числа вибраного з ряду переважних чисел.



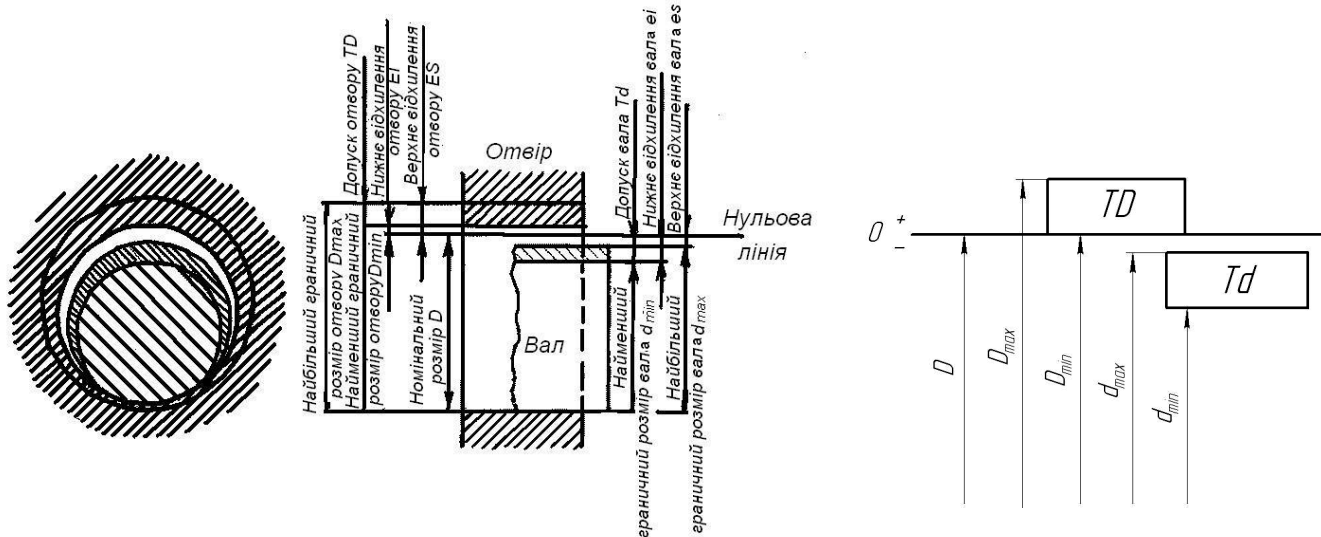
D – номінальний розмір

Рисунок 2.3 – З'єднання двох деталей

Дійсний розмір – розмір, установлений виміром з допустимою похибкою.

Виготовлення деталей з абсолютно однаковими розмірами економічно не виправдане. У зв'язку з цим допускаються гранично допустимі відхилення дійсного розміру деталі від номінальної величини, при яких зберігаються експлуатаційні характеристики виробу (рисунок 2.4).

Граничні розміри – два гранично допустимі розміри, між якими повинен знаходитися дійсний розмір придатної деталі (D_{\max} , D_{\min} , d_{\max} і d_{\min}).



D - номінальний розмір;
 D_{\max} – найбільший граничний розмір отвору;
 d_{\max} – найбільший граничний розмір вала;
 D_{\min} – найменший граничний розмір отвору;
 d_{\min} – найменший граничний розмір вала.

TD - допуск отвору;
 Td - допуск вала;
 ES - верхнє відхилення отвору;
 EI - нижнє відхилення отвору;
 es - верхнє відхилення вала;
 ei - нижнє відхилення вала.

Рисунок 2.4 – Схематичне зображення деталей в з'єднанні

Допуск задається на виготовлення розміру і повинен взагалі більш-менш рівномірно розподілятися по обидва боки деталі. Ми навмисно змальовуємо його зміщеним, щоб наочніше показати, звідки виходить при графічному зображенні допуск на розмір.

Розмір деталі виконано правильно, якщо її дійсний розмір більший від найменшого граничного розміру або дорівнює йому, але менший від найбільшого граничного розміру або дорівнює йому, тобто витриманий (розташований) між двома допустимими граничними розмірами, різниця між якими утворює допуск.

Вказувати на кресленнях граничні розміри незручно у зв'язку з їх громіздкістю. Тому для спрощення форми запису розмірів і на кресленнях записуються не граничні розміри деталей, а їх номінальні розміри з допустимими відхиленнями.

Нульова лінія – лінія, що відповідає номінальному розміру, від якої відкладаються відхилення розмірів при графічному зображенні полів допусків і посадок.

Граничні відхилення отвору або вала вказуються зі знаками: плюс - коли граничний розмір більший від номінального і мінус - коли граничний розмір менший від номінального.

Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то позитивні відхилення відкладаються вгору від неї, а негативні – вниз (рисунок 2.5).

Граничне відхилення – алгебраїчна різниця між граничними і номінальним розмірами.

Верхнє відхилення – це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і номінальним розмірами.

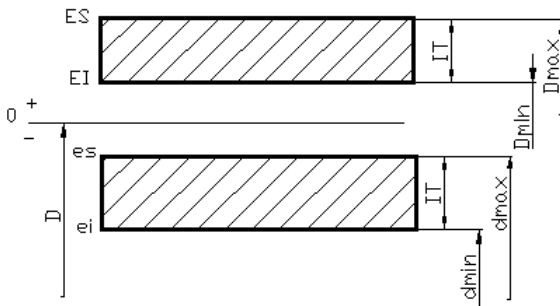


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення полів допусків

IT - позначення поля допуску в міжнародній системі допусків (ISO)

Верхнє відхилення отвору, ES (ecart superieur):

$$ES = D_{\max} - D \quad (2.2)$$

Верхнє відхилення вала, es:

$$es = d_{\max} - D. \quad (2.3)$$

Нижнє відхилення – алгебраїчна різниця між найменшим граничним і номінальним розмірами.

Нижнє відхилення отвору, EI (ecart interieur):

$$EI = D_{\min} - D; \quad (2.4)$$

Нижнє відхилення вала, ei:

$$ei = d_{\min} - D. \quad (2.5)$$

Допуск (Tolerans) – різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами деталі або абсолютна величина алгебраїчної різниці між верхнім і нижнім відхиленнями.

$$\text{- допуск отвору } IT = D_{\max} - D_{\min} \quad IT = ES - EI \quad (2.6)$$

$$\text{- допуск вала } IT = d_{\max} - d_{\min} \quad IT = es - ei \quad (2.7)$$

Граничний розмір деталі дорівнює сумі номінального розміру і відповідного граничного відхилення, але зі своїм знаком:

- найбільший граничний розмір:

$$\text{отвору} - D_{\max} = D + ES \quad (2.9)$$

$$\text{вала} - d_{\max} = D + es \quad (2.10)$$

- найменший граничний розмір:

$$\text{отвору} - D_{\min} = D + EI \quad (2.11)$$

$$\text{вала} - d_{\min} = D + ei \quad (2.12)$$

Виготовлені із заданою точністю деталі збираються у вузли з різною свободою відносного переміщення деталей у з'єднанні або різним ступенем опору їх взаємного зміщення, тобто з різним характером спряження.

Характер з'єднання двох деталей, який визначається величиною зазорів і натягів у ньому називається *посадкою*.

Поверхні, по яких відбувається з'єднання деталей, називаються *спряженими*. Решта поверхонь називаються вільними. Допуск встановлюється на виготовлення як спряжених поверхонь, так і вільних, а посадка може бути задана лише для спряжених поверхонь. Розрізняють посадки: з зазором; з натягом або перехідні.

Посадка з зазором – посадка, за якою завжди утворюється зазор у з'єднанні за умови, що розмір отвору більший від розміру вала. При схематичному зображенні посадки поле допуску отвору розташоване над полем допуску вала (рисунок 2.6).

Найменший зазор:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

$$S_{\min} = EI - es$$

Найбільший зазор:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$S_{\max} = ES - ei$$

Середній зазор:

$$S_{\text{cp}} = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}$$

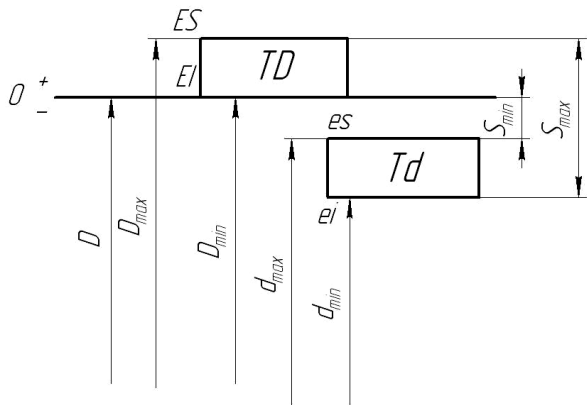


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення полів допусків посадки із зазором

Зазор – різниця розмірів отвору і вала до складання, якщо розмір отвору більший від розміру вала.

Посадку із зазором характеризує три види зазорів:

Точність посадки оцінюється допуском, який дорівнює сумі допусків отвору і вала

$$T_{\Pi} = TD + Td \quad (2.13)$$

Для посадки з зазором допуск посадки (T_S) визначається як різниця між найбільшим і найменшим зазорами.

$$T_S = S_{\max} - S_{\min} \quad (2.14)$$

Посадка з натягом – посадка, за якою завжди забезпечується натяг у з'єднанні за умови, що розмір вала більший від розміру отвору до складання. При схематичному зображенні посадки поле допуску вала розташоване над полем допуску отвору (рисунок 2.7).

Натяг - різниця розмірів вала і отвору до складання, якщо розмір вала більший від розміру отвору.

Посадку з натягом характеризує три види натягу:

Найменший натяг

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}$$

$$N_{\min} = ei - ES$$

Найбільший натяг

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}$$

$$N_{\max} = es - EI$$

Середній натяг

$$N_{\text{ср}} = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}$$

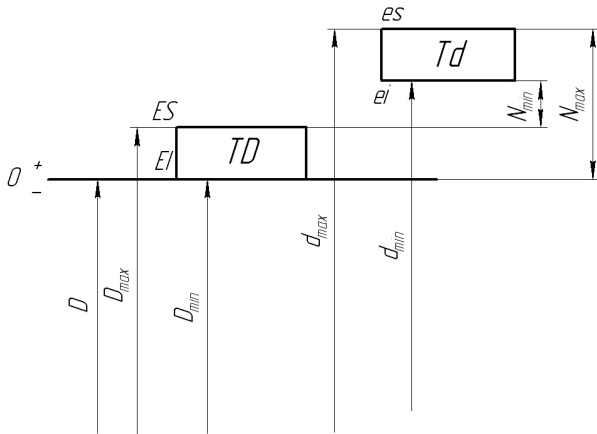


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення полів допусків посадки з натягом

Допуск посадки з натягом (TN) – це різниця між найбільшим і найменшим натягом:

$$TN = N_{\max} - N_{\min} \quad (2.15)$$

Перехідна посадка – посадка, за якою в з'єднанні можливе отримання, як зазору, так і натягу в залежності від дійсних розмірів отвору і вала. (Поля допусків отвору і вала перекриваються повністю або частково, рисунок 2.8).

Експлуатаційними показниками перехідної посадки служать максимальні значення зазору і натягу.

Допуск перехідної посадки:

$$T_{\text{пер}}(TS, TN) = S_{\max} + N_{\max} \quad (2.16)$$

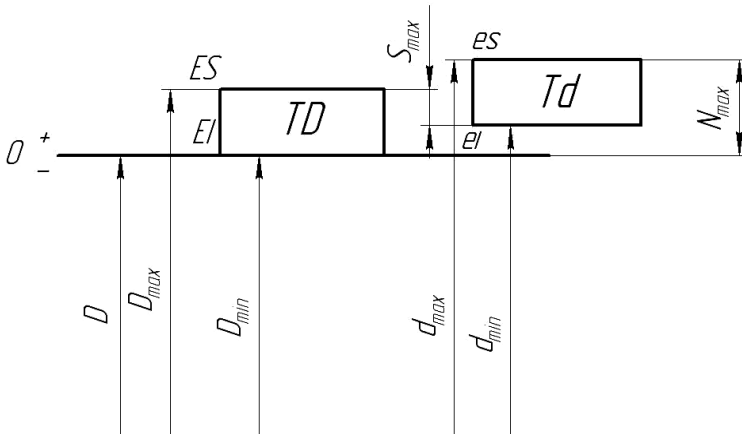


Рисунок 2.8 – Схематичне зображення полів допусків посадки перехідної

2.3 Система допусків і посадок

Системою допусків і посадок називається сукупність рядів допусків і посадок, закономірно побудованих на основі досвіду, теоретичних і експериментальних досліджень і оформлених у вигляді стандартів.

Змінюючи величину допуску для отвору і вала або розташування полів допусків отворів і валів щодо номінального розміру, ми можемо варіювати величинами зазорів і натягу в з'єднанні.

З метою впорядкування величин допусків на виготовлення деталей, а також величин зазорів і натягів, розроблена міжнародна система допусків і посадок для гладких з'єднань.

На сьогодні в більшості країн світу і в Україні використовують міжнародні системи допусків і посадок (ISO). Системи ISO створені для можливої уніфікації національних систем допусків і посадок і полегшення міжнародних технічних зв'язків. Включення в національні стандарти стандартів і рекомендацій ISO створює передумови взаємозамінності однотипних деталей, що випускаються в різних країнах.

В основу побудови системи допусків і посадок покладено шість ознак:

1 Основа системи.

2 Розташування полів допусків основної деталі відносно нульової лінії.

3 Ряди основних відхилень.

4 Формування допуску:

- квалітет (ступінь точності);

- одиниця допуску.

5 Градація інтервалів розмірів.

6 Нормальна температура .

Основа системи.

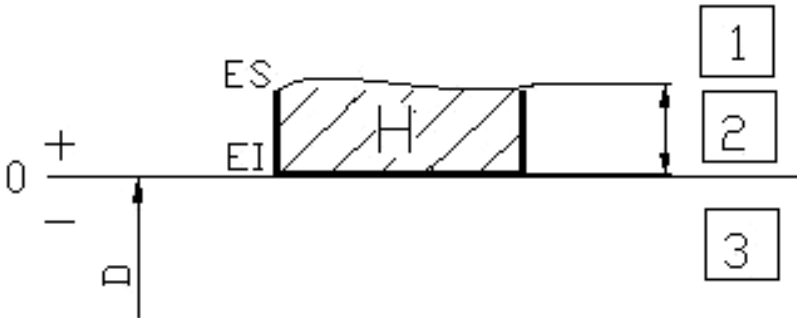
Встановлено дві рівноправні системи: система отвору і система вала.

Системою отвору (СА) називають сукупність посадок, при яких для заданого номінального розміру розташування поля допуску отвору залишається незмінним, а характер з'єднання деталей міняється за рахунок зміни розташування поля допуску вала.

Посадки в системі отвору - посадки, в яких різні зазори і натяги отримують з'єднанням різних валів з основним отвором (рисунок 2.9).

Основний отвір – отвір, нижнє відхилення якого дорівнює нулю. Позначається буквою *H* латинського алфавіту. Поле допуску основного отвору прилягає до номінального розміру нижнім

відхиленням (EI) і поширюється в плюс від номінального розміру, в тіло деталі.



1 – поле допуску вала для формування посадки з гарантованим натягом; 2 – поле допуску вала для формування перехідної посадки; 3 – поля допуску вала для формування посадки з гарантованим зазором.

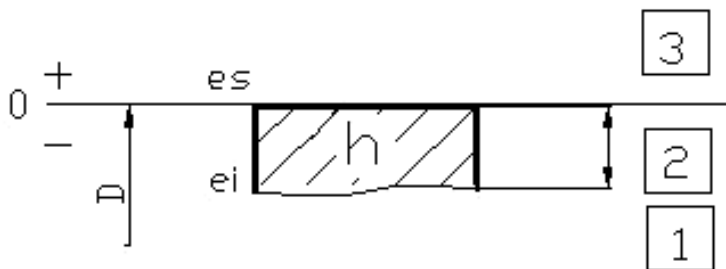
Рисунок 2.9 – Розташування полів допусків у системі отвору

Системою вала (СВ) називають сукупність посадок, при яких для заданого номінального розміру розташування поля допуску вала залишається незмінним, а характер з'єднання деталей змінюється за рахунок зміни розташування поля допуску отвору.

Посадки в системі вала – посадки, в яких різні зазори і натяги отримують з'єднанням різних отворів з основним валом (рисунок 2.10).

Основний вал – вал, верхнє відхилення якого дорівнює нулю, позначається буквою h . Поле допуску основного вала прилягає до номінального розміру верхнім відхиленням і поширюється в мінус від номінального розміру в тіло деталі.

Посадки з однаковим характером з'єднання для заданого номінального розміру можна отримати як у системі отвору, так і в системі вала.



1 – поле допуску отвору для формування посадки з гарантованим натягом; 2 – поле допуску отвору для формування перехідної посадки; 3 – поле допуску отвору для формування посадки з гарантованим зазором.

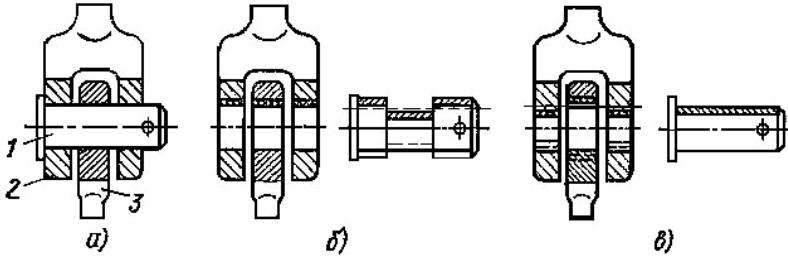
Рисунок 2.10 – Розташування полів допусків у системі вала

Вибір системи отвору або системи вала для заданого характеру з'єднання визначається, виходячи з конструктивних, технологічних і економічних міркувань.

Система отвору є переважною, оскільки номенклатура різального і вимірювального інструментів буде меншою, ніж у разі застосування системи вала.

Так, у серійному і масовому виробництвах для обробки отворів використовують свердла, зенкери, розгортки, протяжки і ін. Кожен з перелічених інструментів може бути призначений для обробки отворів лише одного розміру, тоді як різні за діаметром вали можна обробляти одним і тим же різцем або шліфувальним кругом. Вибираючи систему отвору, ми маємо можливість зменшити номенклатуру інструменту. У зв'язку з цим використання системи отвору економічно доцільніше і при виборі основи системи їй слід надавати перевагу.

Проте в деяких випадках, виходячи з конструктивних міркувань, використовують систему вала. Розглянемо приклад з'єднання трьох деталей (рисунок 2.11).



1 – вісь, 2 – вилка, 3 – тяга; а) вузол у зборі; б) розташування полів допусків при застосуванні системи отвору; в) розташування полів допусків при застосуванні системи вала

Рисунок 2.11 – З'єднання деталей

У з'єднанні осі 1 з тягою 3 має бути посадка з зазором, а в з'єднанні осі 1 з вилкою 2 – з натягом. При виборі системи отвору всі три отвори будуть виконані однаково, а для забезпечення різних посадок у з'єднаннях осі з вилкою і осі з тягою, вісь доведеться робити ступінчастою, що є нетехнологічним. Прийнятнішим у цьому випадку буде застосування системи вала.

В окремих випадках деталі типу осей або валів можуть виготовлятися з каліброваного круглого прокату і не оброблятися по зовнішньому діаметру. У з'єднанні з такими деталями доцільне використання системи вала.

Приєднувальні розміри деяких стандартних виробів: зовнішній діаметр підшипника, зів гайкового ключа, вихідний вал електродвигуна і інше – виконуються в системі вала.

Ряди основних відхилень.

Міжнародною системою допусків і посадок для кожного номінального розміру деталі передбачено два граничні відхилення – верхнє і нижнє. Розташування поля допуску щодо номінального розміру визначається основним відхиленням, за яке приймається одне з двох граничних відхилень деталі, розташоване ближче до нульової лінії. Для умовного позначення основних відхилень отворів і валів використовуються букви латинського алфавіту, прописні для отворів і рядкові для валів (рисунок 2.12).

Для кожного буквеного позначення абсолютна величина і знак основного відхилення вала визначаються за формулами, які наведено в таблиці 2.1.

Відхилення А - Н (а - h) призначені для утворення полів допусків у посадках із зазором, відхилення JS - N (js - n) – в перехідних посадках, відхилення P – ZC (p - zc) – в посадках з натягом.

Основні відхилення отворів побудовано так, щоб забезпечити посадки в системі вала аналогічно посадкам в системі отвору. Вони рівні за абсолютною величиною, протилежні за знаком і позначені тією ж буквою;

EI = - es... для отворів від А до Н

ES = - ei... для отворів від J до ZC

Винятки для деяких основних відхилень отворів обумовлені в стандарті ДСТ ISO 286-1-2002.

Формування допуску

Кожен розмір деталі характеризується номінальним розміром і необхідною точністю його виконання.

Допуск на виготовлення деталей однакового номінального розміру, але різного ступеня точності не може бути однаковим. Чим вища вимога до точності виготовлення деталей, тим меншою має бути величина допуску на його виконання.

Допуск на виготовлення деталей з різними номінальними розмірами, але при однакових вимогах до точності також не може бути однаковим. Для деталі з більшим номінальним розміром допуск має бути також більшим.

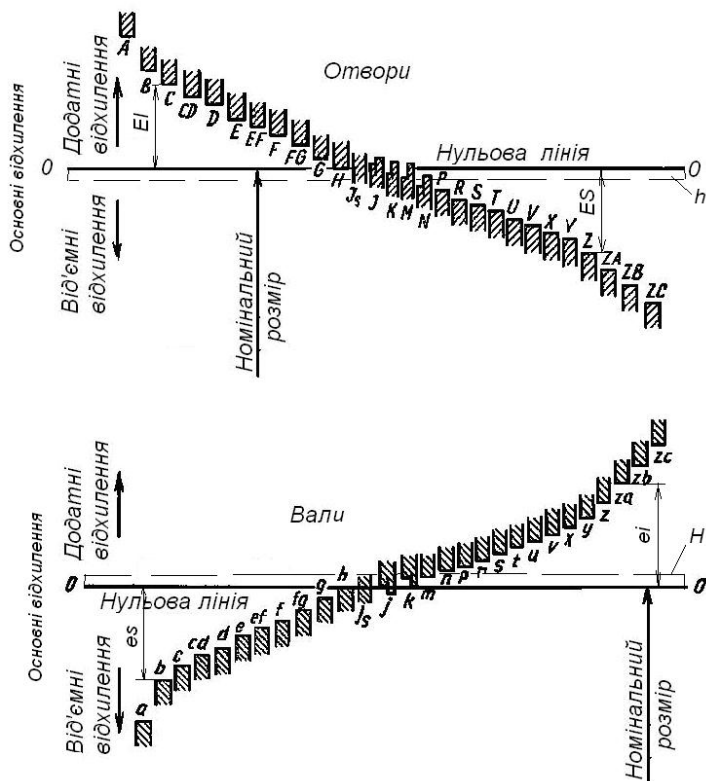
Отже, чисельне значення допуску на розмір деталі має бути функцією і номінального розміру, і необхідної точності виконання.

У міжнародному стандарті для обчислення допуску передбачена така залежність:

$$IT = i \cdot a \quad (2.17)$$

де i – одиниця допуску, яка, відображаючи вплив технологічних, конструкторських і метрологічних чинників, функціонально залежить від номінального розміру;

a – кількість одиниць допуску (коефіцієнт точності), яка функціонально залежить від необхідного ступеня точності.



- Н - основне відхилення основного отвору;
 а, b, с, cd, d, e, ef, f, fg, g - основні відхилення валів рекомендуються для утворення посадок із зазором в системі отвору;
 js, j, k, m, n - основні відхилення валів рекомендуються для утворення посадок перехідних в системі отвору;
 р, r, s, t, u, v, x, в, z, za, zb, zc - основні відхилення валів рекомендуються для утворення посадок з натягом в системі отвору;
 h - основне відхилення основного вала;
 А, В, С, CD, D, E, EF, F, FG, G - основні відхилення отворів що рекомендуються для утворення посадок із зазором в системі вала;
 Js, J, K, M, N - основні відхилення отворів що рекомендуються для утворення посадок перехідних в системі вала;
 P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC - основні відхилення отворів що рекомендуються для утворення посадок з натягом в системі вала.

Рисунок 2.12 – Схема розташування основних відхилень

Таблиця 2.1 – Формули для розрахунку основних відхилень валів

Верхнє відхилення - es		Нижнє відхилення - ei	
es - в мкм D - в мм		ei - в мкм D - в мм	
a	= $-(265+1,3D)$ для $D \leq 120$	От j5 до j8	формули немає
	= $-3,5D$ для $D > 120$	От k4 до k7	= $+0,6 \sqrt[3]{D}$
b	Приблизно рівний = $-(140+0,85D)$ для $D \leq 160$	к в квалитетах до 3 і понад 7	= 0
	Приблизно рівний = $-1,8D$ для $D > 180$	m	= $+ (IT7 - IT6)$
c	= $-52DD0,2$ для $D \leq 40$	n	= $+5D^{0,34}$
	= $-(95 + 0,8D)$ для $D > 40$	p	= $+IT7 + (0 (5)$
cd	Дорівнює середньоарифметичному значенню es для c і d	r	Дорівнює середньоарифметич- ному значенню ei для p і s
d	= $-16D0,44$	s	= $+IT8 + (1 \div 4)$ для $D \leq 50$
e	= $-11D0,41$		= $+IT7 + 0,4D$ для D > 50
ef	Дорівнює середньоарифметичному значенню es для e і f	t	= $+IT7 + 0,63D$
fg	Дорівнює середньоарифметичному значенню es для f і g	u	= $+IT7 + D$
		v	= $+IT7 + 1,25D$
g	= $-2,5D^{0,34}$	x	= $+IT7 + 1,6D$
h	= 0	в	= $+IT7 + 2D$
		z	= $+IT7 + 2,5D$
		za	= $+IT8 + 3,15D$
		zb	= $+IT9 + 4D$
		zc	= $+IT10 + 5D$

Для гладких з'єднань точність при виготовленні отворів і валів регламентується квалітетами.

Квалітет – сукупність допусків, яка характеризується постійною відносною точністю ($TD/D = const$) для всіх номінальних розмірів даного діапазону. Кожному квалітету відповідає певна кількість одиниць допуску – «а».

Величини допуску для отвору і вала одного і того ж номінального розміру і одного квалітету однакові.

ДСТУ 2500-94 для розмірів від 1 до 3150 мм передбачено 20 квалітетів, які позначаються порядковими номерами 01; 0; 1; ...; 18.

Рекомендована сфера застосування квалітетів:

0,1; 0; 1 - кінцеві заходи довжини;

2 - 4 – вимірвальний інструмент;

5 - 13 – розміри спряжуваних деталей у машинобудуванні;

5-6 – посадки підшипників прецизійних верстатів, з'єднання контрольних і робочих пристосувань;

7-8 – відповідальні з'єднання в автомобілебудуванні, верстатобудуванні, робочих пристосувань (посадки підшипників, центрування шестерень, шківів і інших деталей, що обертаються);

9-11 – менш відповідальні з'єднання (кришки підшипників, втулки дистанційні між шестернями на валах і інш.)

12-13 – з'єднання, які не вимагають центрування;

14-18 – вільні розміри.

Одиниця допуску – одиниця точності, що виражає залежність допуску від номінального розміру.

Обчислювати одиницю допуску для кожного номінального розміру недоцільно.

Для квалітетів від 5 до 18 і діаметрів від 1 до 500 мм одиниця допуску визначається з формули:

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{D_{cp}} + 0,001D_{cp}, \quad (2.18)$$

де i - розрахункове значення одиниці допуску, в мкм;

D_{cp} - середньгеометрична величина інтервалу номінальних розмірів, в мм.

Для розмірів до 3мм - D_{cp} приймається рівним.

$$\text{Для діаметрів менше 1 мм - } i = 0,45 \times \sqrt[3]{D_{\text{ср}}} + \frac{0,02}{D_{\text{ср}} + 0,1}; \quad (2.19)$$

$$\text{Для діаметрів більше 500 мм - } i = 0,004 \times D_{\text{ср}} + 2,1. \quad (2.20)$$

Формули, за якими визначаються значення допусків для квалітетів від 5 до 18, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Формули для визначення допусків у квалітетах від 5 до 18

Позначення допуску	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Формули допуску	7 <i>i</i>	10 <i>i</i>	16 <i>i</i>	25 <i>i</i>	40 <i>i</i>	64 <i>i</i>	100 <i>i</i>	160 <i>i</i>	250 <i>i</i>	400 <i>i</i>	640 <i>i</i>	1000 <i>i</i>	1600 <i>i</i>	2500 <i>i</i>

Обчислені за приведеними формулами значення допусків для номінального діаметру 16 мм наочно демонструють тенденцію збільшення допуску з коефіцієнтом $\varphi = 1,6$ для кожного наступного квалітету (таблиця. 2.4).

Таблиця 2.4 - Чисельні значення допусків.

Квалітет	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
IT для $\varnothing 16$, в мкм	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700

З таблиці видно що, починаючи з 6 квалітету, допуск для кожного подальшого квалітету збільшується на 60%, а через кожних 4 квалітета збільшується в 10 разів.

Для найбільш відповідальних з'єднань допуск розраховується за формулами, наведеними в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Формули для обчислення допусків квалітетів 0,1; 0 і 1.

Позначення допуску	IT 01	IT 0	IT 1
Значення допуску	$0,3 + 0,008D_{cp}$	$0,5 + 0,012D_{cp}$	$0,8 + 0,020D_{cp}$

Значення допусків для квалітетів 2, 3, 4 приблизно є членами геометричної прогресії, першим і останнім членами якої є значення допусків 1 і 5 квалітетів.

$$IT_2 = \sqrt{IT_1 \cdot IT_3}; IT_3 = \sqrt{IT_2 \cdot IT_4}; IT_4 = \sqrt{IT_3 \cdot IT_5}. \quad (2.21)$$

Інтервали номінальних розмірів

У стандартах ISO і ДСТУ ISO 286-1-2002 для розмірів до 500 мм виділено 13 основних інтервалів і 22 проміжні, а для розмірів понад 500 мм до 3150 мм - 8 основних і 16 проміжних інтервалів (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 - Інтервали номінальних розмірів до 500 мм

Основні інтервали	Проміжні інтервали
Понад 0 до 3 включно	
Понад 3 до 6 включно	
Понад 6 до 10 включно	
Понад 10 до 18 включно	Понад 10 до 14 включно Понад 14 до 18 включно
Понад 18 до 30 включно	Понад 18 до 24 включно Понад 24 до 30 включно
Понад 30 до 50 включно	Понад 30 до 40 включно Понад 40 до 50 включно
Понад 50 до 80 включно	Понад 50 до 65 включно Понад 65 до 80 включно

Продовження таблиці 2.6

Понад 80 до 120 включно	Понад 80 до 100 включно Понад 100 до 120 включно
Понад 120 до 180 включно	Понад 120 до 140 включно Понад 140 до 160 включно Понад 160 до 180 включно
Понад 180 до 250 включно	Понад 180 до 200 включно Понад 200 до 225 включно Понад 225 до 250 включно
Понад 250 до 315 включно	Понад 250 до 280 включно Понад 280 до 315 включно
Понад 315 до 400 включно	Понад 315 до 355 включно Понад 355 до 400 включно
Понад 400 до 500 включно	Понад 400 до 450 включно Понад 450 до 500 включно

За *нормальну температуру* в розрахунках посадок і при контролі відповідальних деталей прийнята температура 20°C. Тому допуски і відхилення, що вказуються в стандартах, відносяться до деталей, розміри яких визначено саме при цій температурі.

2.4 Утворення і позначення полів допусків і посадок на кресленнях

Допуски позначаються сполученням великих літер ІТ з порядковим номером квалітету, наприклад:

IT01, IT5, IT14.

Поле допуску деталі утворюється сполученням основного відхилення з допуском по одному з квалітетів, позначається сполученням літери (літер) основного відхилення і порядкового номера квалітету, наприклад:

g6, d7, H7, H14.

Схему утворення полів допусків деталей і посадок в системах отвору і вала, а також комбінованих посадок наведено на рисунку 2.13.

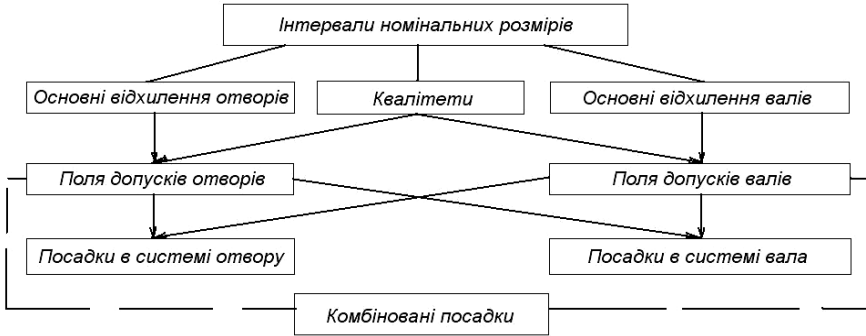


Рисунок 2.13 – Схема утворення полів допусків і посадок

Посадка позначається дробом, у чисельнику якого вказується позначення поля допуску отвору, а в знаменнику – позначення поля допуску вала, наприклад:

$$\frac{H7}{f6} \text{ або } H7/f6.$$

Позначення посадки вказується після номінального розміру посадки, наприклад:

$$40 \frac{H7}{f6} \text{ або } 40 H7/f6$$

На кресленнях деталей поля допусків можуть позначатися:

- буквеними позначеннями після номінального розміру елемента, наприклад:

$$40g6, \text{ } \varnothing 35r6, \text{ } \varnothing 40H7, \text{ } 50JS6;$$

- з указанням числових значень відхилень, наприклад:

$$40_{-0,025}^{-0,009}; \varnothing 35_{+0,034}^{+0,050}; \varnothing 40^{+0,025}; 50 \pm 0,008;$$

- буквеними і числовими позначеннями, наприклад:

$$40g6_{(-0,025)}^{(-0,009)}; \varnothing 35r6_{(+0,034)}^{(+0,050)}; \varnothing 40H7(^{+0,025}).$$

2.5 Принципи і методи вибору допусків та посадок

При виборі допусків і посадок необхідно керуватися наступним.

Квалітет, допуск, посадка повинні вибиратись так, щоб виконувались експлуатаційно-конструктивні вимоги, чкі ставляться до вузла або машини в цілому, тобто щоб забезпечувалось їх функціональне призначення. Для цього потрібно знати і враховувати:

- необхідний характер з'єднання;
- експлуатаційні умови (вібрації, температура, змашування і інш.);
- забезпечення взаємозамінності;
- вартість виготовлення.

Підвищення надійності, довговічності машин потребує максимального наближення дійсних розмірів деталей до розрахункових. Однак ця вимога обмежується технологічними можливостями виготовлення деталей, а іноді й можливостями технічних вимірів. Обробка деталей за більш точним квалітетом потребує більших витрат на обладнання, інструмент, пристосування. Зі зменшенням допуску збільшується також імовірність появи браку. Виготовлення за розширеними допусками більш просте, не потребує точного обладнання, але знижує точність і довговічність машин. Тому перед конструктором завжди постає завдання – раціонально вирішити протиріччя між експлуатаційними вимогами і технологічними можливостями, виходячи в першу чергу з виконання експлуатаційних вимог.

Вибір посадок проводиться одним із трьох нижчевказаних методів.

Метод прецедентів, або аналогів – посадка вибирається за аналогією з посадкою в надійно працюючому вузлі аналогічного експлуатаційного призначення.

Метод подібності – посадка вибирається на підставі рекомендацій літературних джерел або галузевих технічних документів.

Розрахунковий метод – посадка розраховується на підставі напівемпіричних залежностей.

Початковими даними для розрахунку і призначення посадки беруться: номінальний розмір з'єднаних деталей, отриманих у результаті міцнісних розрахунків або графічної побудови, і експлуатаційні характеристики з'єднання.

У ДСТУ ISO 286-2-2002 встановлені рекомендовані посадки для всіх інтервалів розмірів. Для розмірів від 1 до 500мм встановлено 69 посадок спільного застосування в системі отвору, з яких 17 переважальних, і 61 посадка в системі вала, з яких 10 переважальних.

2.5.1 Розрахунок посадок із зазором

Посадки із зазором використовуються як у рухомих, так і в нерухомих з'єднаннях.

У рухомих з'єднаннях зазор служить для забезпечення відносної свободи переміщення з'єднаних деталей, розміщення шару мастила між тертьовими поверхнями компенсації погіршностей форми і розташування поверхонь або температурних деформацій.

У нерухомих з'єднаннях зазор служить для забезпечення безперешкодного складання деталей, що особливо важливо при використанні змінних деталей, а також в умовах автоматизованого складання.

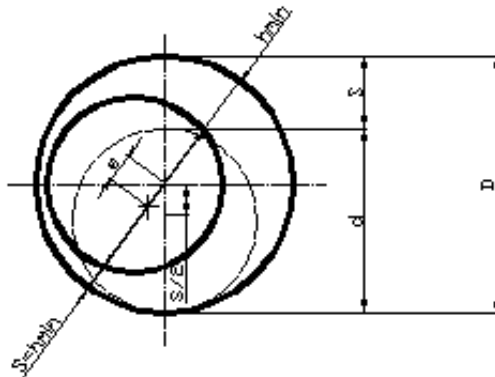
Найбільш відповідальним типом рухомих з'єднань є підшипники ковзання. Для забезпечення їх довговічності необхідні умови змащування, за якими не допускається розрив мастильного шару в зазорі між тертьовими поверхнями вала і отвору. В стані спокою вал лежить на поверхні втулки (рисунок 2.14). У робочому стані змащувальний матеріал захоплюється валом, що обертається, створюючи надлишковий тиск у зазорі між отвором і валом. Під

впливом тиску мастила вал відривається від поверхні отвору і утворює зазор, в який проникає мастило. Найменша допустима величина мастильного шару

$$H_{\min} = \frac{S}{2} - e = \frac{S}{2} - \frac{xS}{2} = \frac{1}{2}S(1-x) \quad (2.22)$$

При сталому режимі роботи настає рівновага між силами гідродинамічного тиску і навантаженням на вал, а положення вала щодо центру отвору характеризується абсолютним ексцентриситетом $-e$ і відносним ексцентриситетом $-x = \frac{e}{S/2}$ (рисунок 2.14)

Для забезпечення рідинного тертя товщина мастильного шару в зазорі має бути більшою, ніж сума висот мікронерівностей отвору і вала складових з'єднання ($Rz_{\text{отв}} + Rz_{\text{вала}}$) плюс можливі похибки форми, розташування, вигину вала і додаткові. У додаткових похибках враховуються відхилення навантаження, швидкості і температури від розрахункових значень, можливі включення в мастил та інші чинники.



D - діаметр отвору, d - діаметр вала, S_{\min} - мінімальний зазор, e - абсолютний ексцентриситет, x - відносний ексцентриситет.

Рисунок 2.14 – Схема положення цапфи вала в стані спокою і при сталому режимі роботи підшипника.

Величини мінімальних зазорів рекомендуються стандартом:

$$\text{для 6, 7, 8, 9, 10 квалітетів} \quad S_{\min} = \beta \sqrt{D}; \quad (2.23)$$

$$\text{для 11, 12, 13 квалітетів} \quad S_{\min} = \sqrt[3]{D} \cdot \beta \quad (2.24)$$

де β – коефіцієнт, залежний від посадки.

Максимально допустимий зазор у з'єднанні призначається виходячи з умов допустимого ексцентриситету. При цьому повинна дотримуватися умова: $S_{\max} \leq 2e - 1,2(Rz_{\text{отв}} + Rz_{\text{вала}})$ або $S_{\max} \leq 2e - 5(Ra_{\text{отв}} + Ra_{\text{вала}})$, де: $Rz_{\text{отв}}$, $Rz_{\text{вала}}$, $Ra_{\text{отв}}$, $Ra_{\text{вала}}$ – параметри шорсткості поверхні; e – абсолютний ексцентриситет.

У процесі експлуатації дійсний зазор у з'єднанні постійно збільшується. У початковий період зазор збільшується інтенсивніше за рахунок пластичної деформації і стирання вершин мікронерівності поверхні. При цьому площа «опорної» поверхні в підшипнику ковзання збільшується і питомий тиск на «контактній» поверхні знижується до розрахункової величини. У подальшій експлуатації зазор збільшується, поки не досягне величини $2e$, після чого знову починається інтенсивний знос.

Функціональними параметрами для посадок із зазором служать граничні значення зазору (S_{\min} і S_{\max}).

Конструктор, як правило, призначає граничні значення зазору, виходячи з умов розрахункового значення товщини мастильного шару в підшипниках ковзання, або з урахуванням досвіду використання аналогічних конструкцій, залежно від умов роботи вузла. Початковими даними для розрахунку посадки із зазором служать: D – номінальний діаметр з'єднання, S_{\min} – мінімальний зазор в з'єднанні, S_{\max} – максимальний зазор в з'єднанні.

Розрахунок посадки з зазором у системі отвору.

Розглянемо приклад розрахунку посадки для $D = 30$ з попередньо підрахованими граничними зазорами $S_{\min} \geq 0,010$; $S_{\max} \leq 0,065$.

1. Розраховуємо ступінь точності, достатню для забезпечення функціональних параметрів у заданому діапазоні.

Діапазон функціональних параметрів для посадок з гарантованим зазором визначається допуском зазору:

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,065 - 0,010 = 0,055.$$

Допуск зазору можна розглядати як допуск посадки, який у свою чергу дорівнює сумі допусків отвору і валу складових з'єднання:

$$TS = T_{\Pi} = IT_D + IT_d. \quad (2.25)$$

Приймаючи однаковий ступінь точності для отвору і вала, обчислюємо допуск отвору і вала:

$$IT = TS / 2 = 0,055 / 2 = 0,0275 = 27,5 \text{ мкм.}$$

У таблиці допусків ДСТУ ISO 286-1-2002 для номінального діаметра 30 знаходимо значення допусків: у 6 квалітеті - $IT = 13 \text{ мкм.}$, у сьомому квалітеті - $IT = 21 \text{ мкм.}$ і у восьмому квалітеті - $IT = 33 \text{ мкм.}$ Найближче до розрахункового (менше) табличне значення допуску $IT = 21 \text{ мкм.}$ відповідає сьомому квалітету точності. Отже, посадку розраховуватимемо в сьомому квалітеті.

Ступінь точності також можна визначити за числовим значенням a - коефіцієнта, що визначає кількість одиниць допуску у формулі розрахунку допусків для діаметрів до 500мм. - $IT = i \cdot a$.

$$a = IT / i;$$

$$a = IT / (0,45 \times \sqrt[3]{D_{cp}} + 0,001D_{cp}) = 27,5 / (0,45 \times (\sqrt[3]{30} + 0,001 \times 30)) = 27,5 / 1,41 = 19,5.$$

Зіставляючи отриманий результат з числовими значеннями a таблиці 2.3, отримуємо 7 квалітет для отвору.

2. Даємо обґрунтування вибору основи системи.

Приймаємо, як переважну, систему отвору і отвір з основним відхиленням H в сьомому квалітеті - $\text{Ø}30H7$.

3. Вибираємо основне відхилення для вала.

У посадках з гарантованим зазором абсолютне значення основного відхилення деталі (для вала це верхнє відхилення - es) має бути більше або дорівнювати мінімальному зазору: $es \geq S_{\min} \geq /10\text{мкм}/$.

З ДСТУ ISO 286-1-2002 вибираємо табличне значення основного відхилення вала і відповідне йому позначення.

Найближче відповідне йому позначення для вала з номінальним діаметром 30мм:

- основне відхилення g , дорівнює $+7\text{мкм}$;

- основне відхилення f , дорівнює $+20\text{мкм}$.

Якщо прийняти основне відхилення g , то величина мінімального зазору в з'єднанні буде меншою від гарантованого, що неприпустимо. Вибираємо вал з основним відхиленням f у сьомому квалітеті - $\text{Ø}30 f7$.

4. Виконуємо розрахунок параметрів для з'єднання $\text{Ø}30 \frac{H7}{f7}$.

З ГОСТ 25347-82, знаходимо граничні відхилення:

для отвору - $\text{Ø}30H7$:

$$ES = +21 \text{ мкм} = + 0,021 \text{ мм}$$

$$ES = 0$$

для вала – $\text{Ø}30f7$:

$$es = -20 \text{ мкм} = -0,020 \text{ мм}$$

$$ei = -41 \text{ мкм} = -0,041 \text{ мм}$$

Обчислюємо граничні розміри з'єднуваних деталей:

$$D_{\max} = D + ES = 30 + 0,021 = 30,021$$

$$d_{\max} = D + es = 30 + (- 0,020) = 29,980$$

$$D_{\min} = D + EI = 30,000 + 0 = 30$$

$$d_{\min} = D + ei = 30 + (-0,041) = 29,959$$

Обчислюємо функціональні параметри з'єднання:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es = 0,020$$

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = Es - ei = 0,062$$

Обчислюємо допуски отвору і вала, а також допуск посадки:

$$ITD = ES - EI = +0,021 - 0 = 0,021$$

$$ITd = es - ei = -0,020 - (-0,041) = 0,021$$

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,062 - 0,020 = 0,042$$

5. Накреслюємо схему розташування полів допусків для посадки $\text{Ø}30 \text{ H}7/f7$

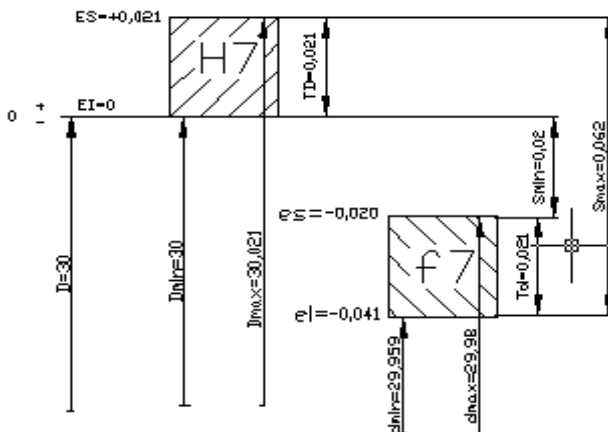


Рисунок 2.15 – Схема розташування полів допусків отвору і вала посадки $\text{Ø}30 \frac{\text{H}7}{f7}$

6. Записуємо умовні позначення розмірів, дозволені стандартом:

- для з'єднання – $\text{Ø}30 \frac{H7}{f7}$;
- для отвору – $\text{Ø}30H7$; $\text{Ø}30^{+0,021}$; $\text{Ø}30H7^{(+0,021)}$;
- для вала – $\text{Ø}30f7$; $\text{Ø}30_{-0,041}^{-0,020}$; $\text{Ø}30f7_{(-0,041)}^{-0,020}$;
- виконавчі розміри: отвору - $\text{Ø}30^{+0,021}$; вала - $\text{Ø}29,98_{-0,021}$.

Виконавчі розміри записуються як граничні розміри з допуском у тіло деталі.

Розрахунок посадки із зазором у системі вала

Розглянемо приклад, в якому при обґрунтуванні вибору підстави системи була б прийнята система вала і вал з основним відхиленням h в сьомому квалітеті - $\text{Ø}30h7$.

Вибираємо основне відхилення для отвору.

У посадках з гарантованим зазором абсолютне значення основного відхилення деталі (для отвору це нижнє відхилення - EI), має бути більшим або дорівнює мінімальному зазору, $EI \geq S_{\min} \geq +10 \text{ мкм}$.

З ДСТУ ISO 286-1-2002 вибираємо табличне значення основного відхилення для отвору і відповідне йому позначення. Найближчі основні відхилення для отвору номінальним діаметром 30мм:

- основне відхилення G , дорівнює $+7 \text{ мкм}$;
- основне відхилення F , дорівнює $+20 \text{ мкм}$.

Якщо прийняти основне відхилення G , то величина мінімального зазору в з'єднанні буде меншою від гарантованого, що неприпустимо. Вибираємо отвір з основним відхиленням F в сьомому квалітеті - $\text{Ø}30 F7$.

Виконуємо розрахунок параметрів для з'єднання $\text{Ø}30 \frac{F7}{h7}$.

З ДСТУ ISO 286-2-2002, знаходимо граничні відхилення; для отвору - $\text{Ø}30F7$

$$ES = +41 \text{ мкм} = +0,041 \text{ мм}$$

$$EI = +20 \text{ мкм}$$

для вала - $\text{Ø}30\text{h}7$

$$es = 0 \text{ мкм}$$

$$ei = -21 \text{ мкм} = -0,021 \text{ мм}$$

Обчислюємо граничні розміри деталей:

$$D_{\max} = D + ES = 30 + 0,041 = 30,041$$

$$d_{\max} = D + es = 30 + 0 = 30$$

$$D_{\min} = D + EI = 30 + 0,020 = 30,020$$

$$d_{\min} = D + ei = 30 + (-0,021) = 29,979$$

Обчислюємо функціональні параметри з'єднання:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es = 0,020 \quad (2.52)$$

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = Es - ei = 0,062 \quad (2.53)$$

Обчислюємо допуски деталей і допуск посадки:

$$ITD = ES - EI = +0,041 - 0,020 = 0,021$$

$$ITd = es - ei = 0 - (-0,021) = 0,021$$

$$TS = S_{\max} - S_{\min} = 0,062 - 0,020 = 0,042$$

$$T_{\Pi} = ITD + ITd = 0,021 + 0,021 = 0,042$$

5. Викреслюємо схему розташування полів допусків для посадки $\text{Ø}30 \frac{F7}{h7}$

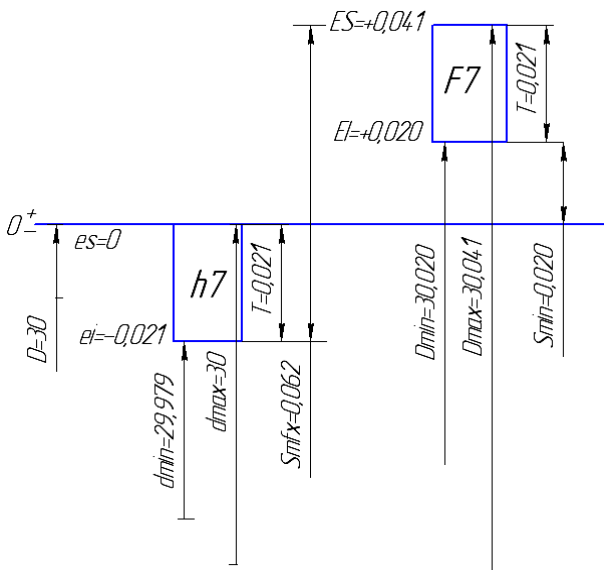


Рисунок 2.16 – Схема розташування полів допусків отвору і вала посадки $\text{Ø}30 \frac{F7}{h7}$

6. Записуємо умовні позначення для розмірів, дозволені стандартом:

- для з'єднання – $\text{Ø}30 \frac{F7}{h7}$;
- для отвору: $\text{Ø}30F7$; $\text{Ø}30_{+0,020}^{+0,041}$; $\text{Ø}30F7_{+0,020}^{+0,041}$;
- для вала: $\text{Ø}30h7$; $\text{Ø}30_{-0,021}$; $\text{Ø}30h7_{(-0,021)}$;
- виконавчі розміри: отвору – $\text{Ø}30,020_{+0,021}^{+0,041}$; вала – $\text{Ø}30_{-0,021}$.

При виборі основного відхилення деталі слід враховувати рекомендовані до використання для заданого номінального розміру основні відхилення і якості.

При виборі якості точності деталі в стандарті даються такі рекомендації:

- для розмірів менше 1мм (до 0,1 включно; понад 0,1 до 0,3 включно; понад 0,3 до 1) посадки отримують поєднанням полів

допусків отворів і валів однакового ступеня точності. Це пояснюється складністю обробки точних валів дуже малих діаметрів.

- для розмірів понад 1мм і до 500мм включно посадки отримують поєднанням полів допусків валів на один квалітет точніше, ніж квалітет отвору (рідше на два). Це пояснюється вищою трудомісткістю виготовлення точних отворів. Крім того, зменшуючи допуск вала, ми зменшуємо допуск посадки, що дає можливість продовжити термін експлуатації з'єднання із зазором.

2.5.2 Розрахунок перехідних посадок

Перехідні посадки використовують у нерухомих, але роз'ємних з'єднаннях при необхідності високої точності центрування деталей. У перехідних посадках не можна гарантувати ні зазор, ні натяг у з'єднанні. Велика ймовірність зазору може бути лише в з'єднанні з посадкою H/j велику вірогідність натягу в з'єднанні з посадкою H/n .

Перехідні посадки в системі отвору: H/j ; H/js ; H/k ; H/m ; H/n ;

Перехідні посадки в системі вала: J/h ; JS/h ; K/h ; M/h ; N/h .

Рекомендована точність для вала – 4; 5; 6; 7 квалітети, а для отвору – 5; 6; 7; 8 квалітети.

При необхідності передачі крутного моменту в з'єднанні з перехідною посадкою використовують додаткове кріплення у вигляді шпонки або штифта, а для забезпечення нерухомості в осьовому напрямку, стопорні кільця, стопорні гвинти, гайки й інші конструктивні елементи. Функціональними параметрами для перехідних посадок служать граничні значення зазору (максимальний зазор – S_{max}) і граничні значення натягу (максимальний натяг – N_{max}).

Розрахунок перехідної посадки проводиться, виходячи з умови забезпечення необхідної точності центрування і легкості збирання і розбирання з'єднання. Точність центрування визначається величиною радіального биття однієї зі спряжуваних деталей, наприклад

зубчастого колеса на валу. При однобічному зміщенні отвору відносно вала радіальне биття – F_r , може дорівнювати величині зазору в з'єднанні. Проте похибка форми і розташування поверхонь з'єднуваних деталей, змінання мікронерівностей і перекося при складанні можуть збільшити радіальне биття. Тому при розрахунку максимально допустимого зазору в перехідних посадках вводиться коефіцієнт запасу точності – $K_T = 2 \dots 5$, величина якого вибирається залежно від необхідної точності. Максимально допустимий зазор у з'єднанні визначають за формулою:

$$S_{\max} = \frac{F_r}{K_T}; \quad (2.25)$$

Тоді умовою вбору посадки буде:

$$S_{\max \text{ ст}} \leq S_{\max},$$

де $S_{\max \text{ ст}}$ – найбільший зазор стандартної посадки.

Легкість збирання і розбирання з'єднання визначається імовірність створення зазорів і натягів, розподіл яких підпорядкований нормальному закону розподілу розмірів деталей під час виготовлення (рисунок 2.16).

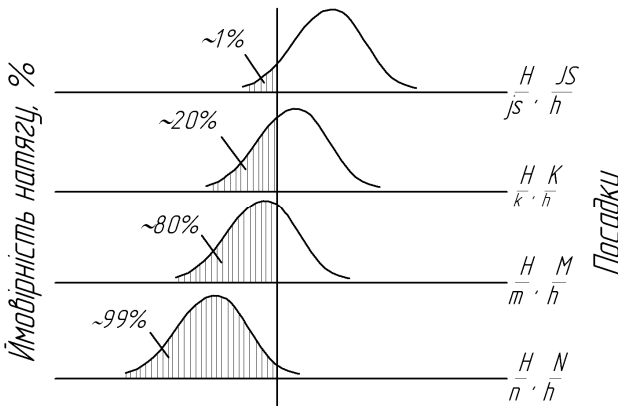


Рисунок 2.16 – Ймовірність створення зазорів і натягів під час виготовлення деталей

Розрахунок перехідної посадки в системі отвору

Розглянемо посадку зубчастого колеса зі ступенем точності 8В-ГОСТ 1643-81, числом зубів $z = 95$, модулем $m = 3$, отвором у маточині $D = 30$ мм, точність виконання отвору – 7 квалітет, вала – 6 квалітет. Крутний момент передається через шпонку.

1 З ГОСТ 1643-81 для заданого зубчастого колеса знаходимо величину допустимого радіального биття зубчастого вінця – $F_r = 80$ мкм.

2 Розраховуємо величину максимально допустимого зазору, прийнявши коефіцієнт запасу точності – $K_T = 4$.

$$S_{\max} = \frac{F_r}{K_T} = \frac{80}{4} = 20 \text{ мкм.}$$

3 Для побудови посадки застосуємо систему отвору і сьомий квалітет точності. З ГОСТ 25347-82 для отвору $\text{Ø}30\text{H}7$ знаходимо граничні відхилення: $EI = 0$, $ES = 21$ мкм.

4 Знаходимо величину нижнього відхилення вала:

$$ei = ES - S_{\max} = (21 - 20) \text{ мкм} = + 1 \text{ мкм.}$$

З ДСТУ ISO 286-1-2002 для номінального діаметру $D = 30$ знаходимо позначення стандартного значення нижнього відхилення вала – $ei = + 1$ мкм або найближчого більшого значення нижнього відхилення валу. Найближче основне відхилення вала, $k = + 2$ мкм. Згідно з рекомендаціям стандарту призначимо для вала 6 квалітет точності і отримаємо з'єднання – $\text{Ø}30 \text{ H}7/k6$.

5. Виконуємо розрахунок параметрів для з'єднання $\text{Ø}30 \text{ H}7/k6$.

З ДСТУ ISO 286-2-2002, знаходимо граничні відхилення:

для отвору – $\text{Ø}30\text{H}7$

$$ES = +21 \text{ мкм} = + 0,021 \text{ мм}$$

$$ES = 0$$

для вала – $\text{Ø}30k6$

$$es = +15 \text{ мкм} = +0,015$$

$$ei = +2 \text{ мкм} = +0,002$$

Обчислюємо граничні розміри деталей:

$$D_{\max} = D + ES = 30 + 0,021 = 30,021$$

$$d_{\max} = D + es = 30 + 0,015 = 30,015$$

$$D_{\min} = D + EI = 30,000 + 0 = 30$$

$$d_{\min} = D + ei = 30 + 0,002 = 30,002$$

Обчислюємо функціональні параметри з'єднання:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = Es - ei = 0,019$$

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = es - EI = 0,015$$

Обчислюємо допуски деталей і допуск посадки:

$$ITD = ES - EI = + 0,021 - 0 = 0,021$$

$$ITd = es - ei = 0,015 - 0,002 = 0,013$$

$$TS(TN) = S_{\max} + N_{\max} = 0,019 + 0,015 = 0,034$$

або

$$TS(TN) = ITD + ITd = 0,021 + 0,013 = 0,034$$

6. Викреслюємо схему розташування полів допусків для посадки $\text{Ø}30 \text{ H}7/k6$ (рисунок 2.17).

7. Записуємо умовні позначення розмірів дозволені стандартом:

- для сполучення: $\text{Ø}30 \frac{\text{H}7}{\text{к}6}$;
- для отвору: $\text{Ø}30\text{H}7$; $\text{Ø}30^{+0,021}$; $\text{Ø}30\text{H}7^{(+0,021)}$;
- для вала: $\text{Ø}30\text{к}6$; $\text{Ø}30^{+0,015}_{+0,002}$; $\text{Ø}30\text{к}6^{(+0,015}_{+0,002})}$;
- виконавчі розміри: отвору – $\text{Ø}30^{+0,021}$; вала – $\text{Ø}30,015_{-0,013}$;

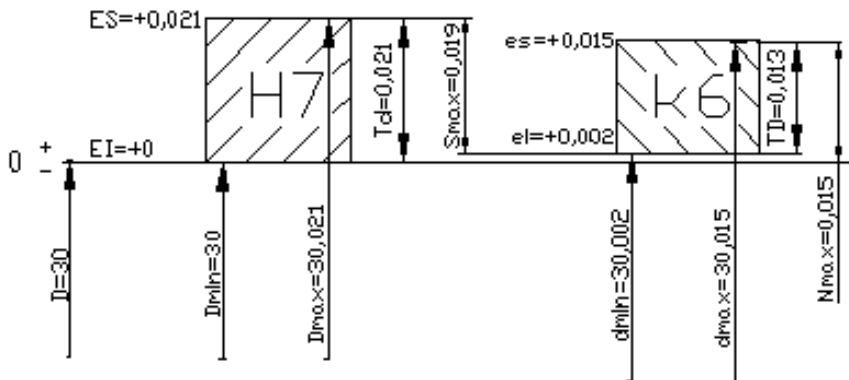


Рисунок 2.17 – Схема розташування полів допусків отвору і вала посадки $\text{Ø}30 \frac{\text{H}7}{\text{к}6}$

Розрахунок перехідної посадки в системі вала

Розглянемо приклад, в якому при обґрунтуванні вибору основи системи була прийнята система вала і вал з основним відхиленням h в шостому квалітеті – $\text{Ø}30\text{h}6$.

З ДСТУ ISO 286-2-2002 для вала $\text{Ø}30\text{h}6$ знаходимо граничні відхилення:

$$es = 0; ei = -0,015 \text{ мм.}$$

З формули $S_{\max} = ES - ei$ знаходимо величину верхнього відхилення отвору:

$$ES = S_{\max} + ei = 20\text{мкм.} + (-0,013) = +7 \text{ мкм.}$$

Для номінального діаметра $D = 30$ знаходимо (ДСТУ ISO 286-1-2002) позначення стандартного значення верхнього відхилення отвору – $ES = + 7\text{мкм}$ або найближчого меншого значення верхнього відхилення отвору. Найближче основне відхилення отвору – $K = + 6\text{мкм}$. Згідно з рекомендаціями стандарту призначимо для отвору 7 квалітет і отримаємо з'єднання – $\text{Ø}30\text{ K}7/h6$.

5. Подальший розрахунок виконується за методикою, викладеною в п.5 розрахунку перехідної посадки в системі отвору.

6. Викреслюємо схему розташування полів допусків для посадки $\text{Ø}30\text{ K}7/h6$ (рисунок 2.18).

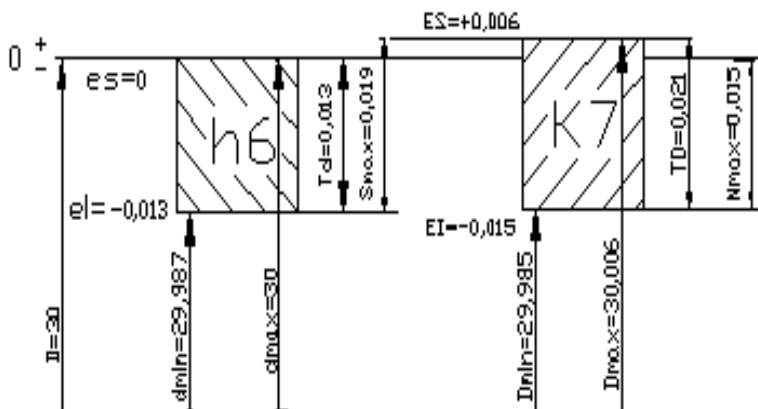


Рисунок 2.18 – Схема розташування полів допусків отвору і вала посадки $\text{Ø}30\text{ K}7/h6$

7. Записуємо умовні позначення розмірів дозволені стандартом;

- для сполучення: $\text{Ø}30\text{ K}7/h6$;
- для отвору: $\text{Ø}30\text{K}7$; $\text{Ø}30\left(\begin{smallmatrix} +0,006 \\ -0,015 \end{smallmatrix}\right)$; $\text{Ø}30\text{K}7\left(\begin{smallmatrix} +0,006 \\ -0,015 \end{smallmatrix}\right)$;
- для вала: $\text{Ø}30h6$; $\text{Ø}30_{-0,013}$; $\text{Ø}30h6_{(-0,013)}$;
- виконавчі розміри: отвору – $\text{Ø}29,985^{+0,021}$; вала – $\text{Ø}30_{-0,013}$;

2.5.3 Розрахунок посадок з натягом

Посадки з натягом призначені для нерухомих нероз'ємних з'єднань і характеризуються наявністю гарантованого натягу в з'єднанні.

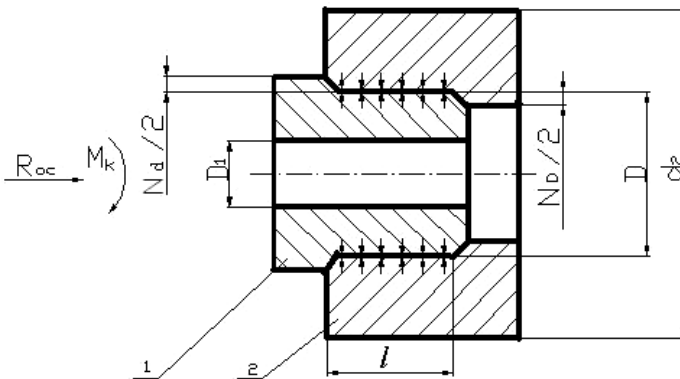
Посадки з натягом рекомендуються до використання в тих випадках, коли деталі, що з'єднуються, повинні забезпечити високий ступінь центрування або передачу значних навантажень, осьової сили (R_{oc}) і крутного моменту (M_k), винятково за рахунок сил тертя між контактними поверхнями.

Функціональними параметрами для посадок з натягом служать граничні значення натягу: N_{max} – максимальний натяг і N_{min} – мінімальний натяг.

Посадка вважається придатною до експлуатації якщо:

- при мінімальному натязі зберігається нерухомість з'єднання;
- при максимальному натязі забезпечується міцність з'єднаних деталей.

При запресуванні більшого за діаметром вала в менший за діаметром отвір відбудеться збільшення діаметра отвору на величину N_D і стискування вала на величину N_d (рисунок 2.19).



1 – порожнистий вал, 2 – втулка.

Рисунок 2.19 – З'єднання деталей з гарантованим натягом

Сумарна величина натягу при цьому складе

$$N = N_D + N_d. \quad (2.26)$$

Зміна діаметрів отвору і вала повинні статися в межах пружних або пружно-пластичних деформацій матеріалів, з яких вони виготовлені. На контактних поверхнях отвору і вала утворюється питомий тиск (P_{y0}), який забезпечить нерухомість з'єднання за рахунок сил тертя між контактними поверхнями отвору і вала

$$F_{тр} = \pi D l f P_{уд}, \quad (2.27)$$

де $\pi D l$ – площа контакту поверхонь деталей, що з'єднуються;
 f – коефіцієнт тертя.

З теорії міцності товстостінних посудин (задача Ляме) відомо:
 для отвору:

$$\frac{N_D}{D} = \frac{P_{уд} \cdot C_2}{E_2}, \quad (2.28)$$

для вала:

$$\frac{N_d}{D} = \frac{P_{уд} \cdot C_1}{E_1}, \quad (2.29)$$

де E_1 і E_2 – модулі пружності матеріалів.

C_1 і C_2 – коефіцієнти Ляме, які можуть бути розраховані за формулами:

для вала

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{D_1}{D}\right)^2}{1 - \left(\frac{D_1}{D}\right)^2} - \mu_1 \quad (2.30)$$

для отвору

$$C_2 = \frac{1 + \left(\frac{D}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{D}{d_2}\right)^2} + \mu_2, \quad (2.31)$$

де μ_1 і μ_2 – коефіцієнти Пуассона.

Склавши почленно рівності 2.28 і 2.29, отримаємо величину натягу в з'єднанні:

$$(N_D + N_d) = N = P_{уд} D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right). \quad (2.32)$$

За відомими значеннями зовнішніх навантажень (P_{oc} , M_k) визначається необхідний мінімальний питомий тиск на контактних поверхнях, при якому буде відсутнє відносне зміщення.

При дії осової сили:

$$P_{уд.мін} \geq \frac{P_{oc}}{\pi D \ell f}; \quad (2.33)$$

При навантаженні крутним моментом

$$P_{уд.мін} \geq \frac{2M_k}{\pi D^2 \ell f}. \quad (2.34)$$

При одночасному навантаженні крутним моментом і осовою силою розрахунок слід вести по рівнодійній силі T :

$$T = \sqrt{\left(\frac{2M_k}{D}\right)^2 + P_{oc}^2}; \quad (2.35)$$

$$P_{\text{уд.мін}} \geq \frac{T}{\pi D \ell f}. \quad (2.36)$$

Підставляючи значення $P_{\text{уд.мін}}$ у формулу 2.32, отримаємо значення мінімального натягу, що забезпечує нерухомість з'єднання:

$$N_{\text{min(розр.)}} = \frac{T}{\pi \ell f} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right). \quad (2.37)$$

Розрахунок мінімального натягу проводиться для ідеальних умов і не завжди відповідає реальним. У зв'язку з цим дійсна величина мінімального допустимого натягу – $N_{\text{мін}}$, приймається з урахуванням поправок.

$$N_{\text{мін}} = N_{\text{min(розр.)}} + \gamma_{\text{ш}} + \gamma_{\text{т}} + \gamma_{\text{ц}} + \gamma_{\text{п}}; \quad (2.38)$$

де $\gamma_{\text{ш}}$ – поправка, що враховує зм'яття мікронерівностей контактних поверхонь деталей при складанні $\gamma_{\text{ш}} = 1,2 (R_{\text{zd}} + R_{\text{zd}}) = 5 (R_{\text{ад}} + R_{\text{ад}})$;

$\gamma_{\text{т}}$ – поправка, що враховує вплив коефіцієнтів лінійного розширення залежно від робочої температури;

$\gamma_{\text{ц}}$ – поправка, що враховує послаблення натягу під впливом відцентрових сил;

$\gamma_{\text{п}}$ – поправка, що компенсує зменшення натягу при повторних запресуваннях.

Складання може виконуватися з попереднім нагрівом отвору або охолодженням вала. В цьому випадку зм'яття мікронерівностей контактних поверхонь деталей при складанні буде меншим і коефіцієнт тертя рекомендується збільшувати в 1,5 раза.

Розрахунок найбільшого натягу проводиться за умов максимально допустимого значення питомого тиску на контактних поверхнях деталей – $P_{\text{доп}}$, вище за яке відбувається пластична деформація матеріалу деталей, які з'єднуються. Тоді на основі теорії найбільших дотичних напружень умовою міцності деталей буде:

$$\text{для отвору} - P_{\text{доп}} \leq 0,58 \sigma_T \left[1 - \left(\frac{D}{d_2} \right)^2 \right]; \quad (2.39)$$

$$\text{для вала} - P_{\text{доп}} \leq 0,58 \sigma_T \left[1 - \left(\frac{D_1}{D} \right)^2 \right]. \quad (2.40)$$

При розрахунку максимально допустимого для даного з'єднання натягу як $P_{\text{доп}}$, приймається менше з двох розрахункових значень допустимого питомого тиску.

$$N_{\text{max(розр.)}} = P_{\text{max}} D \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \quad (2.41)$$

Реальні умови складання і експлуатації з'єднання враховуються і при призначенні максимального натягу.

$$N_{\text{max}} = N_{\text{max(расч.)}} \times \gamma_{\text{уд}} + \gamma_{\text{ш}} - \gamma_{\text{т}}. \quad (2.42)$$

Де $\gamma_{\text{уд}}$ – коефіцієнт збільшення питомого тиску в торців охоплювальної деталі.

Для призначення посадки можна скористатися ДСТУ ISO 286-1-2002 і ДСТУ ISO 286-2-2002, за такою методикою:

1. Прийняти основу системи і ступінь точності для основної деталі.

2. Вибрати граничні відхилення для основної деталі з ДСТУ ISO 286-2-2002.

3. Обчислити основне відхилення, використовуючи формулу

$$N_{\text{min}} = e_i - ES \quad (2.43)$$

- основне відхилення для вала в системі отвору

$$e_i = N_{\text{min}} - ES; \quad (2.44)$$

- основне відхилення для отвору в системі вала

$$ES = e_i - N_{\min}. \quad (2.45)$$

4. Керуючись ДСТУ ISO 286-1-2002, вибрати найближче більше зі встановлених стандартом основних відхилень для вала, або найближче менше для отвору і їх умовні позначення.

5. Вибрати граничні відхилення для деталі з ДСТУ ISO 286-2-2002.

6. Розрахувати граничні значення натягу для отриманого сполучення:

$$N_{\min(\text{табл.})} = e_i - ES; \quad (2.46)$$

$$N_{\max(\text{табл.})} = es - EI. \quad (2.47)$$

За отриманими величинами розрахованих і стандартних (табличних) натягів вибираємо посадку, витримуючи умови:

$$N_{\min(\text{табл.})} \geq N_{\min}$$

$$N_{\max(\text{табл.})} \leq N_{\max}$$

Стандартом рекомендуються до використання такі посадки з натягом:

- у системі отвору - $H/p; H/r; H/s; H/t; H/u; H/x; H/z$ з 5 по 8 квалітети;

- у системі вала - $P/h; R/h; S/h; T/h; U/h$ з 6 по 8 квалітети;

при цьому для з'єднань з високою точністю переважними будуть посадки з невеликим натягом.

Розрахунки граничних розмірів, функціональних параметрів і допусків виконуються в тій же послідовності.

Контрольні питання до розділів 2.1 – 2.5

1. Дайте визначення взаємозамінності.
2. Назвіть форми взаємозамінності.

3. Що таке розмір?
4. Дайте визначення номінального, граничного, виконавчого і дійсного розмірів.
5. Які ознаки характеризують єдину систему допусків і посадок?
6. Для чого визначається одиниця допуску?
7. Які квалітети точності використовуються для спряжених деталей?
8. Що таке основне відхилення?
9. Назвіть основні відхилення для утворення посадок з зазором.
10. Від чого залежить гарантований зазор?
11. Назвіть основні відхилення для утворення посадок з натягом.
12. Від чого залежить гарантований натяг?
13. Назвіть основні відхилення для утворення перехідних посадок.
14. Що лежить в основі розрахунку перехідних посадок?
15. Що таке система отвору? Наведіть приклади схем розташування полів допусків в системі отвору.
16. Що таке система вала? Наведіть приклади схем розташування полів допусків в системі вала.
17. Як позначаються поля допусків отвору, вала, спряження деталей на кресленнях?

2.6 Методи і засоби контролю деталей. Калібри гладкі для розмірів від 1 до 500 мм.

Виготовлення виробів машинобудування, мікроелектроніки, оптоелектроніки і обчислювальної техніки пов'язане з обробкою матеріалів за заданими розмірами, формою і якістю поверхні. При цьому якість виробів контролюється засобами вимірювання геометричних величин. За прийнятою класифікацією до техніки вимірювань геометричних величин відносять вимірювання довжин і кутів, відхилень розмірів, форми і розташування поверхонь, параметрів конусів, різьб і зубчастих коліс.

На результат виміру значно впливають роблять, при яких вони виконуються. Державним стандартом встановлені такі вимоги проведення лінійних вимірювань:

- температура навколишнього середовища 20°C;
- атмосферний тиск 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);
- відносна вологість навколишнього повітря 58 %;
- прискорення вільного падіння 9,8 м/с²;
- направлення лінії виміру лінійних розмірів, зовнішніх поверхонь до 160 мм вертикально, в решті випадків горизонтально. Допустимі межі відхилень від нормальних умов вимірювання нормовані в стандартах для різних видів вимірів.

Стандартом також встановлено, що результати вимірів для збігу повинні наводитися до вказаних нормальних значень, які впливають на величини.

Щоб уникнути додаткових похибок, рекомендується, щоб вимірювані вироби витримували при нормальній температурі від 2 до 36 ч залежно від їх маси і допусків на лінійні розміри. Засоби ж вимірювань повинні знаходитися в умовах, що відповідають указаним у стандартах, не менше 24 ч до початку вимірювань.

Методи контролю деталей можуть бути поділені:

1. За способом взаємодії вимірювального інструменту і деталі:
 - контактний;
 - безконтактний.
2. Залежно від взаємозв'язку показань приладу з вимірюваною величиною:
 - *прямі*, при яких шукане значення величини знаходять безпосередньо з експериментальних даних;
 - *непрямі*, при яких шукане значення величини визначають на основі відомої залежності між цією величиною і величинами, підданими прямим вимірюванням.

Прямі вимірювання поділяються на:

- *абсолютні*, вимірювання яких базується на прямих вимірюваннях;
- *відносні*, які ґрунтуються на порівнянні вимірюваної величини з відомим значенням міри.

3. *Диференційований* ґрунтується на вимірюванні кожного елемента окремо.

4. *Комплексний*, ґрунтується на визначенні придатності деталі одночасно за декількома вимірюваними елементами.

Засоби вимірювань розділяються на декілька груп, основними з яких є групи механічних і оптико-механічних приладів.

Розрізняють засоби лінійних вимірів *спільного призначення і спеціалізовані*, призначені для вирішення окремих вимірювальних завдань.

Представниками спеціалізованих засобів контролю розмірів є калібри.

2.6.1. Калібри

Калібри призначені для контролю придатності деталей що виготовляються з допуском за IT6-IT18 у багатосерійному і масовому виробництвах. Калібри не визначають дійсний розмір деталі, а лише констатують факт – чи знаходиться деталь у межах допуску, тобто між граничними розмірами – найбільшим і найменшим. Тому їх називають граничними калібрами.

Комплект для контролю деталей складається з двох калібрів – прохідного (ПР) і непрохідного (НЕ). Калібри для контролю отворів виконуються у вигляді *пробок*, пластин, стрижнів (рисунок 2.20), а для контролю валів – *скоб*, різних конструкцій кілець (рисунок 2.21).

При контролі калібрами виріб вважається придатним, якщо прохідний калібр вільно проходить через контрольований розмір, а непрохідний не проходить.

Калібри контролюють придатність деталі за її граничними розмірами і, у зв'язку з цим, номінальними розмірами для всіх калібрів прийнято вважати розміри, для контролю яких вони призначені:

- у прохідного калібра номінальний розмір дорівнює найбільшому граничному розміру вала або найменшому – отвору;
- у непрохідного калібра номінальний розмір дорівнює найменшому граничному розміру вала або найбільшому – отвору.

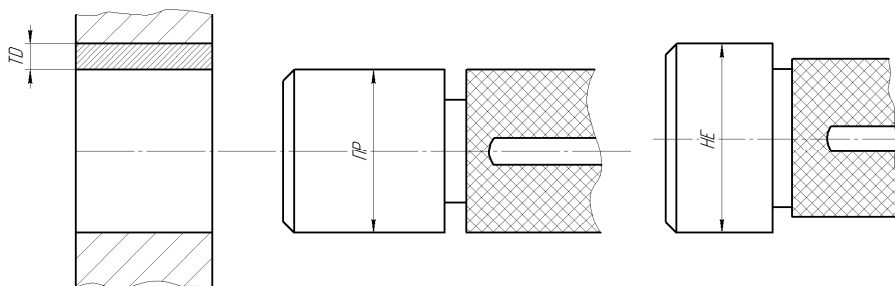


Рисунок 2.20 – Калібр пробка, прохідний (ПР) і не прохідний (НЕ)

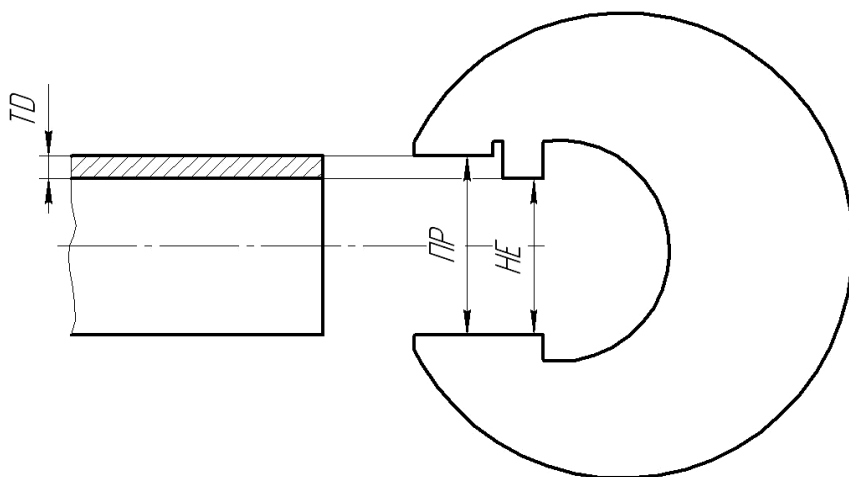


Рисунок 2.21 – Калібр скоба

Класифікація калібрів. В основу конструювання калібрів покладено принцип *подібності* (принцип Тейлора), відповідно до якого прохідні калібри повинні бути прототипом контрольованої деталі і обмежувати відхилення всіх елементів (тобто контролювати розміри по всій довжині з урахуванням похибок форми).

Непрохідні калібри повинні мати малу вимірювальну довжину і контакт, наближений до точкового, щоб перевіряти тільки власне розмір деталі.

Однак на практиці іноді доводиться відступати від принципу подібності внаслідок незручності контролю. Наприклад,

контролювати кільцем вал, який закріплено в центрах під час обробки на верстаті незручно, оскільки доводиться кожного разу знімати його. Тому замість кілець використовують контроль скобами.

Класифікацію за призначенням та конструктивними ознаками калібрів надає ДСТУ 2234-93.

Нумерацію калібрів для контролю валів і отворів призначає ГОСТ 24851-81 (таблиця 2.6), який встановлює 12 видів калібрів гладких. Відповідно до нього калібри поділяються на:

- *робочі* прохідні і непрохідні (номер вигляду калібра 1-4, 11, 12 в таблиці 2.6), призначені для контролю виробів під час їх виготовлення на робочому місці;

- *контрольні* калібри (К-ПР, К-НЕ, номер вигляду калібра 5, 6, 8, 9 в таблиці 2.6), призначені для контролю нерегульованих і установки на розмір регульованих калібрів скоб. Ці калібри є номінально прохідними. Контрольний калібр К-І (номер вигляду калібра 7, 10 в таблиці 2.6) є непрохідним і призначений для вилучення з експлуатації внаслідок зношування прохідних робочих скоб.

Контрольні калібри (контркалибри) виготовляються тільки для скоб. Робочі калібри пробки контролюються універсальними вимірювальними засобами.

Класифікацію за *конструкцією* надають: ГОСТ 14807-69 – 14827-69 Калібри пробки. Конструкція і розміри. ГОСТ 18358-73 – 18369-73 Калібри скоби. Конструкція і розміри.

Допуски калібрів регламентуються ГОСТ 24853-81.

Розміри робочого калібру ПР - пробка завжди більші від мінімально допустимого розміру контрольованого отвору (рисунок 2.22), для цього середина поля допуску калібру заглиблюється в поле допуску контрольованої деталі на розмір Z (рисунок 2.23).

Середина поля допуску калібру НЕ - пробка розташовується симетрично максимально допустимого розміру отвору.

Розміри робочого калібру ПР - скоби завжди менші від максимально допустимого розміру контрольованого вала, для цього середина поля допуску калібру, заглиблюється в полі допуску контрольованої деталі на розмір Z_1 (рисунок 2.23).

Таблиця 2.6 - Найменування калібрів

Позначення виду калібра	Найменування виду калібра		номер вигляду калібру
Калібри для вала і контрольні калібри, що відносяться до них			
Калібри з робочою поверхнею циліндричної форми	ПР	Калібр-кільце гладкий прохідний	1
	ПР	Калібр-скоба гладкий прохідний	2
	НЕ	Калібр-скоба гладкий непрохідний	3
	НЕ	Калібр-кільце гладкий непрохідний	4
	К-ПР	Калібр-пробка гладкий контрольний прохідний для нового гладкого прохідного калібра-скоби (кільця)	5
	К-НЕ	Калібр-пробка гладкий контрольний непрохідний для нового гладкого непрохідного калібра-скоби (кільця)	6
	К-І	Калібр-пробка гладкий контрольний для контролю зносу гладкого прохідного калібра-скоби (кільця)	7
Плоскі калібри (пластини)	К-ПР	Калібр гладкий контрольний прохідний для нового гладкого прохідного калібра-скоби	8
	К-НЕ	Калібр гладкий контрольний непрохідний для нового гладкого непрохідного калібра-скоби	9
	К-І	Калібр гладкий контрольний для контролю зносу гладкого прохідного калібра-скоби	10
Калібри для отвору			
	ПР	Калібр-пробка гладкий прохідний	11
	НЕ	Калібр-пробка гладкий непрохідний	12

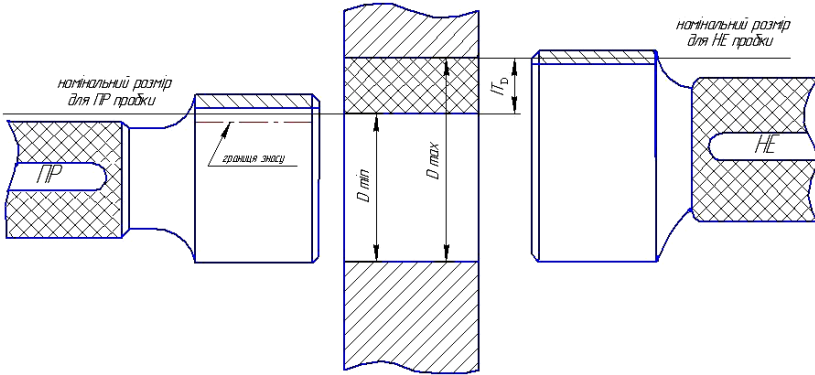
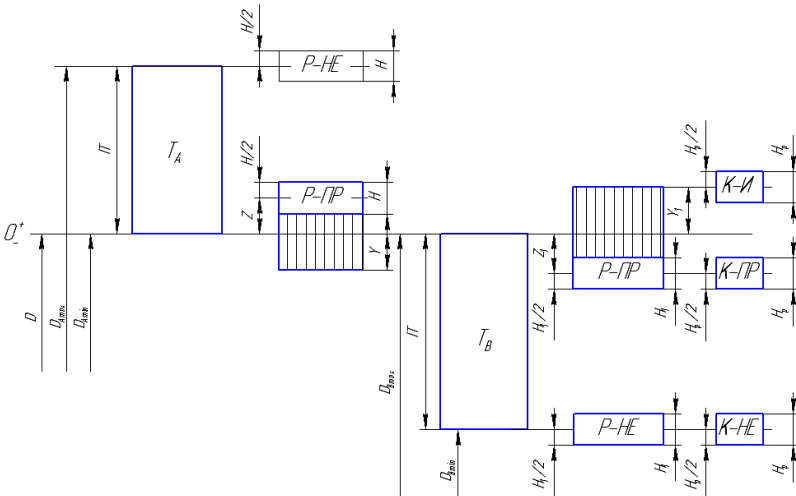


Рисунок 2.22 – Розташування полів допусків отвору і калібрів пробок



H – допуски на виготовлення калібрів для отвору; H_1 – допуск на виготовлення калібрів для вала; Z – відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для отвору щодо найменшого граничного розміру вала; Z_1 – відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для вала щодо найбільшого граничного розміру вала; V – допустимий вихід розміру зношеного прохідного калібру для отвору за межу поля допуску отвору; U_1 – допустимий вихід розміру зношеного прохідного калібру для вала за межу поля допуску вала.

Рисунок 2.23 – Схема розташування полів допусків калібрів для номінальних розмірів до 180 мм, 6, 7 і 8 квалітетів

Середина поля допуску калібра HE - скоби розташовується симетрично мінімально допустимого розміру вала.

Для грубіших квалітетів з 9 по 18 допустимий знос робочих прохідних калібрів зменшуються до найменшого граничного розміру отвору у пробок і до найбільшого граничного розміру вала в скоб (U і $Y_1 = 0$).

Для компенсації похибки контролю калібрами розмірів понад 180 мм у робочих прохідних калібрів границя зносу додатково зменшується на величини α і α_1 , а у робочих непрохідних калібрів середина поля допуску зміщується у бік зменшення виробничого допуску на величину α - від найменшого граничного розміру отвору і на величину α_1 - від найбільшого граничного розміру вала.

Як виробничий допуск, при контролі калібрами отворів, приймається розмір отриманий відніманням ($HE_{\min} - PR_{\max}$), а при контролі валів - ($PR_{\min} - HE_{\max}$).

Розрахунок калібрів номінальних розмірів до 180 мм, 6, 7 і 8 квалітетів.

Калібри для контролю отвору.

$$\begin{array}{ll}
 D_{\min} = D_{\min} + z - \frac{H}{2} & D_{\min} = D_{\max} - \frac{H}{2} \\
 D_{\max} = D_{\min} + z + \frac{H}{2} & D_{\max} = D_{\max} + \frac{H}{2} \\
 D_{\text{вук}} = D_{\min} + z + \frac{H}{2} \quad (-H) & D_{\text{вук}} = D_{\max} + \frac{H}{2} \quad (-H) \\
 D_{\text{зн}} = D_{\min} + Y &
 \end{array}
 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}} \right\} (2.48)$$

Калібри для контролю вала.

$$\left. \begin{aligned}
 d_{\min} &= d_{\max} - z - \frac{H_1}{2} & d_{\min} &= d_{\min} - z - \frac{H_1}{2} \\
 d_{\max} &= d_{\max} - z + \frac{H_1}{2} & d_{\max} &= d_{\min} - z + \frac{H_1}{2} \\
 d_{\text{вук}} &= d_{\max} - z - \frac{H_1}{2}^{(+H_1)} & d_{\text{вук}} &= d_{\min} + \frac{H_1}{2}^{(+H_1)} \\
 d_{\text{зн}} &= d_{\max} + Y_1
 \end{aligned} \right\} (2.49)$$

Контрольні калібри

К-ПР – пробка;

К-ПР – калібр гладкий;

$$d_{\min} = d_{\max} - z_1 - \frac{H_p}{2}; \quad (2.50)$$

$$d_{\max} = d_{\max} - z + \frac{H_p}{2}; \quad (2.51)$$

$$d_{\text{вук}} = d_{\max} - z_1 + \frac{H_p}{2}^{(-H_p)}; \quad (2.52)$$

К-НЕ – пробка;

К-НЕ – калібр гладкий;

$$d_{\min} = d_{\min} - \frac{H_p}{2}; \quad (2.53)$$

$$d_{\max} = d_{\min} + \frac{H_p}{2}; \quad (2.54)$$

$$d_{\text{вук}} = d_{\min} + \frac{H_p}{2} \quad (-H_p); \quad (2.55)$$

К-I– пробка;

К-I – калібр гладкий

$$d_{\min} = d_{\max} + Y_1 - \frac{H_p}{2}; \quad (2.56)$$

$$d_{\max} = d_{\max} + Y_1 + \frac{H_p}{2}; \quad (2.57)$$

$$d_{\text{вук}} = d_{\max} + Y_1 + \frac{H_p}{2} \quad (-H_p). \quad (2.58)$$

Вимоги до калібрів, матеріали калібрів та їх маркування.

Калібри можуть виготовлятися: цілісними, збірними, нерегульованими і регульованими.

Основними вимогами, яким повинні відповідати калібри, є: точність виготовлення, висока зносостійкість вимірювальних поверхонь, достатня оброблюваність, стабільність розмірів при зберіганні.

Робоча поверхня для забезпечення зносостійкості має бути досить твердою і виготовляється: з вуглецевої сталі У10А; У12А з подальшим гартуванням до високої твердості, з маловуглецевої сталі Ст15, Ст20 з цементацією робочої поверхні і подальшим гартуванням, або з легованих сталей Х, ХГ, ШХ15.

Останнім часом найширше використовуються калібри з робочою поверхнею, армованою твердим сплавом ВК6, ВК8, ВК9. Калібри з робочою поверхнею з твердого сплаву зберігають розмір у

межах допустимого зносу до 70 тисяч вимірів, що особливо важливе в масовому і багатосерійному виробництві.

Інститутом надтвердих матеріалів НАН України розроблено сплав “Славутич”, який витримав 870 тис. вимірів без видимих слідів зносу.

Шорсткість робочої поверхні Ra 0,16 ... Ra 0,08 для діаметрів до 100 мм.

Маркування повинне включати позначення: прохідної і непрохідної сторін калібра, номінального діаметра, основного відхилення, квалітета і граничні відхилення контрольованого розміру.

На робочому кресленні калібрів (складальному кресленні) обов'язково проставляються габаритні розміри і виконавчі розміри прохідної і непрохідної сторін калібра.

У технічних умовах на виготовлення калібрів вказується:

- розмір початкової сторони при повному зносі;
- решта розмірів за ГОСТ (на конструкцію калібра);
- допуски без спеціального позначення за ДСТУ ISO 2768-1-2001;
- цементувати h 0,8...1,2; HRC 52-56 (вимоги до твердості робочої поверхні);
- при використанні твердосплавних або керамічних пластинок, їх ГОСТ і матеріал;
- марка клею або припою і ГОСТ;
- решта технічних умов за ГОСТ 2015-69;

Контрольні питання до розділу 2.6

1. Назвіть методи контролю деталей.
2. Чим відрізняється диференційований метод контролю деталей від комплексного?
3. Як класифікуються калібри за призначенням?
4. Чим відрізняються табличний, виробничий та гарнтований допуски?
5. Які вимоги висуваються до калібрів?
6. З яких матеріалів виготовляються калібри?

2.7 Система допусків і посадок для підшипників кочення

Підшипники кочення є досить поширеними стандартизованими вузлами, які використовуються як опори для елементів конструкцій, які обертаються. Функціональне призначення підшипника - забезпечення мінімального коефіцієнта тертя при високій точності центрування обертових деталей.

Точність підшипникового вузла характеризується в основному такими чинниками:

- жорсткістю конструкції підшипникового вузла;
- точністю розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь підшипника;
- точністю виконання розмірів поверхонь вала і отвору в корпусі, що з'єднуються з підшипником;
- точністю форми взаємного розташування кілець підшипників, а також їх шорсткістю поверхонь;
- точністю обертання, яка характеризується радіальним і осьовим биттям доріжок коченням і торців кілець;
- вибором посадок підшипника на вал і в корпус.

На сьогодні випускається понад 20000 типорозмірів підшипників у діапазоні зовнішніх діаметрів від 1 мм до 3 метрів.

Підшипники кочення розрізняють:

а) за формою тіл кочення – кулькові або роликові (з короткими циліндровими роликами), довгими циліндровими роликами, конічними роликами, сферичними роликами, витими або голчастими роликами);

б) за направленням дії сприйманих сил:

- радіальні (рисунок 2.24 а), які сприймають переважно радіальне навантаження, що діє перпендикулярно осі обертання підшипника;

- упорні (рисунок 2.24 д), які сприймають переважно осьове навантаження, що діє уздовж осі обертання підшипника;

- радіально-упорні (рисунок 2.24 в, г), що сприймають як радіальне, так і осьове навантаження;

в) за числом рядів: однорядні (рисунок 2.24 а, в, г, д), дворядні (рисунок 2.24 б) і багаторядні;

г) самовстановлювані (рисунок 2.23 б) і несамовстановлювані (рисунок 2.24 а, в, г д).

Приєднувальними розмірами підшипників є (рисунок 2.24):

- D , зовнішній діаметр зовнішнього кільця підшипника;
- d , внутрішній діаметр внутрішнього кільця підшипника;
- монтажна висота (ширина) підшипника; B - для підшипників радіальних, H - для підшипників упорних і T - для підшипників радіально-упорних.

ГОСТом 3325-85 встановлено п'ять класів точності виконання розмірів підшипників; 0, 6, 5, 4 і 2 (P0, P6, P5 і P4). Перелік класів точності підшипників наведена в порядку підвищення точності їх виконання. При маркуванні підшипника клас точності позначається перед його умовним позначенням, наприклад 6-305, де: 6 – клас точності підшипника, 305 – умовне позначення підшипника за ГОСТ 8338 -75, яке обумовлює його конструкцію і розміри. При маркуванні підшипників нульового класу клас точності - "0" не вказується.

Точність приєднувальних розмірів підшипників, що значно вища за точність виконання розмірів з'єднаних з підшипником поверхонь. Наприклад, допуск на приєднувальний діаметр ($D=62$) зовнішнього кільця 305 підшипника, найгрубішого (0-го) класу точності, за ГОСТ 3325-85 становить 13 мкм, що відповідає величині допуску для 5-го квалітету.

Для скорочення номенклатури підшипників кочення, величини допусків на їх приєднувальні розміри, згідно з ГОСТ 3325-85, встановлені залежно лише від розмірів і класу точності підшипників і абсолютно не залежать від характеру з'єднання підшипників з корпусами і валами, тобто від посадки, за якою вони будуть змонтовані у вузлі. Клас точності підшипників призначається залежно від необхідної точності центрування обертової деталі і умов експлуатації.

Підшипники нульового класу точності рекомендуються до використання в більшості механізмів спільного машинобудування.

Підшипники вищих класів точності, 6 і 5, економічно доцільно використовувати в тих вузлах металорізальних верстатів, де точність обертання відбивається на шорсткості і точності оброблюваних поверхонь.

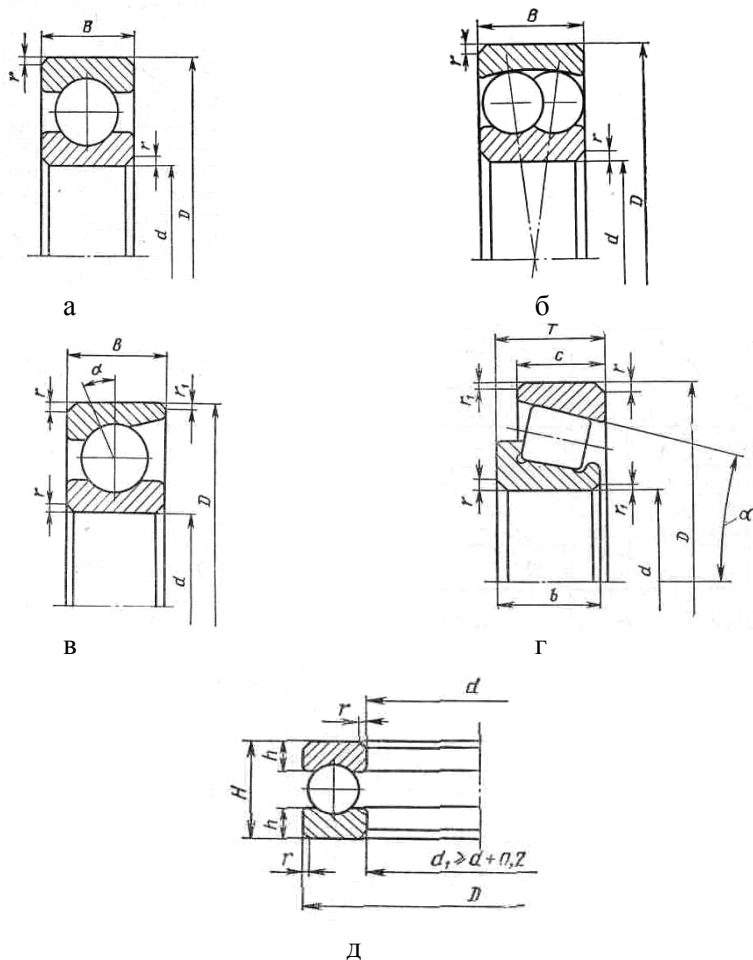


Рисунок 2.24 – Конструкції підшипників

Підшипники 4 і 2 класів точності рекомендуються до використання при частоті обертання понад 3000 об/хв, а також у контрольно-вимірювальних і навігаційних приладах.

Відповідно до стандарту 3325-85 поля допусків приєднувальних розмірів підшипників направлені вниз від нульової лінії – в мінус

(рисунк 2.25), тобто для всіх класів верхнє відхилення приєднувальних розмірів прийнято рівним нулю.

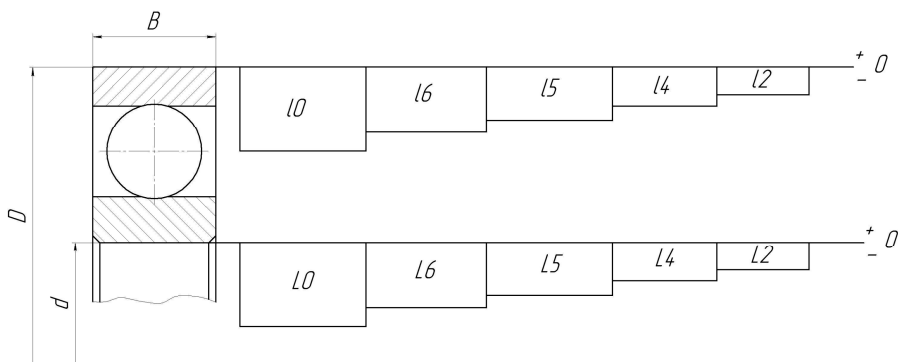


Рисунок 2.25 – Поля допусків приєднувальних розмірів підшипників кочення

2.7.1 Розташування полів допусків приєднувальних розмірів

Таким чином, у з'єднаннях кілець підшипників кочення з деталями прийняті посадки: для *внутрішнього* кільця підшипника (d) в системі отвору, а для *зовнішнього* кільця підшипника (D) в системі вала. Підшипники різних класів точності, але однакового типорозміру, мають повну зовнішню взаємозамінність за приєднувальними розмірами.

Прийнята схема розташування полів допусків для приєднувальних розмірів підшипників кочення (перевернене розташування поля допуску внутрішнього кільця підшипника) дозволяє використовувати стандартні відхилення для валів і отворів при призначенні посадок підшипників кочення.

Необхідні посадки у з'єднанні підшипника кочення з валом або корпусом отримують за рахунок змінення діаметрів вала d і отвору D в корпусі. Спеціальних полів допусків для утворення посадок з підшипниками немає, а використовуються поля допусків з ГОСТ 25347-82. Схема розташування рекомендованих полів допусків показана на рисунку 2.26.

Оскільки на спряжувані діаметри самих підшипників передбачені спеціальні допуски (за величиною і знаком відхилень), а допуски на діаметри валів і отворів у корпусах вибираються з загальної системи допусків на гладкі вироби, то при з'єднанні підшипника з валом або отвором характер посадки буде відрізнятися від одноіменних посадок для гладких циліндричних з'єднань. Так вали, оброблені з полями допусків під перехідні посадки, з'єднуються з підшипником тільки з натягом, а з полями допусків по $h5$, $h6$ і $g6$ характер посадки буде типу перехідних, тобто з натягом або із зазором (рисунок 2.26).

2.7.2 Вибір посадок у корпус і на вал

При виборі посадок за приєднувальними поверхнями підшипників враховують:

- величину і напрямок діючих на підшипник навантажень (постійні, періодичні, динамічні);
- частоту обертання;
- тип і розмір підшипника;
- температуру підшипника;
- умови монтажу (частота заміни підшипника);
- вид навантаження, який залежить від того, обертається кільце відносно радіального навантаження або не обертається.

На вибір посадки кільця підшипника і деталей, що з'єднуються з ними, переважний вплив здійснює вид навантаження кільця підшипника у вузлі.

Розрізняють три *види* навантаження кільця підшипників: місцеве, циркуляційне і коливальне.

При *місцевому* навантаженні (рисунок 2.27, а) кільце підшипника сприймає результуюче радіальне навантаження лише обмеженою ділянкою кола на доріжці кочення і передає її відповідній обмеженій ділянці посадкової поверхні вала або корпуса, що має місце, коли кільце не обертається. У цьому випадку посадка призначається з зазором або перехідна. Вибір такого характеру спряження обумовлений намаганням забезпечити більш рівномірне

зношування доріжок кочення необертового кільця, яке може повертатися під дією поштовхів і вібрацій.

При *циркуляційному* навантаженні (рисунок 2.27, б) кільце підшипника сприймає результуюче радіальне навантаження послідовно всім колом доріжки кочення і передає її також послідовно всій посадковій поверхні вала або корпуса, що має місце при обертовому кільці і постійно направленому навантаженні. Посадка призначається з натягом.

При *коливальному* навантаженні (рисунок 2.27, в) на кільце підшипника діє вектор постійної складової радіальної сили і вектор радіальної сили, що обертається, при цьому сумарний вектор цих сил не здійснює повного оберту, а коливається на певній ділянці нерухомого кільця. Посадка вибирається з числа щільно рухливих (js6, js5 – для внутрішнього кільця; JS7, JS6 – для зовнішнього кільця). Детальніше рекомендації для визначення виду навантаження кілець підшипника залежно від сприйманого навантаження наведені в довідковій літературі.

При циркуляційному навантаженні кілець підшипника посадку призначають залежно від інтенсивності радіального навантаження, яка розраховується за формулою:

$$P_R = F_r k_1 k_2 k_3 / b \quad (2.59)$$

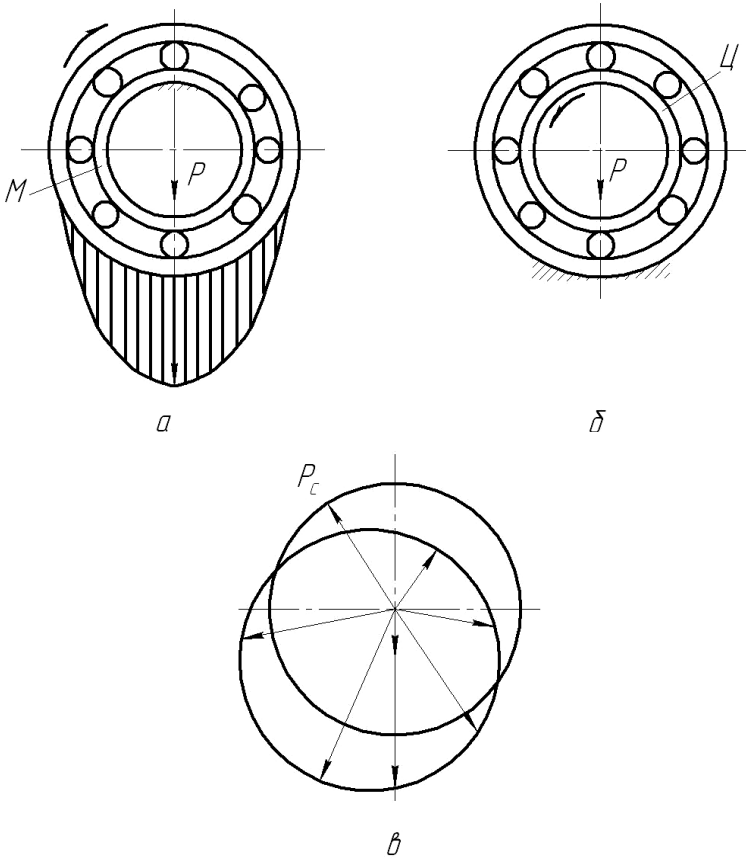
де F_r – радіальне навантаження на опору; k_1 – динамічний коефіцієнт посадки; k_2 – враховує ступінь послаблення натягу при порожнистому валі або тонкостінному корпусі; k_3 – враховує нерівномірність розподілу навантаження між тілами кочення в дворядних підшипниках; b – робоча ширина посадкового місця (ширина підшипника за вирахуванням фасок або радіусів скруглень).

Значення коефіцієнтів і інтенсивності навантажень наведені в довідковій літературі.

Приклад призначення посадки для підшипника 305 (клас точності – 0, $d=25$, $D=62$, $B=17$, радіус скруглень $r = 2$). Внутрішнє кільце підшипника надягається на порожнистий обертовий вал з отвором $d_1 = 10$ і схильне до циркуляційного виду навантаження. Радіальна реакція опору $F_r = 4000\text{Н}$. Навантаження ударне, перевантаження до 300%, осьового навантаження немає. З довідкової літератури знаходимо значення коефіцієнтів; $k_1 = 1,8$; $k_2 =$

1,6; $k_3 = 1$; $b = (B-2r)=17-4=13$; і обчислюємо інтенсивність радіального навантаження.

$$P_R = 4000 \cdot 1,8 \cdot 1,6 \cdot 1 / 0,013 = 886154 \text{ Н/м.}$$



а – місцеве; б – циркуляційне; в - коливальне

Рисунок 2.27 – Види навантаження кілець підшипника

При такій інтенсивності навантаження для вала, що з'єднується з підшипником нульового класу, рекомендується основне відхилення “k” в шостому квалітеті. Позначення посадки внутрішнього кільця підшипника з валом на складальному кресленні - E25 L0/k6 (рисунок 2.29).

Зовнішнє кільце підшипника встановлюється в корпус, не обертається і схильне до місцевого виду навантаження. Для нього рекомендуються стандартні основні відхилення “E8”, “G7”, “H8”и “H7” (рисунок 2.25), які забезпечать зазор у з'єднанні. Приймаємо для отвору в корпусі основне відхилення ”H” в сьомому квалітеті. Позначення посадки зовнішнього кільця підшипника з отвором на складальному кресленні - $\varnothing 62 \frac{H7}{10}$ (рисунок 2.29).

До з'єднуваних з підшипниками деталей ставляться особливі вимоги щодо відхилення форми і розташування та шорсткості:

- овальність і конусність поверхонь валів і корпусів (призводить до деформації кілець і, відповідно, доріжок кочення);
- радіальне і торцеве биття посадочних поверхонь (призводить до появи вібрацій);
- шорсткість поверхні (може призвести до порушення розрахункового значення характеру з'єднання).

Виходячи з вищевикладеного, овальність з'єднуваних з підшипниками кочення 0 і 6 класу поверхонь не повинна перевищувати половину допуску на виконання розміру деталі, а для підшипників 5, 4 і 2 класів – чверть допуску.

Конусоподібність посадочних місць, призначених для підшипників 0 і 6 класу, не повинна перевищувати чверть допуску на виконання розміру деталі, а для підшипників 5, 4 і 2 класів – одну восьму допуску.

Шорсткість посадкових і торцевих поверхонь на валах і в отворах, що з'єднуються з підшипниками нульового класу точності, рекомендується в межах Ra1,6...Ra0,8; для поверхонь, що з'єднуються з підшипниками шостого, п'ятого і четвертого класів точності, - в межах Ra0,8...Ra 0,4.

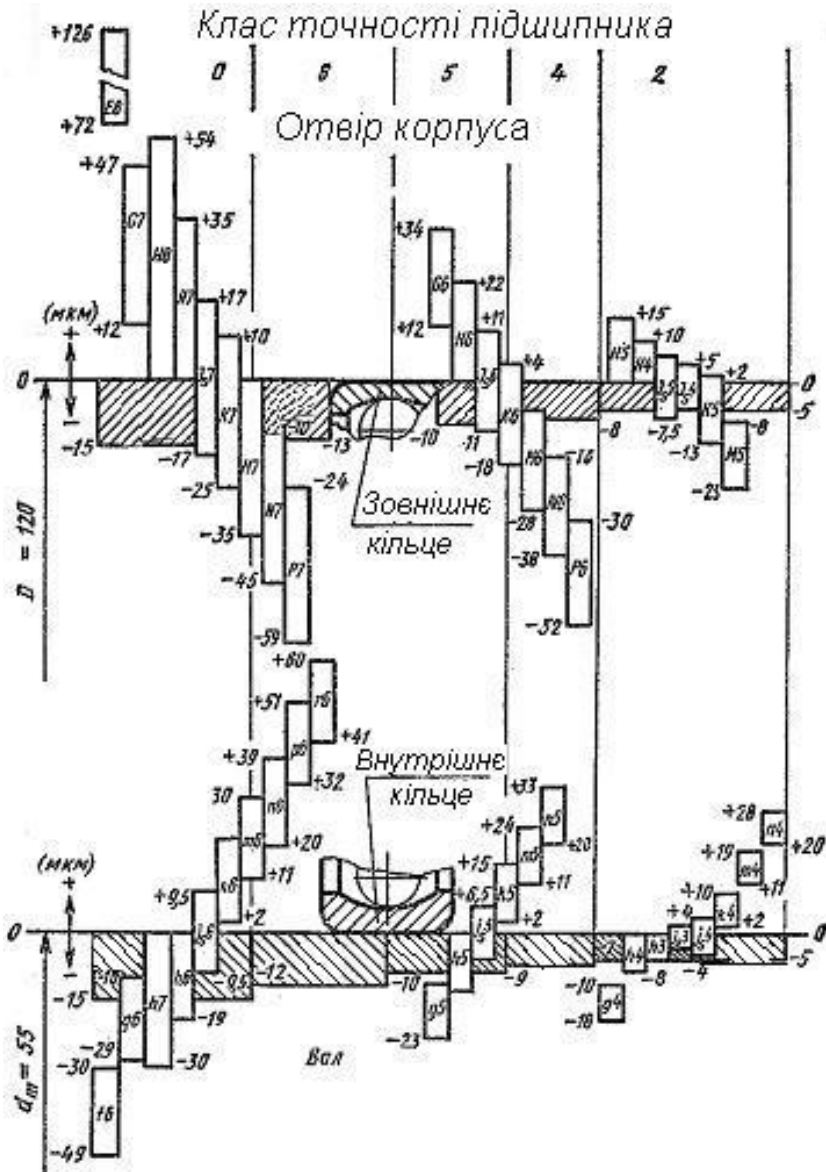


Рисунок 2.28 – Схема розташування рекомендованих полів допусків підшипників і з'єднаних з підшипниками поверхонь

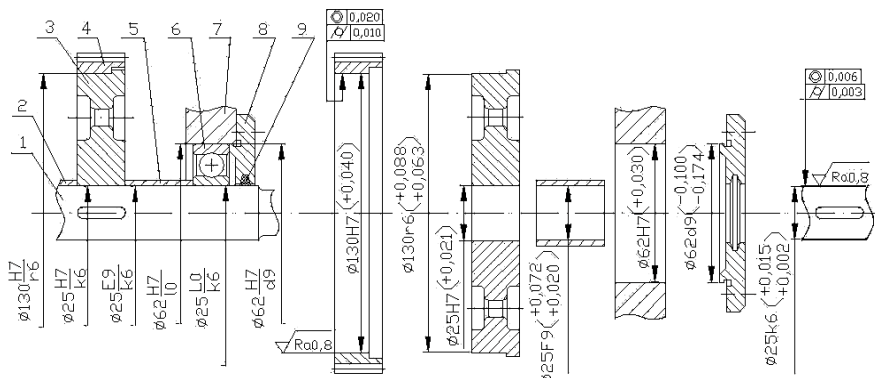


Рисунок 2.29 – Приклад позначення на кресленні посадок підшипників

Контрольні питання до розділу 2.7

1. Які класи точності використовуються для виконання розмірів підшипників?
2. В якій системі виконуються посадочні діаметри кілець підшипників?
3. Як розташовуються поля допусків приєднувальних розмірів підшипників кочення?
4. Назвіть види навантаження кілець підшипників.
5. Як призначаються поля допусків отвору в корпусі та вала?
5. В залежності від чого призначають шорсткість поверхонь підшипника, отвора в корпусі та вала?
6. Як визначається похибка конусності, овальності, форми поздовжнього перерізу?

2.8 Взаємозамінність, методи і засоби контролю нарізних з'єднань

Нарізні з'єднання широко поширені в машинобудуванні (у більшості сучасних машин понад 60% всіх деталей мають різьб).

Нарізні поверхні утворюються при гвинтовому переміщенні плоского контура певної форми по циліндричній або конічній поверхнях.

Різь може бути отримана на зовнішній (зовнішня різь – болт) і внутрішній (внутрішня різь - гайка) поверхні деталі.

За профілем витків (профілю плоского контуру) різі поділяється на трикутну, трапецеїдальну, упорну, круглу та ін.

За числом заходів – одно-, дво-, і багатозахідні.

Залежно від напрямлення обертання контура – праві і ліві.

У прийнятих одиницях виміру лінійних розмірів – на метричні і дюймові.

Для всіх кріпильних деталей стандартизовані і застосовуються метричні різі з трикутним профілем.

За експлуатаційним призначенням розрізняють різі спільного застосування і спеціальні, призначені для з'єднання одного типу деталей певного механізму. До першої групи відносяться:

- кріпильні (метрична, дюймова), які застосовуються для забезпечення міцності роз'ємних з'єднань деталей машин. Головна вимога до яких – забезпечити міцність з'єднання або зберегти щільність у процесі тривалої експлуатації;

- кінематичні для передачі точних кінематичних переміщень (трапецеїдальна і прямокутна), які застосовуються для ходових гвинтів, гвинтів супортів верстата і столів вимірювальних приладів і інш. Головна вимога до них – забезпечити точне переміщення при найменшому терті (висока точність кроку і гвинтової поверхні, а також висока зносостійкість контактуючих поверхонь);

- упорні, для перетворення обертального руху в поступальне – застосовуються в пресах, домкратах. Головна вимога – забезпечити плавність обертання і високу вантажопідйомність;

- трубні і арматурні (трубні циліндричні і конічні) - використовуються для трубопроводів і арматури різного призначення. Головна вимога – забезпечити герметичність з'єднання.

Експлуатаційні вимоги до різей залежать від призначення нарізних з'єднань. Спільними для всіх різей є вимоги надійності, довговічності і згвинчування без підгонки незалежно виготовлених нарізних деталей при збереженні експлуатаційних якостей з'єднання.

Внутрішні і зовнішні різі спільного призначення, а також більшість спеціальних різей контактують по бічних сторонах профілю. Контакт по вершинах і западинах різі унеможливується відповідним розташуванням полів допусків по зовнішньому і внутрішньому діаметрах. Залежно від характеру з'єднання по бічних сторонах профілю (тобто по середньому діаметру) розрізняють посадки із зазором, натягом і перехідні.

Дійсний характер взаємного контакту бічних сторін профілю різі на довжині згвинчування, тобто посадки, визначають не лише дійсні значення, але і відхилення кроку і половини кута профілю різьблення з'єднуваних деталей, тому характер посадки нарізного з'єднання залежить від зазору або натягу, які чисельно є різницею дійсних значень приведених середніх діаметрів різі болта і гайки.

Система допусків і посадок метричної різі діаметром до 600 мм ґрунтується на міжнародних стандартах. Ця система регламентована ГОСТ 16093-81 – посадки із зазором, ГОСТ 4608-81 – посадки з натягом і ГОСТ – 24834-81 – перехідні посадки. Крім того, ця система має велике значення міжнародної уніфікації, вона дозволяє забезпечити ширше впровадження різей із зазорами, які полегшують складання з'єднань, дають можливість нанесення антикорозійних покриттів, а також підвищити циклічну міцність нарізних з'єднань, що випробовують змінні навантаження.

2.8.1 Основні параметри і коротка характеристика кріпильних циліндричних різей

Основні параметри різі (рисунок 2.28):

- середній діаметр, d_2 (D_2);
- зовнішній діаметр, d (D);
- внутрішній діаметр, d_1 (D_1);
- крок різі, P ;
- кут профілю α ;

- висота початкового трикутника, H ;
- робоча висота профілю, H_1 ;
- номінальний радіус закруглення западини внутрішньої різі, R .

Профіль метричної різьблення для діаметрів від 0,25 до 600 мм і розмірів його елементів ($H=0,8660254P$; $H_1=5/8H=0,541265877P$; $R = H/8=0,144337567P$) регламентовано ГОСТ 9150-81, який передбачає різі вершин різі рівні $H/4$ у гайки і $H/8$ у болта.

Нарізні з'єднання з таким профілем відрізняються підвищеною міцністю порівняно з різю, що має менші різі; полегшується утворення зовнішньої різі накоченням і внутрішньої різі нарізуванням. Метрична різь при статичних навантаженнях має запас самогальмування.

Реальний профіль западин зовнішньої різі, що відрізняється від номінального, ні в одній точці не повинен виходити за лінію плоского зрізу на відстані $H/4$ від вершини початкового трикутника, а реальний профіль внутрішньої різі — за лінію плоского зрізу на відстані $H/8$ від вершини початкового трикутника (рисунок 2.30). Западини зовнішньої різі виконують плоскозрізаними або закругленими. При плоскозрізаній формі реальний профіль западини має бути розташований між лініями плоского зрізу на відстані $H/4$ і $H/8$ від вершини початкового трикутника, тобто в зоні I (рисунок 2.31, а). При закругленій формі западини різі, яке є переважним, радіус кривизни ні в одній точці не має бути менше $0,1P$ (рисунок 2.31, б), а її профіль повинен знаходитися в зоні II. При високих вимогах до міцності різі допускається встановлювати $R_{\min} = 0,125P$. Форма западини різі гайки не регламентується.

Форма западини різі впливає на циклічну довговічність болтів. Найменшу циклічну довговічність мають болти з плоскою западиною профілю, найбільшу — з западиною, обкресленою радіусом $R = H/4 \approx 0,216P$ (при закругленій западині різі значно зменшується концентрація напружень).

Статична міцність болтів із закругленою западиною трохи перевищує міцність болтів з плоским зрізом западини (різниця обумовлена лише збільшенням діаметра d_1 болта).

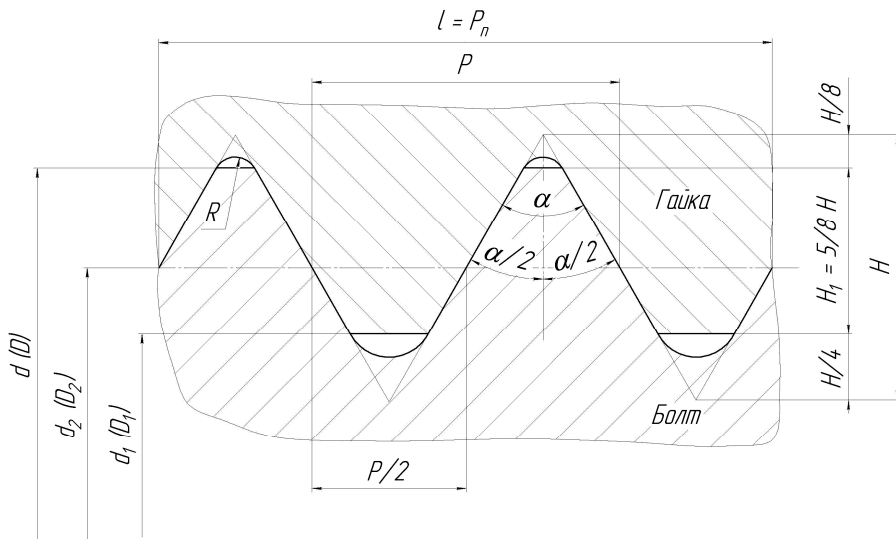
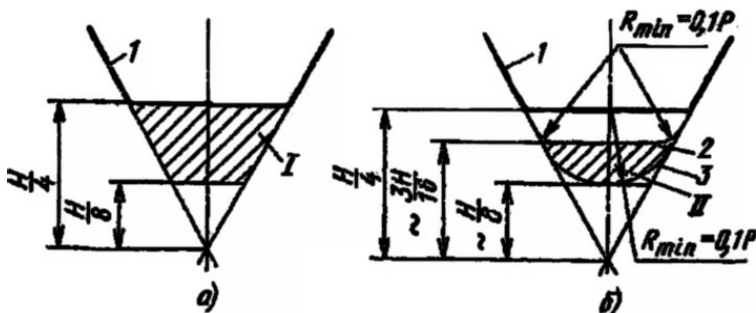


Рисунок 2.30 – Основні параметри різі



а – плоскорізані; б – закруглена (1 – номінальний профіль, 2и3 – верхній і нижній граничні профілі)

Рисунок 2.31 – Форми западини різі болта

Метрична різь буває з крупним і дрібним кроком. ГОСТ 8724-81 встановлює три ряди діаметрів метричної різі, в кожному з яких передбачені крупний і дрібні кроки. При виборі діаметрів різей

перший ряд слід надавати перевагу другому, другий — третьому. В різях з крупним кроком кожному зовнішньому діаметру відповідає крок, визначуваний залежністю $d (D) \approx 6 P^{1,3}$. У різей з дрібними кроками одному зовнішньому діаметру можуть відповідати різні кроки. Метричну різь з дрібними кроками застосовують при з'єднанні тонкостінних деталей, обмеженій довжині згвинчування, а також у випадках, коли потрібна підвищена міцність з'єднання (особливо при змінних навантаженнях).

2.8.2 Загальні принципи забезпечення взаємозамінності циліндричних різей

Системи допусків і посадок, що забезпечують взаємозамінність метричної, трапецеїдальної, упорної, трубної і інших циліндричних різей з прямолінійними бічними сторонами профілю, побудовані за єдиними принципами: вони враховують особливості конструкції нарізних деталей і наявність взаємозв'язку погіршностей окремих параметрів різі.

Граничні контури різі. На довжині згвинчування нарізних деталей розташовано декілька витків різі, які створюють нарізний контур. Номінальний контур різі визначає найбільший граничний контур різі болта і найменший — гайки. Він є контуром максимуму матеріалу на обробку. Від номінального контуру в напрямку, перпендикулярному до осі різі, відраховують відхилення і розташовують вниз поля допусків діаметрів різі болта, в протилежну сторону — поля допусків діаметрів різі гайки. При виготовленні нарізних деталей неминучі похибки профілю різі і її розмірів, можливі неконцентричність діаметральних перетинів та інші відхилення, які можуть порушити згвинчуваність і погіршити якість з'єднань. Для забезпечення згвинчуваності і якості з'єднань дійсні контури згвинчуваних деталей, які визначаються дійсними значеннями діаметрів, кута і кроку різі, не повинні виходити за граничні контури на всій довжині згвинчування.

Відхилення кроку і кута профілю різі і їх діаметральна компенсація.

У більшості різей по зовнішніх і внутрішніх діаметрах передбачаються зазори і поля допусків розташовано так, що похибки цих діаметрів не перешкоджають згвинчуваності різей. Тому згвинчуваність залежить тільки від точності середніх діаметрів (d_2, D_2), кроку (P) і кута профілю (α) різі. Зазначені похибки не залежать одне від одної, але між ними можна знайти математичний зв'язок. Це дозволяє вплив похибок P і α на згвинчуваність компенсувати допустимою похибкою середнього діаметра різі.

Відхиленням кроку різі ΔP називають різницю між дійсною і номінальною відстанями в осьовому напрямку між двома середніми точками будь-яких одноіменних бічних сторін профілю в межах довжини згвинчування або заданої довжини. Відхилення кроку складається з прогресивних похибок кроку, пропорційних числу витків різі на довжині згвинчування; періодичних, що змінюються за періодичним законом, і місцевих, незалежних від числа витків різі на довжині згвинчування. Співвідношення цих складових відхилення кроку залежить від технології виготовлення різі, точності устаткування, нарізного інструменту і інших чинників. Зазвичай прогресивні похибки кроку перевищують місцеві. Вони виникають унаслідок кінематичної похибки верстата і похибки кроку його ходового гвинта, зносу по всій довжині різі цього гвинта, температурних і силових деформацій гвинта верстата і оброблюваних деталей і інш. Місцеві похибки кроку є наслідком місцевого зносу різі ходових гвинтів, похибок кроку багатопрофільних нарізних інструментів, неоднорідності матеріалу заготовки та інших причин.

Для визначення діаметральної компенсації похибки кроку накладемо на осьовий перетин різі гайки, що має номінальний профіль і розміри, осьовий перетин різі болта, в якого на довжині згвинчування крок збільшений на ΔP_n (рисунок 2.32). При рівності діаметрів різьби болта і гайки ці деталі не згвинчуються. Якщо умовно поєднати ліві бічні сторони АВ профілів різі болта і гайки, то згвинчування виявиться неможливим унаслідок перекриття правих сторін профілів різі. У цьому випадку праві бічні сторони EF профілю різі болта і CD профілю різі гайки не поєднуються. Згвинчування нарізних деталей, що мають похибки кроку різі, можливе лише за наявності різниці f_P їх середніх діаметрів, отриманої в результаті зменшення середнього діаметру різі болта або збільшення середнього діаметру різі гайки. При зменшенні середнього діаметру різі болта на f_P профіль його різі

зміститься до осі у верхній частині різі на $0,5 f_p$ і в нижній частині різі (на рисунку 2.32 не показано) також на $0,5 f_p$. Нове положення профілю різі болта показане штриховою лінією. Бічна сторона профілю EF різі болта займає тепер положення E'F'. Крім того, весь болт може бути зміщений вліво на ab . Отже, при $ab = a'b' = 0,5 \Delta P_n$ бічна сторона EF профілю різі болта може бути поєднана з бічною стороною CD профілю різі гайки, тобто згвинчування стане можливим.

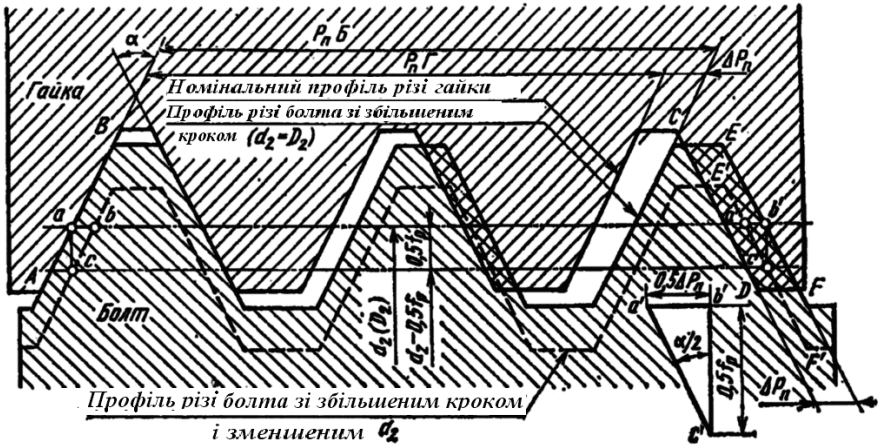


Рисунок 2.32 – Відхилення кроку ΔP_n і його діаметральна компенсація f_p

З трикутника $a'b'c'$, в якому $b'c' = 0,5 f_p$, знайдемо

$$0,5 f_p = 0,5 \Delta P_n \operatorname{ctg} \alpha / 2 \quad (2.60)$$

Величину f_p називають *діаметральною компенсацією похибок кроку* різі і визначають за формулами (ΔP_n і f_p в мікрометрах): для метричної різі ($\alpha = 60^\circ$) $f_p = 1,732 \Delta P_n$; для трубної різі ($\alpha = 55^\circ$) $f_p = 1,921 \Delta P_n$; для трапецеїдальної різі ($\alpha = 30^\circ$) $f_p = 3,732 \Delta P_n$, для упорної різі ($\beta = 30^\circ$; $\gamma = 3^\circ$) $f_p = 3,175 \Delta P_n$.

Діаметральну компенсацію погрешностей кроку необхідно визначати виходячи з абсолютного значення найбільшого відхилення

ΔP_n (накопиченої або місцевої похибки кроку), яка може бути як додатною, так і від'ємною.

При аналізі похибок кута профілю різі зазвичай вимірюють не кут α , а половину кута профілю $\alpha/2$, яка для метричної різі дорівнює 30° . Вимірюючи $\alpha/2$, можна встановити не лише величину α , але й перекис різі.

Відхиленням половини кута профілю різі $\Delta\alpha/2$ болта або гайки (для різей з симетричним профілем) називають різницю між дійсними і номінальними значеннями $\alpha/2$. Ця похибка може бути викликана похибкою повного кута профілю (при рівності половин кута), перекосом профілю щодо осі деталі (коли бісектриса кута симетричного профілю не перпендикулярна осі різі) і поєднанням обох чинників. Похибки половини кута профілю може бути викликана похибками профілю нарізного інструменту і похибкою установки його, перекосом осі деталі і інш.

Відхилення $\Delta\alpha/2$ при симетричному профілі різі знаходять як середнє арифметичне абсолютних значень відхилень обох половин кута профілю:

$$\Delta\alpha / 2 = 0,5 \left(\left| \Delta(\alpha / 2)_{np} \right| + \left| \Delta(\alpha / 2)_{лев} \right| \right) \quad (2.61)$$

На рисунку 2.33 показано перетин різі гайки з номінальним профілем 1, на яке накладено перетин різі болта 2, що має погіршеність половини кута профілю $\Delta\alpha/2$. При рівності діаметрів різі болта і гайки згвинчування цих деталей неможливе унаслідок перекриття профілів різі (зона 3). Згвинчування нарізних деталей, що мають похибку $\Delta\alpha/2$, як і деталей, що мають похибку кроку, можливо лише за наявності необхідного зазору по середніх діаметрах їх різі, тобто діаметральній компенсації f_a цієї похибки, яка може бути отримана в результаті зменшення середнього діаметру різі болта або збільшення середнього діаметру різі гайки.

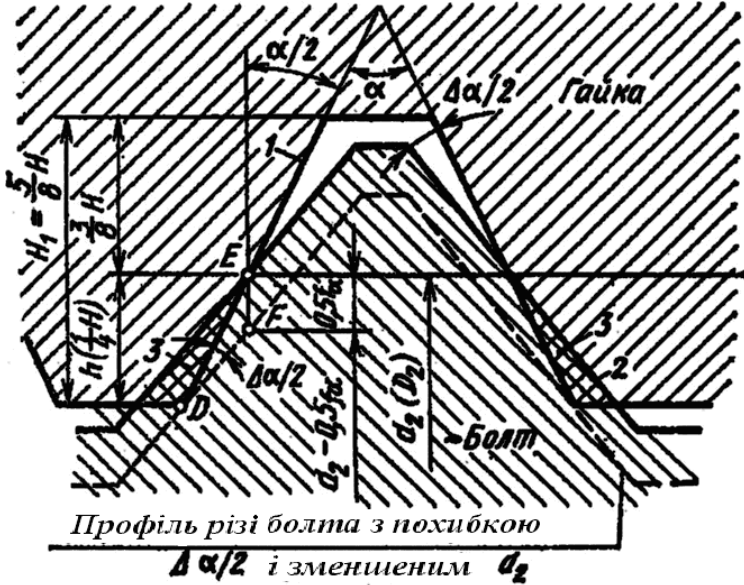


Рисунок 2.33 – Відхилення кута профілю $\Delta \alpha / 2$ і його діаметральна компенсація f_a

Величину f_a можна знайти з трикутника DEF.
Застосувавши теорему синусів, отримаємо

$$\frac{EF}{ED} = \frac{\sin(\Delta\alpha/2)}{\sin[180 - (\alpha/2 + \Delta\alpha/2)]}, \quad (2.62)$$

де $EF = 0,5f_a$; $ED = h/\cos(\Delta\alpha/2)$.

Кут $\Delta\alpha/2$ є малою величиною, тому можна прийняти

$$\sin[180 - (\alpha/2 + \Delta\alpha/2)] \approx \sin\alpha/2; \quad \sin\Delta\alpha/2 = \Delta\alpha/2. \quad (2.63)$$

Тоді рівняння набуває вигляду

$$(0,5f_a \cos\alpha/2)/h = (\Delta\alpha/2)/\sin\alpha/2, \quad (2.64)$$

звідки після перетворення отримуємо

$$f_a = (4h\Delta\alpha / 2) / \sin \alpha, \quad (2.65)$$

де $\Delta\alpha/2$ — в радіанах, h і f_a — в міліметрах.

Якщо $\Delta\alpha/2$ виразити в кутових хвилинах, а f_a в мікрометрах, отримаємо

$$f_a = \frac{4h\Delta\alpha/2}{\sin \alpha} \frac{2\pi}{360 \cdot 60} 10^3 \approx \frac{1,164h}{\sin \alpha} \Delta\alpha/2. \quad (2.66)$$

Для метричної різі $h = H/4 = 0,2165P$, для трубної і трапецеїдальної різей $h = 0,5H1$. Підставивши у формулу значення h , виражене через крок і значення $\sin\alpha$, отримаємо: для метричної різі $f_a \approx 0,29P\Delta\alpha/2$; для трубної різі $f_a \approx 0,35P\Delta\alpha/2$; для трапецеїдальної різі $f_a \approx 0,582P\Delta\alpha/2$; для упорної різі з $\beta = 30^\circ$ і $\gamma = 3^\circ$ $f_a = 0,46P(\Delta\beta + 0,75\Delta\gamma)$, де f_a — в мікрометрах; P — в міліметрах; $\Delta\alpha/2$ — відхилення в кутових хвилинах; $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ — абсолютні значення відхилень кутів нахилу сторін профілю в хвилинах. Це можливість привести відхилення ΔP і $\Delta\alpha/2$ до одного (діаметрального) напрямку і до однієї розмірності (мкм).

Приведений середній діаметр різі. Згвинчуваність можна вважати забезпеченою, якщо різниця середніх діаметрів різей болта і гайки не менша від сум діаметральних компенсацій кроку і половини кута профілю обох деталей. Для спрощення контролю різей і розрахунку допусків введено поняття приведенного середнього діаметра різі, що враховує вплив на згвинчуваність величин d_2 (D_2), f_p і f_a . Значення середнього діаметра різі, збільшене для зовнішньої або зменшене для внутрішньої різей на сумарну діаметральну компенсацію відхилень кроку і кута нахилу бічної сторони профілю, називають приведеним середнім діаметром. Для різей з симетричним профілем кута нахилу бічних сторін профілю $\beta = \gamma = \alpha/2$:

приведений середній діаметр для зовнішньої різі

$$d_{2np} = d_{2вим} + f_p + f_a; \quad (2.67)$$

для внутрішньої різі

$$D_{2np} = D_{2вим} - (f_p + f_a). \quad (2.68)$$

Тут $d_{2\text{вим}}$ і $D_{2\text{вим}}$ — виміряні (дійсні) значення середнього діаметру зовнішньої і внутрішньої різей (далі індекс «вим» опускаємо).

При точному визначенні значення приведенного діаметру необхідно враховувати відхилення форми бічних поверхонь і інші похибки різьби. Приведений середній діаметр можна зобразити як середній діаметр теоретичної різі, що не має відхилень кроку, кута профілю і відхилень форми, яка згвинчується з дійсною різзю без зазору і без натягу.

За наявності похибок кроку і половини кута профілю різі в обох деталей, отримуваний у з'єднанні зазор визначається різницею дійсних значень приведених середніх діаметрів внутрішньої і зовнішньої різей.

2.8.3 Система допусків і посадок різей із зазором

Для одержання посадок нарізних деталей із зазором в ГОСТ 16093-81 передбачено п'ять основних відхилень (d , e , f , g , h) для зовнішньої і чотири (E , F , G , H) для внутрішньої різей. Ці відхилення однакові для діаметрів d_1 , d_2 , d і D , D_2 , D_1 (рисунок 2.34). Основні відхилення визначають положення поля допуску щодо номінального діаметра.

Основні відхилення E і F установлені лише для спеціального застосування при значній товщині шару захисного покриття.

При поєднанні основних відхилень H/h утворюється посадка з найменшим зазором, рівним нулю. При поєднанні H/g , f , e , d , а так само G , E , F/h , g , f , e , d утворюється посадка з гарантованим зазором. Вказані основні відхилення для зовнішньої різі визначають верхнє відхилення, а для внутрішньої – нижнє відхилення діаметрів різі.

Основні відхилення h і H дорівнюють нулю, решту відхилень визначають за формулами:

для болтів:

$$es_g = - (15+11P); \quad (2.69)$$

$$es_f = - (30+11P); \quad (2.70)$$

$$es_e = - (50+11P); \quad (2.71)$$

$$es_d = - (80+11P), \quad (2.72)$$

де es – верхнє відхилення болта
для гайок:

$$EI_G = + (15+11P); \quad (2.73)$$

$$EI_F = + (30+11P); \quad (2.74)$$

$$EI_E = + (50+11P), \quad (2.75)$$

де EI – нижнє відхилення гайки.

Допуски діаметрів різі встановлюються залежно від ступеня точності (позначаються цифрами, наведеними в таблиці 2.8).

Таблиця 2.8 – Ступені точності

Вид різі	Діаметр різби	Ступінь точності
Зовнішня	d	4; 6; 8
	d_2	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10*
Внутрішня	D_2	4; 5; 6; 7; 8; 9*
	D_1	4; 5; 6; 7; 8

* лише для різби на деталях із пластмас.

Основним рядом допусків для всіх діаметрів різей є шостий ступінь точності. Його рекомендують для різей середньої точності і нормальної довжини згвинчування. Допуски по шостому ступеню точності визначається за наступними формулами:

- допуски зовнішнього діаметра болта

$$Td(6) = 180\sqrt[3]{P^2} - \frac{3,15}{\sqrt{P}}; \quad (2.76)$$

- допуски середнього діаметра болта

$$Td_2(6) = 90P^{0,4}d^{0,1}; \quad (2.77)$$

- допуски внутрішнього діаметра гайки

$$TD_1(6) = 433P - 190 \cdot P^{1,22} \text{ при } P < 1 \quad (2.78)$$

$$TD_1 = 230P^{0,7} \text{ при } P > 1; \quad (2.79)$$

- допуски середнього діаметра гайки

$$TD_2(6) = 1,32Td_2(6). \quad (2.80)$$

Допуски решти ступенів точності визначаються множенням допуску шостого ступеня точності на такі коефіцієнти:

Ступінь точності	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт	0,5	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5

Допуски на внутрішній діаметр зовнішньої різі (d_I) і зовнішній діаметр внутрішньої різі (D) не встановлюють.

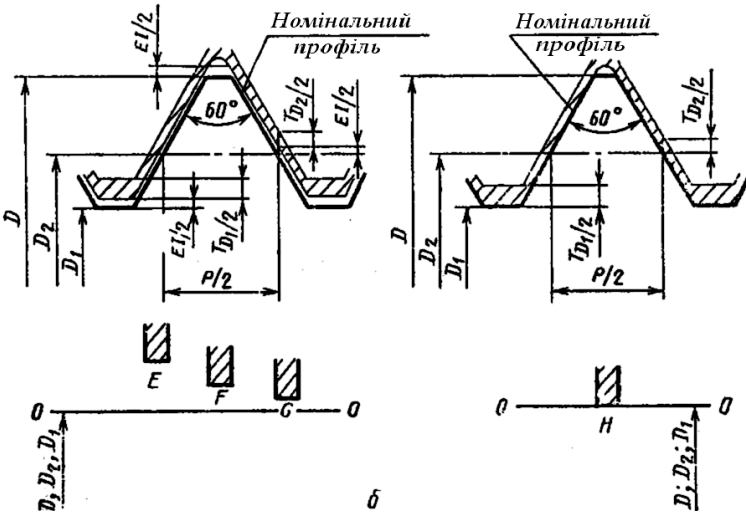
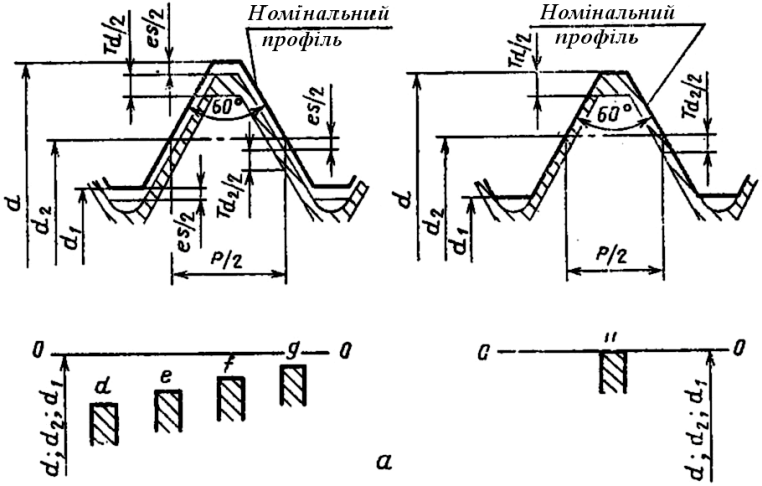
При одному і тому ж ступені точності різі допуск на середній діаметр гайки Td_2 на 1/3 більше допуску на середній діаметр болта.

По довжині згвинчування нарізні з'єднання діляться на три групи:

нормальні (N) - $2,24Pd^{0,2} \leq N \leq 6,7Pd^{0,2}$;

короткі (S) - $S < 2,24 Pd^{0,2}$;

довгі (L) - $L < 6,7 Pd^{0,2}$.



а – для болта, б – для гайки

Рисунок 2.34 – Схеми розташування полів допусків різей для посадок із зазором

Відповідно до практики, що склалася в багатьох країнах, поля допусків згруповані в три класи точності: точний, середній, грубий. Поняття про класи точності – умовне, його використовують для порівняльної оцінки точності різі. Точний клас рекомендується для відповідальних статично навантажених нарізних з'єднань, а так само коли потрібні малі коливання характеру посадки; середній клас – для різей спільного вживання і грубий – для різей, що нарізуються на гарячекатаних заготовках, у довгих глухих отворах і інш. При одному і тому ж класі точності допуск середнього діаметра при довжині згвинчування L рекомендується збільшувати, а при довжині S зменшувати на один ступінь порівняно з допусками, встановленими для нормальної довжини згвинчування N .

Поля допусків, прийняті в різних класах точності, указані в таблиці 2.9.

Умовне позначення поля допусків діаметра різі складається з цифри, що показує ступінь точності і букви, що позначає основне відхилення (наприклад, *6H*, *6g*, *7e*).

Позначення поля допуску різі складається з позначення поля допуску середнього діаметра, що розташовується на першому місці і позначення поля допусків зовнішнього діаметра для болта і внутрішнього для гайки. Наприклад:

7g6g

де 7 – ступінь точності;

g – основне відхилення;

7g – поле допуску середнього діаметра болта (Td_2);

6g – поле допуску зовнішнього діаметра болта (Td)

4H5H

де 4 – ступінь точності;

H – основне відхилення;

4H – поле допуску середнього діаметра гайки (TD_2);

5H – поле допуску внутрішнього діаметра гайки (TD_1).

Таблиця 2.9 – Поля допусків болтів і гайок

Деталь	Клас точності	Поле допуску при довжині згвинчення									
		S		N				L			
Болт	Точний	-	(3h4h)	-	-	-	4g	4h	-	-	(5h4h)
	Середній	5g6g	(5h6h)	6d	6e	6f	6g	6h	(7e6e)	7g6g	(7h6h)
	Грубий	-	-	-	-	-	8g	(8h)*	-	(9g8g)	-
Гайка	Точний	-	4H	-			4H5H, 5H		-	6H	
	Середній	(5G)	5H	6G			6H		(7G)	7H	
	Грубий	-	-	7G		7H			(8G)	8H	

* Лише для резей з кроком P >0,8 мм; для резей з кроком P (0,8 мм застосовують поле допуску 8h6h)

Якщо позначення поля допуску виступів збігається з позначенням поля допуску середнього діаметра, його в позначення поля допуску різі не повторюють (наприклад: $6H, 6g$).

Поле допуску різьблення вказують через дефіс після розміру (наприклад: болт M12 – 6g, гайка M12 - 6H; болт M12x1 – 6g; гайка M12x1 – 6H; болт із закругленою западиною – M12 – 6g – R). Посадки нарізних з'єднань позначають дробом, у чисельнику якого вказують поле допуску різі гайки, в знаменнику – поле допуску різі болта

(наприклад: M12 – $\frac{6H}{6g}$, ліва різь M12x1 LH – $\frac{6H}{6g}$). Якщо довжина

згвинчування відрізняється від нормальної, її вказують в позначенні різі: M12 – 7g6g – 30, де 30 – довжина згвинчування.

2.8.4 Система допусків і посадок різей з натягом

Посадки з натягом по середньому діаметру використовують, коли конструкція вузла не допускає вживання нарізного з'єднання типу болт-гайка через можливе порушення герметичності і самовідгвинчування шпильок під дією вібрацій, змінних навантажень і зміни робочої температури (наприклад: шпилька – корпус двигунів). Шпильку слід угвинчувати в корпус настільки туго, щоб виключити її провертання при затягуванні під час складання і експлуатації або при відгвинчуванні гайки при ремонті і огляді механізму.

Посадки з натягом регламентовані ГОСТ 4608-81, який поширюється на метричні різі з профілем за ГОСТ 9150-81 діаметром 5-45 мм і кроком 0,8-3 мм.

Установлювані стандартом посадки призначаються для зовнішніх різей (різьба на вгвинчуваному кінці шпильки) зі сталі, що з'єднуються із внутрішніми різями в деталях зі сталі, високоміцних і титанових сплавів, чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів.

Розташування полів допусків зовнішньої і внутрішньої різі показане на рисунку 2.35.

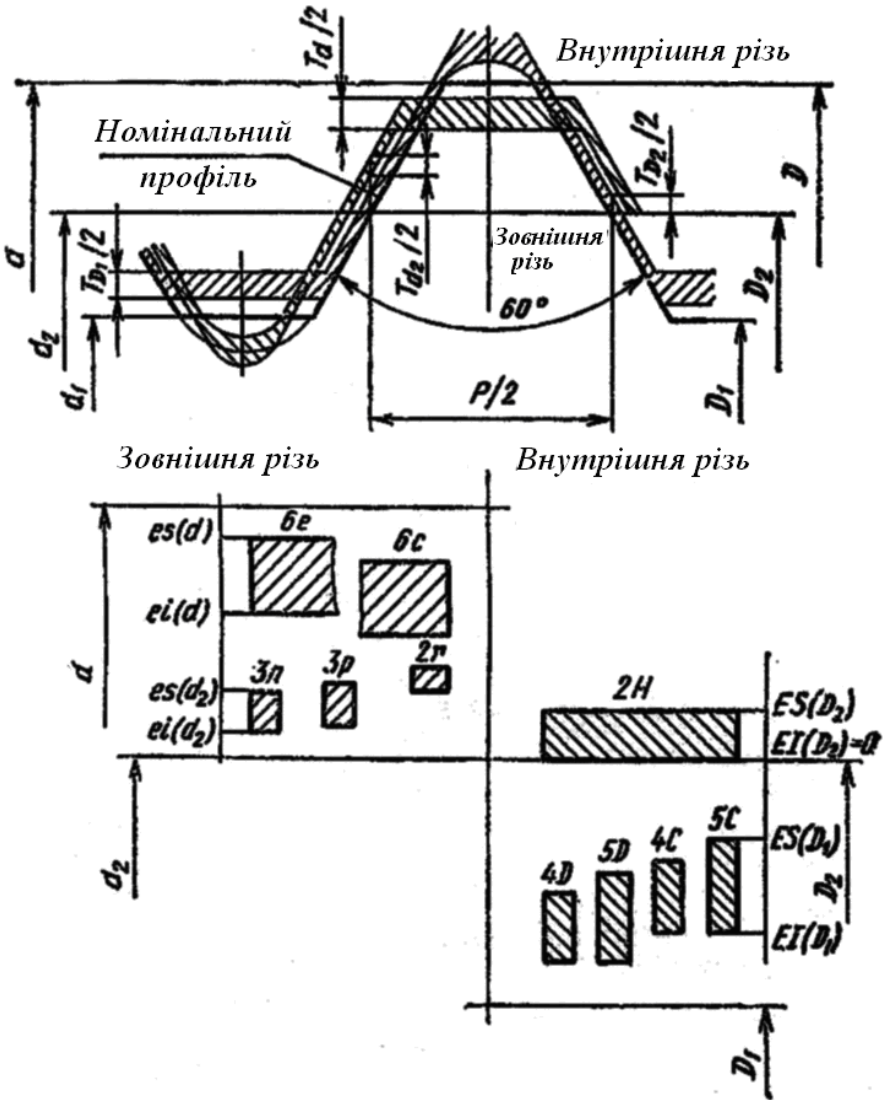


Рисунок 2.35 – Розташування полів допусків різі з натягом

Посадки з натягом по середньому діаметру передбачені лише в системі отвору, яка має великі технологічні переваги перед системою вала.

Числові значення основних відхилень розраховується за такими формулами:

для зовнішнього діаметра зовнішньої різі:

$$es_e = - (50+11P); es_c = - (125+11P); \quad (2.81)$$

для середнього діаметра зовнішньої різі:

$$ei_n = + (22,5+16P); \quad (2.82)$$

$$ei_p = + (30+22P); \quad (2.83)$$

$$ei_z = + (45+33P); \quad (2.84)$$

для внутрішнього діаметра внутрішньої різі:

$$EI_D = + (80+11P); \quad (2.85)$$

$$EI_C = + (125+11P). \quad (2.86)$$

Граничні відхилення внутрішнього діаметра зовнішньої різі не встановлені – їх обмежують положенням поля допуску середнього діаметра і граничними відхиленнями форми западини зовнішньої різі. Верхнє відхилення зовнішнього діаметру внутрішньої різі також не регламентоване. Встановлені поля допусків і посадки наведені в таблиці. 2.10. Довжини згвинчування нарізних з'єднань при посадках з натягом: $(1...1,25)d$, коли деталь з внутрішньою різзю виготовлена зі сталі; $(1,25...1,5)d$, коли деталь з внутрішньою різзю виготовлена з чавуну; $(1,5...2)d$, коли деталь з внутрішньою різзю виготовлена з алюмінієвих і магнієвих сплавів. При інших довжинах згвинчування або інших матеріалах потрібна додаткова перевірка посадок.

Для посадок з гарантованим натягом необхідно встановлювати дуже малі допуски по середньому діаметру. При великих допусках поєднання розмірів, що створює найменший натяг, не гарантує від повертання шпильок, при найбільшому натязі можливе руйнування

шпильки або зріз різі гнізда. У зв'язку з цим для різей з натягом допуск на власне середній діаметр різі встановлений: для гнізд за ступенем точності 2, для шпильок за ступенями точності 3 і 2. Допуск за ступенем точності 2 визначають за формулами:

$$Td_2(2) = 0,4 \quad Td_2(6) = 36 P^{0,4} d^{0,1} \quad (2.87)$$

$$Td_2(2) = 0,53 \quad Td_2(6) = 48 P^{0,4} d^{0,1}. \quad (2.88)$$

Для різей з натягом установлені допустимі відхилення половини кута профілю і кроку різі шпильок і гнізд. Відхилення половини кута профілю і кроку різі контролюють лише у шпильок, для гнізд ці відхилення забезпечують при виготовленні відповідного різального інструменту.

Експериментально встановлено, що похибки кроку і кута профілю різі, що близькі до максимально допустимих, знижують крутий момент на 10—25 %, причому вплив похибки кроку виявляється більшою мірою, ніж вплив похибки кута профілю. Похибки половини кута профілю і кроку різей з натягом мають бути мінімальними.

Приклад умовного позначення посадки різі з номінальним діаметром 12 мм, з крупним кроком

$$M12 - \frac{2H5C}{2r};$$

де $2H$ – поле допуску на середній діаметр внутрішньої різі;

$5C$ – поле допуску на внутрішній діаметр внутрішньої різі;

$2r$ – поле допуску на середній діаметр зовнішньої різі.

Посадки $\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$, $\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$, $\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$, $\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$ повинні

здійснюватися з сортуванням зовнішньої і внутрішньої різі на групи за середнім діаметром.

Таблиця 2.10 – Поля допусків і посадки для різей з натягом

Матеріал деталі з внутрішньою різзю	Поле допуску різі			Посадка при Р, мм		Додаткові умовні складки
	зовнішньої	внутрішньою при Р, мм		до 1,25	св. 1,25	
		до 1,25	св. 1,25			
Чавун і алюмінієві сплави	2г	2H5D	2H5C	$\frac{2H5D}{2r}$	$\frac{2H5C}{2r}$	-
Чавун, алюмінієві і магнієві сплави	3р (2)	2H5D (2)	2H5C (2)	$\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$	$\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$	Селективне сортування на дві групи
Сталь, високоміцні і титанові сплави	3п (3)	2H4D (3)	2H4C (3)	$\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$	$\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$	Селективне сортування на три групи
Примітка. У дужках вказано число груп сортування.						

2.8.5 Система допусків і посадок для перехідних нарізних з'єднань

Різи виконані за перехідними посадками, призначені для з'єднання зовнішніх різей виконаних у вигляді шпильок зі сталі, що з'єднуються з внутрішніми різями в деталях зі сталі, чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів. Стандартом допускається використання посадок і для інших матеріалів, але в цьому випадку потрібна додаткова перевірка посадки.

Перехідні посадки регламентовані ГОСТ 24834-81, який поширюється на метричні різі з профілем по ГОСТ 9150-81 діаметром від 5 до 45 мм і кроком від 0,8 до 4,5 мм.

Розташування полів допусків зовнішньої і внутрішньої різі показане на рисунку 2.36.

Числові значення основних відхилень середнього діаметра зовнішньої різі розраховуються за формулами:

$$e_{jh} = -(80+11P); \quad (2.89)$$

$$e_{ij} = -(25+11P); \quad (2.90)$$

$$e_{jk} = -(11P); \quad (2.91)$$

$$e_{im} = +(15+11P). \quad (2.92)$$

Числові значення допусків середніх діаметрів зовнішньої і внутрішньої різі розраховуються за формулами:

$$Td_2(2) = 0,4 \quad Td_2(6) = 36 P^{0,4} d^{0,1} \quad (2.93)$$

$$Td_2(3) = 0,68 \quad Td_2(6) = 61,2 P^{0,4} d^{0,1}, \quad (2.94)$$

де d – середньгеометричне значення інтервалу номінальних діаметрів. У дужках вказані ступені точності.

Числові значення основних відхилень зовнішнього діаметра зовнішньої різі, а також зовнішнього, середнього і внутрішнього діаметрів внутрішньої різі розраховуються за ГОСТ 16093-81.

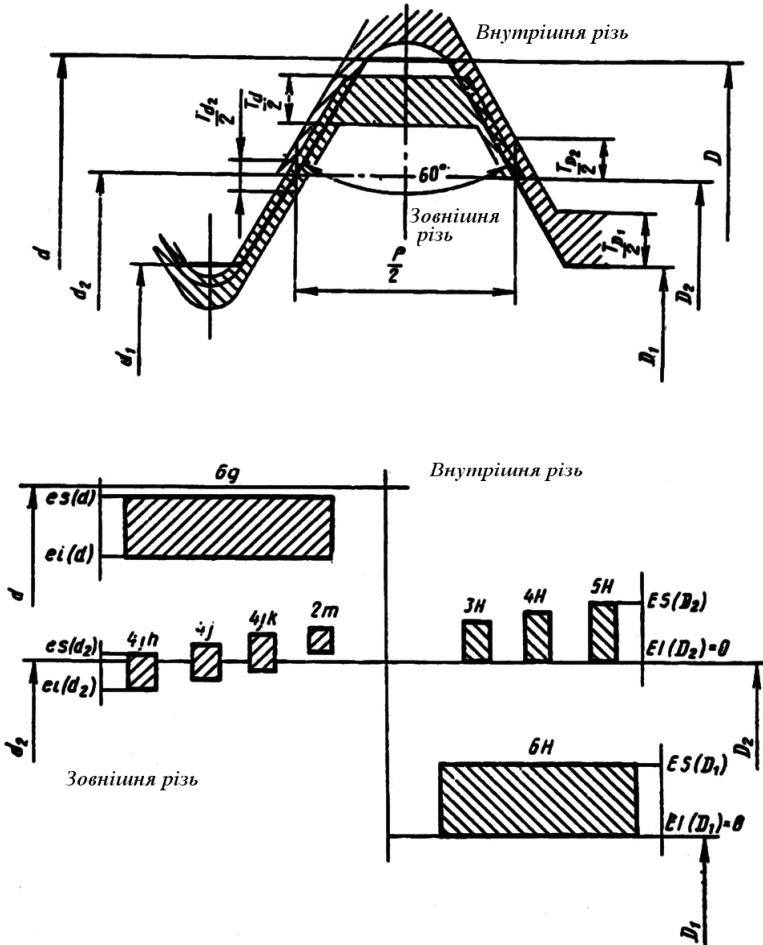


Рисунок 2.36 – Розташування полів допусків перехідних різьблених з'єднань

Поля допусків перехідних різьблених з'єднань показані в таблиці 2.10. Форма западини зовнішнього різьблення має бути закругленою (рисунок 2.37). Для різі з кроком $P \leq 1$ мм допускається плоскокрізна форма западини.

Таблиця 2.10 – Поля допусків і посадок перехідних нарізних з'єднань.

Номінальний діаметр різи, мм	Матеріал деталі з внутрішньої різи	Поля допусків		Посадки
		Зовнішньої різи	Внутрішньої різи	
Від 5 до 16	Сталь	$\frac{4jk}{2m}$	$\frac{4H6H}{3H6H}$	$\frac{4H6H}{4jk}; \frac{3H6H}{2m}$
	Чавун, алюмінієві і магнієві сплави	$\frac{4jk}{2m}$	$\frac{5H6H}{3H6H}$	$\frac{5H6H}{4jk}; \frac{3H6H}{2m}$
Від 18 до 30	Сталь	$\frac{4j}{2m}$	$\frac{4H6H}{3H6H}$	$\frac{4H6H}{4j}; \frac{3H6H}{2m}$
	Чавун, алюмінієві і магнієві сплави	$\frac{4j}{2m}$	$\frac{5H6H}{3H6H}$	$\frac{5H6H}{4j}; \frac{3H6H}{2m}$
Від 33 до 45	Сталь, чавун, алюмінієві і магнієві сплави	$4jh$	$5H6H$	$\frac{5H6H}{4jh}$

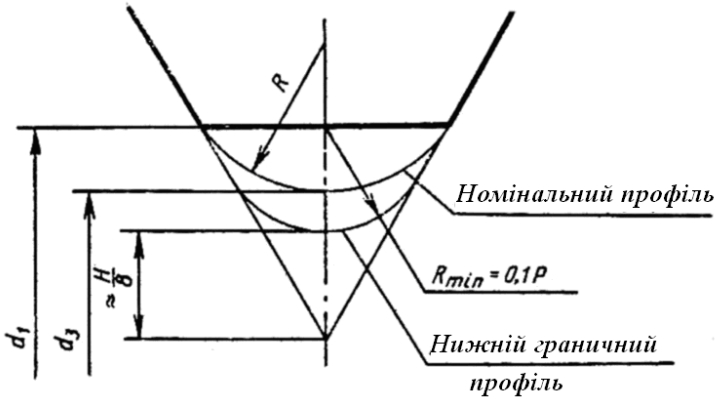


Рисунок 2.37 – Форми западини зовнішньої різі

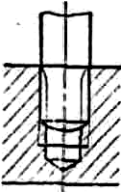
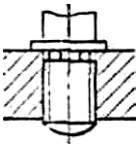
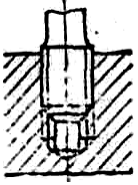
Стандартом установлені такі довжини згвинчування:

Матеріал із внутрішньою різзю	Довжина згвинчування	
Сталь.....	від $1d$	до $1,25d$
Чавун.....	від $1,25d$	до $1,5d$
Алюмінієві і магнієві сплави.....	від $1,5d$	до $2d$

Оскільки в перехідній посадці не завжди гарантується отримання натягу в з'єднанні, то необхідно застосовувати додаткові елементи заклинювання, наведені рекомендації з використання яких у таблиці 2.11.

При виборі ступеня точності різі або виду нарізного з'єднання необхідно знати умови роботи з'єднання, характер і величини навантажень, вимоги до міцності з'єднання, а також враховувати витрати на виготовлення різі. Слід пам'ятати, що виготовлення різі підвищеної точності — дуже складна і трудомістка операція, вимагає великої витрати різенарізного і різевимірювального інструменту (внаслідок малих допусків на знос) і супроводжується великим відсотком розмірного браку.

Таблиця 2.11 – Види заклинювання різі

Вид заклинювання	Матеріал деталі з внутрішньою різзю	Примітка
<p>1. Конічний збіг різі</p> 	<p>Сталь, чавун, алюмінієві і магнієві сплави</p>	<p>Найчастіше використовується. Застосовується в наскрізних і глухих отворах. Не рекомендується використовувати при високих динамічних навантаженнях. При дуже великому крутному моменті, може мати місце деформація внутрішньої різі у верхній частині нарізного отвору.</p>
<p>2. Плоский бурт</p> 	<p>В основному алюмінієві і магнієві сплави</p>	<p>Застосовується в наскрізних і глухих отворах. Площина заклинювання бурту має бути перпендикулярна до осі різі. Діаметр бурту має бути не менше $1,5 d$</p>
<p>3. Циліндрична цапфа</p> 	<p>Сталь, чавун, алюмінієві і магнієві сплави</p>	<p>Застосовується лише в глухих отворах. Надає меншу стопорну дію, ніж в елементів заклинювання 1 і 2. Діаметр циліндричної цапфи повинен бути дещо меншим за внутрішні різі. Кут конуса на кінці циліндричної цапфи повинен збігатися з кутом заточки свердла для отвору під різь.</p>

Міцність різьбового з'єднання при циклічних навантаженнях визначається величиною зазору по середньому діаметру, а не виготовленням різі особливо високої точності. Тому при дії циклічних

навантажень необхідно вибрати різь з гарантованим зазором, враховуючи і решту чинників, що впливають на міцність нарізного з'єднання, — матеріали нарізних деталей, конструкцію і технологію їх виготовлення. Лише при вирішенні комплексу питань можна технічно правильно і з урахуванням економічної доцільності призначити певний вид нарізного з'єднання з необхідною точністю виготовлення болта і гайки.

Приклад умовного позначення полів допусків перехідних нарізних з'єднань з номінальним діаметром 12 мм, з крупним кроком.

$$M12 - \frac{4H6H}{4j},$$

де 4Н – поле допуску середнього діаметра внутрішньої різі;

6Н – поле допуску внутрішнього діаметра внутрішньої різі;

4j – поле допуску середнього діаметра зовнішньої різі.

Поле допуску зовнішнього діаметра зовнішньої різі в позначенні не вказується.

2.8.6 Система допусків і посадок трапецеїдальних і упорних різей (кінематичних різей)

Кінематичні різі, застосовувані для гвинтових пар, мають гарантовані зазори по спряжуваних поверхнях. Зазори необхідні для розміщення змащувального матеріалу і зменшення тертя, компенсацій температурних деформацій і створення однопрофільного контакту по бічних сторонах профілю різі. Основним показником точності гвинтових пар є різниця дійсного і теоретичного переміщення однієї з деталей пари в осьовому напрямку.

На відміну від кріпильних різей, у яких необхідний великий опір самовідгвинчуванню, в кінематичних різях важливо мати мале тертя. Приведений коефіцієнт тертя $f_l = f/\cos \alpha/2$ (де f – коефіцієнт тертя) для трапецеїдальної різі на 40%, а для метричної на 15% більше, ніж для прямокутної, але прямокутну різь важче виготовити, і вона має меншу міцність і зносостійкість. У з'єднаннях з трапецеїдальною різзю

посадка гайки по похилих бічних сторонах профілю (по середньому діаметру) добре центрує деталі, а радіальні й осьові зазори можуть бути вибрані застяганням розрізної гайки.

Трапецеїдальна різь. Система допусків і посадок трапецеїдальної різі з профілем за ГОСТ 9484-81 встановлена ГОСТ 9562-81 для однозахідної і ГОСТу 24739-81 для багатозахідної. Номінальний профіль і розташування полів допусків трапецеїдальної різі показані на рисунку 2.38.

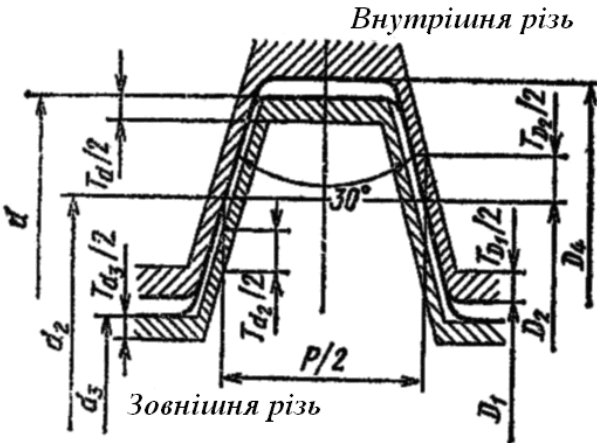


Рисунок 2.38 – Розташування полів допусків однозахідної трапецеїдальної різі

Встановлені основні відхилення для середнього діаметра гвинтів однозахідної різі — c , e , g і h , багатозахідної різі — c , e , і g ; для середнього (D_2), внутрішнього (D_1) і зовнішнього (D_4) діаметрів різі гайки — H ; для зовнішнього (d) і внутрішнього (d_3) діаметрів болта — h . Верхнє відхилення зовнішнього діаметра гайки, граничні відхилення окремо кроку і кута профілю не встановлені. Допуски середнього діаметру трапецеїдальної різі є сумарними. Поля допусків однозахідної і багатозахідної різей установлені в точному, середньому і грубому класах, а довжини згвинчування поділені на дві групи: нормальні N і довгі L . Посадки застосовують лише в системі отвору.

Приклади позначення точності багатозахідної різі: Тг 20x4 (P2)—8e — позначення поля допуску гвинта; Тг 20x4 (P2)—8H— позначення поля допуску гайки; Тг 20x4x(P2)—8H/8e — позначення посадки (цифра 4 — хід різі, P — крок, 2 — числове значення кроку).

Приклади позначення точності однозахідної різі: Тг 40 x 6 – 7e, Тг 40x6 – 7H, Тг 40x6 – 7H/7e.

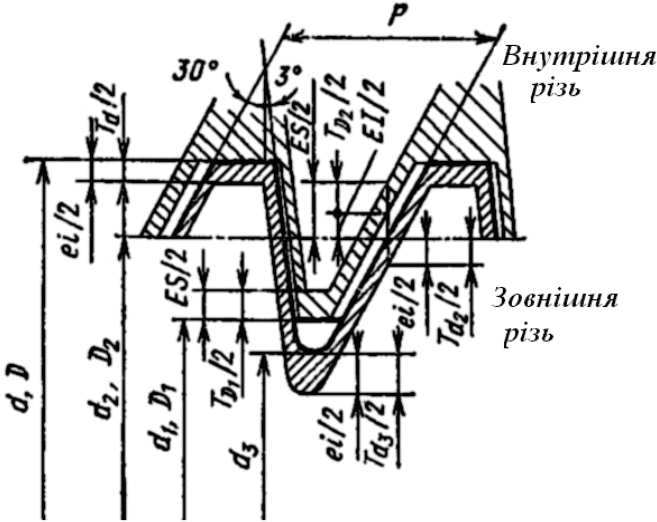
Упорна різь. Упорну різь застосовують у механізмах з великим однобічним тиском (у домкратах, гвинтових пресах, натискних пристроях робочих клітей прокатних станів, у з'єднаннях колон з поперечками гідропресів і т. п.). Профіль і основні розміри цієї різі регламентовані ГОСТ 10177—82. Для зменшення моменту тертя слід було б прийняти робочий кут профілю $\gamma = 0$, проте він прийнятий рівним 30 головним чином з технологічних міркувань (можна фрезерувати різь і сприятливіші умови нарізування на токарному верстаті). Кут нахилу профілю $\beta = 30^\circ$. Для зниження концентрації напруги і підвищення динамічної міцності западина різі має закруглену форму.

Система допусків і посадок упорної різі з профілем і основними розмірами за ГОСТ 10177—82 регламентована ГОСТ 25096—82. Граничні контури нарізного з'єднання з упорною різзю і відхилення зовнішньої і внутрішньої різей показані на рисунку 2.39.

Розташування поля допуску середнього діаметра d_2 зовнішньої різі визначене основним відхиленням h . Гарантовані зазори по середньому діаметру забезпечують шляхом збільшення середнього діаметра зовнішньої різі—для D_2 передбачене основне відхилення AZ . Для отримання зазорів по внутрішньому і зовнішньому діаметрах різі на d , d_3 призначають основне відхилення h , а на D , D_1 — H . Поле допуску діаметра різі утворюється поєднанням ступеня точності (допуску) і основного відхилення. Стандарт передбачає для діаметрів d , D_1 допуски за ступенем точності 4, а для діаметрів d_2 , d_3 і D_2 — ступені точності 7, 8 і 9. Допуски середнього діаметра (d_2 і D_2) є сумарними. Довжини згвинчування упорної різі поділяються на нормальні N і довгі L (вказується в позначенні).

Позначення поля допуску упорної різі складається лише з позначення поля допуску середнього діаметра, тобто з цифри відповідного ступеня точності, і букви основного відхилення, наприклад 8h, 7AZ. В умовному позначенні різі позначення поля

допуску повинне слідувати за позначенням розміру упорної різі: S36x6—7h, S36x6LH—8h, S36x6—7AZ. Посадки в нарізному з'єднанні позначають дробом, наприклад S36x6—7AZ/7h.



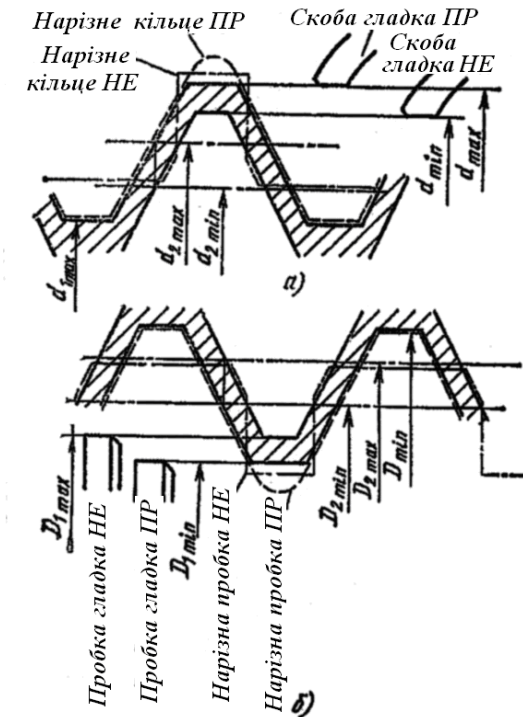
Рисунку 2.39 – Розташування полів допусків упорної різі

Контроль деталей нарізного з'єднання. Точність різі можна контролювати диференційованим (контроль кожного параметра окремо) і комплексним (контроль розташування контура різі в указаному полі допуску) методами. Метод контролю кожного параметра різі окремо (середнього діаметра, кроку і кута профілю) трудомісткий, тому його застосовують для точних різей: ходових гвинтів, нарізних калібрів, мітчиків і інш. Інколи за результатами контролю окремих параметрів судять (після обчислень) про комплексний параметр, наприклад про приведенний середній діаметр різі. Комплексний контроль різей виконують або за допомогою граничних калібрів, або за допомогою проекторів і шаблонів з граничними контурами.

Контроль різі калібрами. У систему калібрів входять робочі гладкі нарізні прохідні (ПР) і непрохідні (НЕ) калібри, а також контрукалібри (КПР-ПР, КНЕ-ПР, У-НЕ, КНЕ-НЕ, КИ-НЕ, У-ПР) для

перевірки і регулювання (установки) робочих нарізних скоб і кілець.

Контролери і представники замовника використовують частково зношені прохідні і нові непрохідні робочі калібри. Згвинчуваність робочого нарізного прохідного калібру з різьбою або надягання на неї скоби означає, що приведений середній, найменший внутрішній для болта і найбільший зовнішній для гайки діаметри не виходять за прохідні граничні значення (рисунк 2.40). Непрохідними нарізними калібрами контролюють лише власне середній діаметр різі — в разі придатності різі вони не повинні згвинчуватися з різьбою більш, ніж на два витки.



а – болта; б - гайки

Рисунок 2.40 – Схема перевірки різьблення калібрами

Відповідно до принципу Тейлора, нарізні прохідні калібри є прототипом виробу, мають повний профіль і нормальну довжину згвинчування, непрохідні нарізні калібри мають укорочений профіль заввишки $0,2-0,3P$ і неповне число витків (2,5-3). Це виконується для компенсації похибок кроку і кута профілю, оскільки непрохідні калібри контролюють власне середній діаметр.

Для контролю різі болтів застосовують калібри-кільця і нарізні регульовані скоби (у вигляді гребінок і роликів). Поля допусків для нарізних калібрів будують так само, як і для гладких виробів, але окремо по кожному з трьох діаметрів. На відміну від нарізних деталей допуски для нарізних калібрів установлені окремо на кожному з п'яти параметрів різі. Граничні відхилення приймальних калібрів стандартом не регламентуються.

Диференційований (поелементний) контроль параметрів різі. Всі основні параметри (власне середній діаметр, зовнішній і внутрішній діаметри, крок і кут профілю) можна контролювати за допомогою універсальних або спеціалізованих контрольних засобів. При цьому контрольований параметр вимірюють багато разів, що дозволяє шляхом подальшої обробки результатів зменшити вплив похибок інших параметрів.

Середній діаметр зовнішньої різі контролюють за допомогою універсальних засобів без додаткових пристосувань або з використанням нарізних вставок, ножів, роликів, а для внутрішньої різі — ще і кульок або відтисків. При вимірюванні середнього діаметра зовнішньої різі за допомогою мікроскопа перехрестя візирної трубки спочатку наводять на верхній профіль різі, а потім на нижній (рисунок 2.41, а). За результат вимірювання приймають напівсуму результатів вимірів середнього діаметра по правій і лівій сторонах профілю. При цьому значною мірою зменшується вплив похибки кроку. Проте тіньове зображення профілю різі в цьому випадку через вплив кута підйому різі є спотвореним, тому для контролю середнього діаметра часто використовують пристосування з ножами, дротиками або вставками (рисунок 2.42). При використанні ножів (рисунок 2.42, а) їх леза підводять за допомогою спеціальних пристосувань і кареток до бічних сторін виступів до щільного зіткнення (без просвітів). Оскільки кромку леза ножа через підйом витка різі не видно, відлік положення ножа проводять по рисках, нанесених на поверхні ножа паралельно його лезу. Для $d_2 =$

100 мм метод виміру на мікроскопі забезпечує похибку 2,5 – 4,5 мкм. Для малих різей застосовують при вимірі середнього діаметру метод трьох, двох або одного дротиків (рисунок 2.42, б і г), що закладаються в западини різі. Таким чином, контрольний засіб дозволяє виміряти певний розмір M , залежний від середнього діаметра різі d_2 і діаметра d_n дротика (рисунок 2.41, г). При зміні вибраного діаметра d_n дротика положення його в западині міняється і при цьому значною мірою позначаються похибки кута профілю. Для зменшення впливу цієї похибки вибирають дротик найвигіднішого діаметра $d_{n.n}$, який забезпечує їх дотик із западиною різі по лінії середнього діаметра d_2 . Тоді

$$d_2 = M - 2AC = M - \frac{d_{n.n.}(1 + \sin \alpha / 2)}{\sin \alpha / 2} + \frac{P \operatorname{ctg} \alpha / 2}{2}, \quad (2.95)$$

для метричної різі ($\alpha = 60^\circ$)

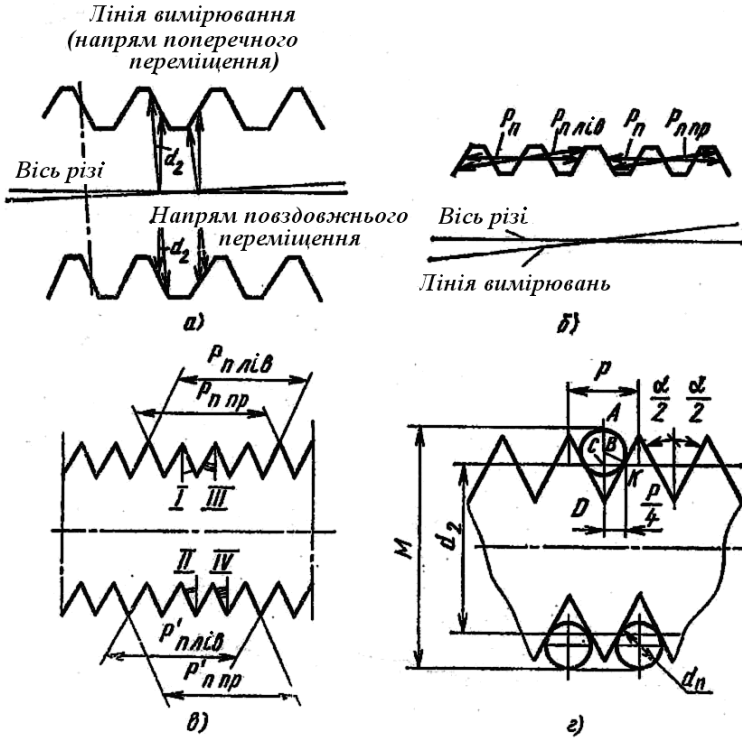
$$d_2 = M - 3d_{n.n.} + 0,866P, \quad (2.96)$$

де $d_{n.n} = 0,5P / \cos \alpha / 2$ — найвигідніший діаметр дротика.

Для виміру розміру M використовують довжиноміри, оптиметри, мікрометри і інш. При вимірюванні на горизонтальному оптиметрі (рисунок 2.42, в) забезпечується похибка виміру 1,5 – 2 мкм. Для підвищення точності виміру враховують похибки діаметра дротика, кроку, кута профілю, кута підйому різі, деформації витків і інш. При невеликому числі витків застосовують метод двох дротиків, тоді

$$d_2 = M - 3d_{n.n.} + 0,866P - P^2 / [8(M - d_{n.n.})]. \quad (2.97)$$

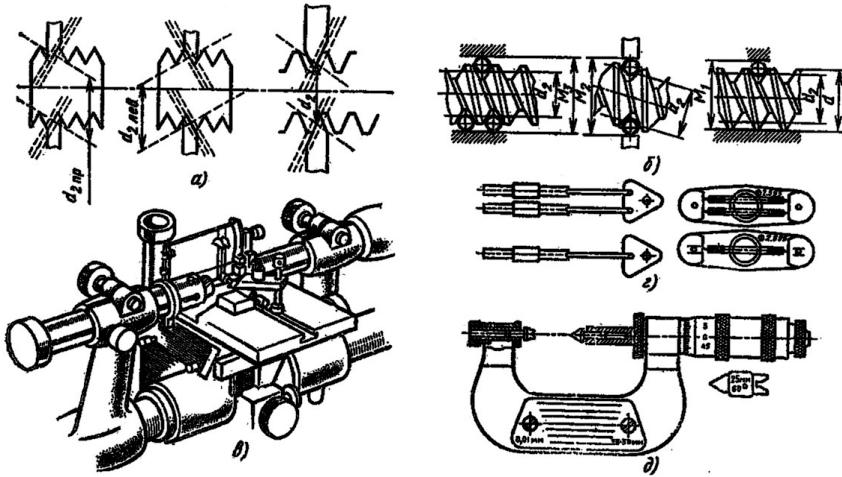
Для контролю різей з $D > 100$ мм застосовують один дротик. У цехових умовах і при ремонті використовують мікрометри з нарізними вставками (рисунок 2.42, д). Похибка цього методу 0,025 – 0,2 мм.



а – середнього діаметра, б – кроку, в – половини кута профілю, г – середнього діаметра трьох дротиками

Рисунок 2.41 – Схеми вимірювання параметрів різі

Крок різі вимірюють за допомогою універсальних або спеціальних засобів. З універсальних засобів використовують головним чином мікроскопи, перехрестя яких послідовно наводять на праві і ліві сторони профілю різі. Щоб виключити похибку від перекосу осі різі щодо лінії вимірювання в горизонтальній і вертикальній площині, крок необхідно вимірювати по правих і по лівих сторонах профілю (рисунок 2.41, б) і з обох його сторін (рисунок 2.41, в). Тоді дійсний розмір кроку P_r можна знайти за чотирма вимірами:



а – мікроскопа і ножів, б – довжиноміра і дротиків, в – горизонтального оптиметра і дротиків, г – державок з дротиками, д – мікромметра зі вставками

Рисунок 2.42 – Схеми вимірювання діаметра зовнішньої різі з використанням різних засобів

$$P_r = (P_{п\text{ пр}} + P_{п\text{ лев}} + P'_{п\text{ пр}} + P'_{п\text{ лев}})/4. \quad (2.98)$$

У спеціальних приладах (вимірювальних машинах) крок вимірюють шляхом порівняння або із зразковою деталлю, або зі штриховою мірою.

Похибки дійсних значень половини кута профілю $(\alpha/2)_д$ визначають за допомогою мікроскопів або проекторів за результатами чотирьох вимірів:

$$\Delta\alpha/2 = (\alpha/2)_т - (\alpha/2)_д. \quad (2.99)$$

Для метричної різі теоретичне значення кута профілю різі $(\alpha/2)_м = 30^\circ$, значення $\Delta\alpha/2_д$ визначають за формулою:

$$\Delta\alpha/2 = 0,5 \left| (\Delta\alpha/2)_{п\text{р}} \right| + \left| (\Delta\alpha/2)_{л\text{ів}} \right| \quad (2.100)$$

Внутрішній діаметр зовнішніх різей вимірюють за допомогою мікроскопів або контактних вимірювальних приладів із загостреними вставками.

Середній діаметр внутрішніх різей вимірюють за допомогою штихмасів з нарізними вставками (рисунок 2.43, а), індикаторних приладів з розсувними напівпробками або сферичними вставками, а також за відтисками і виливками з подальшим їх вимірюванням універсальними засобами. На рисунку 2.43, в показана нарізна пробка 1, з кульковими вставками 3, голкою 4 і індикатором 5 вгвинчена із зазором у контрольовану різь 2. Вимірювання середнього діаметра кульками або кульковими наконечниками аналогічне вимірюванню дротиками. При цьому використовують горизонтальні і вертикальні оптиметри, індикатори і інш. Всі параметри внутрішньої різі можна також вимірювати за допомогою спеціального мікроскопа ІЗК-59 (пристосування до УІМ).

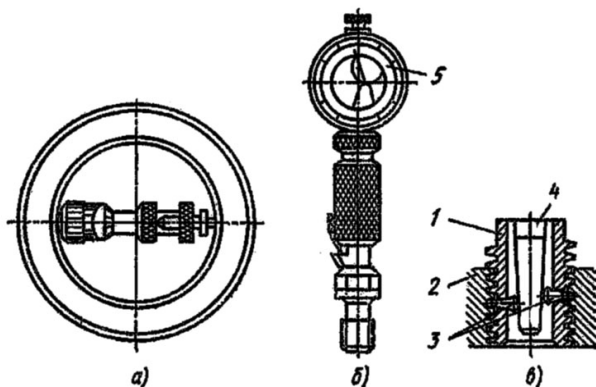


Рисунок 2.43 – Прилади для вимірювання середнього діаметра внутрішньої різі

Контрольні питання до розділу 2.8

1. Назвіть основні параметри нарізних з'єднань.
2. Що таке приведений середній діаметр різі?
3. Від чого залежить відхилення кроку і кута профілю?

4. Назвіть основні відхилення різі з зазором.
5. Які ступені точності використовуються в нарізних з'єднаннях з зазором?
6. Як позначаються поля допусків болта і гайки різі з зазором?
7. Назвіть основні відхилення різі з натягом.
8. Як позначаються поля допусків болта і гайки різі з натягом?
9. Назвіть основні відхилення різі для перехідних посадок.
10. Як позначаються поля допусків болта і гайки для перехідних нарізних з'єднань?
11. Як позначається точність трапецеїдальної та упорної різей?
12. Які методи використовуються для контролю деталей нарізного з'єднання?

2.9 Взаємозамінність, методи і засоби контролю шпонкових і шліцьових з'єднань

Шпонки призначені для з'єднання валів між собою за допомогою спеціальних пристроїв, а також для з'єднання з валами, осями різних тіл обертання, що передають крутні моменти, (зубчастих коліс, ексцентриків, шківів, маховиків і т.п.) і для осьового спрямування при використанні напрямних шпонок з кріпленням на валу.

Шпонкові з'єднання через простоту виготовлення відносяться до одних із поширених видів з'єднань. Залежно від форми шпонки, шпонкового паза і способу установки виділяють з'єднання з призматичними, сегментними, клиновими і тангенціальними шпонками (рисунок 2.44, а, б, в, г відповідно) (ГОСТ 23360-78, ГОСТ 24071-80, ГОСТ 24068-80).

Стандарти на з'єднання шпонок, які розроблено з урахуванням рекомендацій ІСО, побудовані за одним принципом і містять розміри шпонок, їх граничні відхилення, розміри і граничні відхилення пазів, а також позначення шпонкових з'єднань.

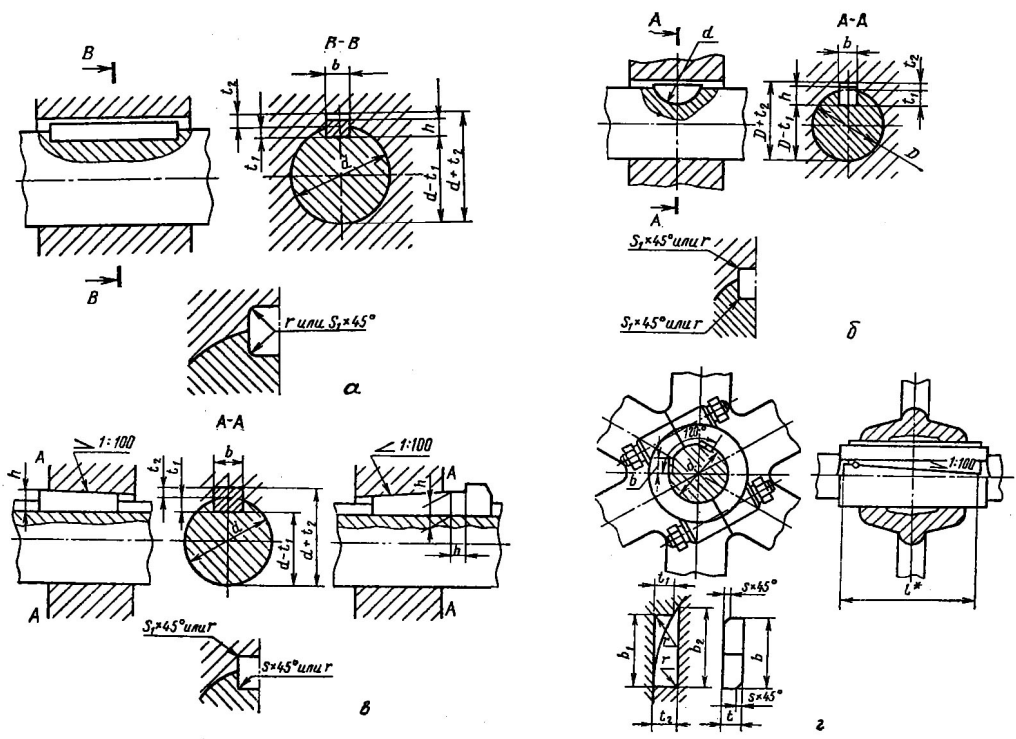


Рисунок 2.44 – Типи шпонкових з'єднань

Шліцові з'єднання порівняно зі шпонковим передають великі крутні моменти, забезпечують краще центрування з'єднаних деталей. У числі найбільш поширених у машинобудуванні шліцових з'єднань є з'єднання з прямобічним, евольвентним і з трикутним профілями зубів. Розміри, допуски і посадки шліцових з'єднань з прямобічним і евольвентним профілем стандартизовані (ГОСТ 1139-84, ГОСТ 6033-80). Шліцові з'єднання з трикутним профілем застосовуються відповідно до стандартів підприємства і галузевих стандартів.

2.9.1 Допуски і посадки в призматичних шпонкових з'єднаннях

Найбільш широке поширення в машинобудуванні мають призматичні шпонкові з'єднання. Їх недоліком, як і шпонкових з'єднань у цілому, є те, що вони не забезпечують високої точності центрування і тому застосовуються у випадках коли до точності центрування спряжуваних деталей не ставляться особливі вимоги.

Стандарт ГОСТ 23360-78 на з'єднання з призматичними шпонками встановлює три виконання (рисунок 2.45):

- зі скругленими кінцями (виконання 1);
- прямокутної форми (виконання 2);
- з одним скругленим кінцем (виконання 3).

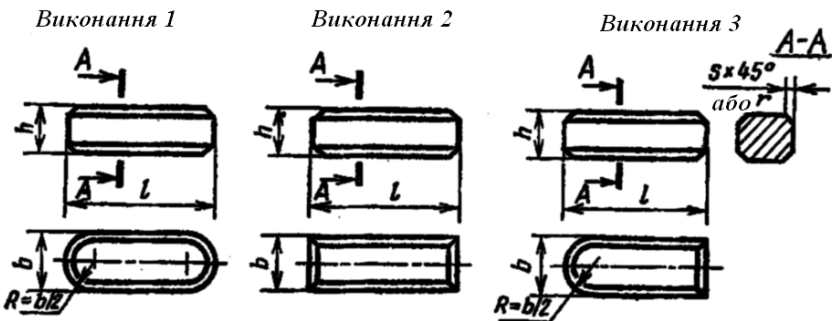


Рисунок 2.45 – Виконання призматичних шпонок

Працездатність шпонкового з'єднання визначається в основному точністю посадок по ширині b . Решта розмірів задаються так, щоб унеможливити заклинювання шпонки по висоті або надмірного зниження контакту бічних поверхонь. Для шпонкових пазів на кресленнях проставляються розміри $d+t_2$, $d-t_1$ з граничними відхиленнями (рисунок 2.44, в).

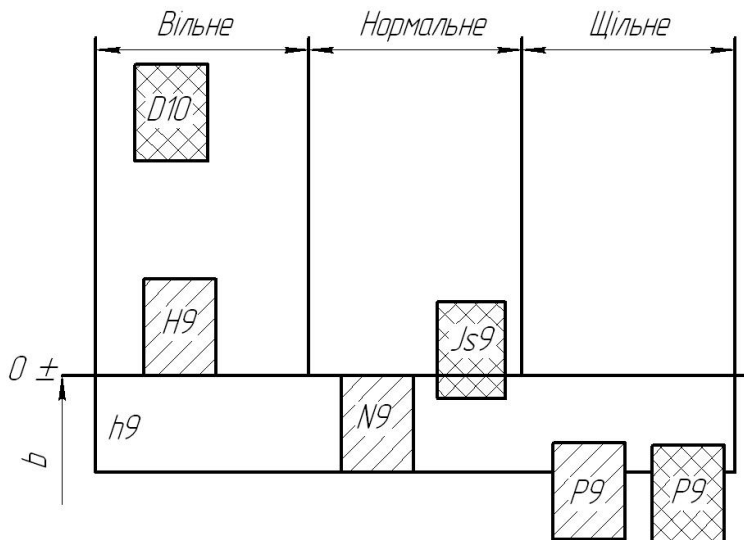
Таблиця 2.12 – Граничні відхилення глибини паза вала і втулки

Висота шпонок	Граничні відхилення розмірів	
	$d-t_1$	$d+t_2$
Від 2 до 6	0	+0,1
	-0,1	0
Більше 6 до 18	0	+0,2
	-0,2	0
Більше 18 до 50	0	+0,3
	-0,3	0

У з'єднанні шпонки з пазами вала і отвору по ширині b стандартом передбачена можливість трьох варіантів з'єднань: вільного, нормального і щільного (рисунок 2.46). Шпонка по ширині завжди виготовляється з допуском по $h9$.

Паз шпонки на валах виконується з полем допуску; для вільного з'єднання $H9$, нормального $N9$ і щільного $P9$, а паз шпонки отвору – для вільного – $D10$, нормального, – $Js9$ і щільного – $P9$ (рисунок 2.46).

Шпонки з'єднуються з валом по ширині по нерухомій посадці, а з втулками – по одній з рухомих посадок. Натяг необхідний для того, щоб шпонка не переміщлася при експлуатації, а зазор – для компенсації неминучих неточностей пазів і їх перекосу.






-  – допуск на ширину шпонки
-  – допуск на ширину паза вала
-  – допуск на ширину паза втулки

Рисунок 2.46 – Схема розташування полів допусків шпонки і пазів вала і отвору

Для ширини шпонки встановлено поле допуску $h9$, для висоти $h11$ і для довжини $h14$, що робить можливим їх централізоване виготовлення незалежно від посадок. Крім того, стандарт регламентує допуск на глибину паза вала $H12$, $H13$, допуск на довжину паза під шпонку – $H15$.

Унаслідок натягу, що створюється по висоті шпонки, можливий перекус і зміщення пазів, а також контактні деформації від радіальних сил. Внаслідок змінання і різку шпонок, послаблення перетину валів і втулок пазами і утворення концентраторів напружень шпонкові з'єднання не можуть передавати великих крутних моментів. Це обмежує сферу їх застосування.

Приклад умовного позначення призматичної шпонки виконання 1 з розмірами $b = 18\text{мм}$, $h = 11\text{мм}$, $l = 100\text{мм}$:

Шпонка 18x11=100 ГОСТ 23360-78.

Приклад умовного позначення такої ж шпонки виконання 2(3):

Шпонка 2(3) 18x11x100 ГОСТ 23360-78.

2.9.2 Допуски і посадки в з'єднаннях за допомогою сегментних шпонок

Сегментні шпонкові з'єднання використовуються при порівняно коротких отворах. Шпонки виконуються у вигляді сегменту (рисунок 2.47), що робить їх найбільш технологічними при виготовленні. Але відносно велика глибина паза шпонки зменшує міцність вала, тому їх бажано використовувати для передання невеликих крутних моментів або лише для фіксації елементів з'єднання. Сегментні шпонки дозволяють отримувати лише нерухомі з'єднання.

Стандарт ГОСТ 24071-80 передбачає з'єднання з сегментними шпонками в наступних двох виконаннях.

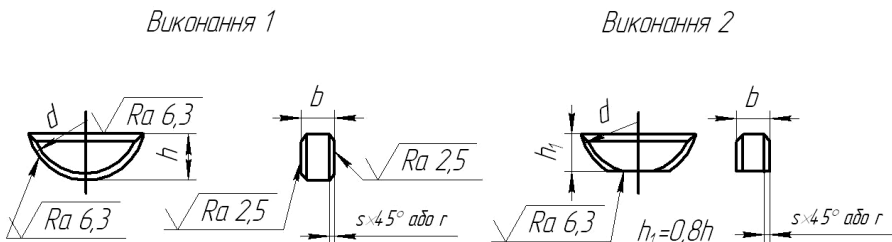


Рисунок 2.47 – Виконання сегментних шпонок

Для розмірів шпонок і пазів установлені такі поля допусків: $h9$ – для ширини шпонки; $h11$ – для висоти шпонки; $h12$ – для діаметра

шпонки; $N9$ – для ширини паза вала в нормальному і $P9$ – в щільному з'єднанні. Для термооброблених деталей допускається вживання поля допуску $H11$ – для ширини паза вала і $D10$ – для ширини паза отвору.

Приклад умовного позначення сегментної шпонки виконання 1 перетином $b \times h = 5 \times 6,5$ мм:

Шпонка $5 \times 6,5$ ГОСТ 24071-80;

виконання 2 перетином $b \times h_1 = 5 \times 5,2$ мм:

Шпонка 2 – $5 \times 5,2$ ГОСТ 24071-80.

Шпонки виконання 2 застосовуються лише за погодженням між зацікавленими організаціями.

2.9.3 Допуски і посадки в клинових і тангенціальних шпонкових з'єднаннях

З'єднання з клиновими і тангенціальними шпонками зустрічаються значно рідше. Наприклад, клинові шпонки недопустимі при високих вимогах до співвісного з'єднання деталей, оскільки зміщують їх геометричні осі на розмір посадочного зазору. Ці з'єднання використовуються в тих випадках, коли подібні зміщення осей не мають істотного значення.

Поля допусків для ширини пазів вала і отвору приймається $D10$. Граничні відхилення глибини пазів t_1 і t_2 або замінюючи їх розмірів $d-t_1$ і $d+t_2$ такі ж, як і для призматичних шпонок. Додатково ГОСТ 8908-81 встановлені відхилення кута нахилу.

Для тангенціальних шпонок (ГОСТ 24069-97) довжину шпонки слід вибрати на 10-15% більше від довжини втулки. Положення шпонок щодо одне одного після складання має бути зафіксоване за допомогою штифта або іншим способом.

На робочих кресленнях повинен проставлятися один розмір для вала t_1 (переважний варіант) або $d-t_1$ і один розмір для втулки $d+t_2$.

Умовне позначення шпонок виконання 1 з розмірами $b = 18\text{мм}$, $h = 11\text{мм}$, $l = 100\text{мм}$:

Шпонка 18x11x100 ГОСТ 24068-80;

виконання 2:

Шпонка 2 - 18x11x100 ГОСТ 24068-80.

Приклад умовного позначення шпонки з розмірами $t = 8\text{мм}$, $b = 24\text{мм}$, $l = 100\text{мм}$:

Шпонка 8x24x100 ГОСТ 24069-97.

2.9.4 Контроль шпонкових з'єднань

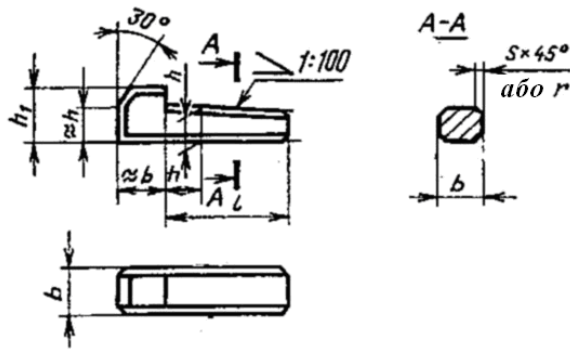
Контроль шпонкових з'єднань в серійному і масовому виробництві здійснюють спеціальними граничними калібрами; ширина пазів вала і втулки b перевіряється пластинами, що мають прохідну і непрохідну сторону; розмір $(d+t_2$ в отворі) – пробками із ступінчастою шпонкою; глибина паза вала (розмір t_1) – кільцевими калібрами, які мають стрижень з прохідною і непрохідною ступенями.

Допуски цих типів калібрів приймаються рівними допускам гладких калібрів, маючи на увазі залежні допуски розташування.

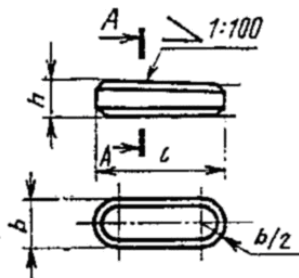
Симетричність пазів щодо лівої площини перевіряють комплексними калібрами: в отворі – пробкою зі шпонкою, а у вала – накладною призмою з контрольним стрижнем.

Проектування комплексних калібрів для шпонкових з'єднань необхідно проводити з урахуванням максимальних розмірів спряжуваних деталей. Допуски калібрів для шпонкових з'єднань регламентовані ГОСТ 24109-80, а їх конструкції і розміри – ГОСТ 24110-80 – ГОСТ 24121-80.

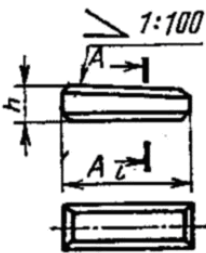
Виконання 1



Виконання 2



Виконання 3



Виконання 4

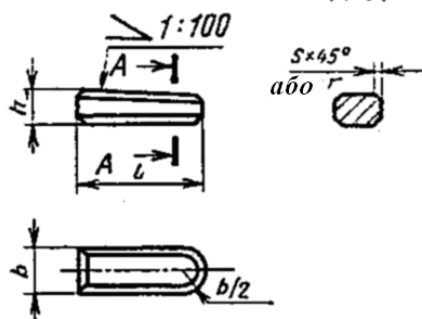


Рисунок 2.48 – Виконання клинових шпонок

Після складання контроль шпонкових з'єднань проводять шляхом встановлення биття охоплюючої деталі, похитуванням охоплюючої деталі на валу і переміщенням охоплюючої деталі уздовж вала (в разі рухомого з'єднання).

2.9.5 Класифікація шліцьових з'єднань

Недоліки шпонкових з'єднань обмежують сферу їх застосування і обумовлюють заміну їх шліцьовими з'єднаннями, які передають великі крутні моменти, мають більший опір втомі і високу точність центрування. Залежно від профілю зубів шліцьові з'єднання ділять на прямобічні (рисунок 2.49), евольвентні і трикутні. Шліцьові з'єднання з евольвентним профілем мають суттєві переваги порівняно з прямобічними: вони можуть передавати великі крутні моменти, мають на 10-40% меншу концентрацію напружень в основі зубів, підвищену циклічну довговічність, забезпечують краще центрування деталей, простіше у виготовленні і інш. Шліцьові з'єднання з трикутним профілем не стандартизовані: їх застосовують найчастіше замість посадок з натягом, а також при тонкостінних втулках для передання невеликих крутних моментів.

2.9.6 Допуски і посадки шліцьових з'єднань з прямобічним профілем

Допуски і посадки шліцьових з'єднань з прямобічним профілем зубів (ГОСТ 1139-80) визначаються їх призначенням і прийнятою системою центрування втулки щодо вала. Існує три способи центрування: по зовнішньому діаметру D , по внутрішньому d і по бічних сторонах зубів b .

Центрування по внутрішньому діаметру d доцільно, коли втулка має високу твердість і вона не може бути оброблена чистовим протягуванням (отвір шліфується), коли можуть виникнути значні викривлення довгих валів після термічної обробки. Спосіб забезпечує точне центрування і застосовується, як правило, для рухомих з'єднань.

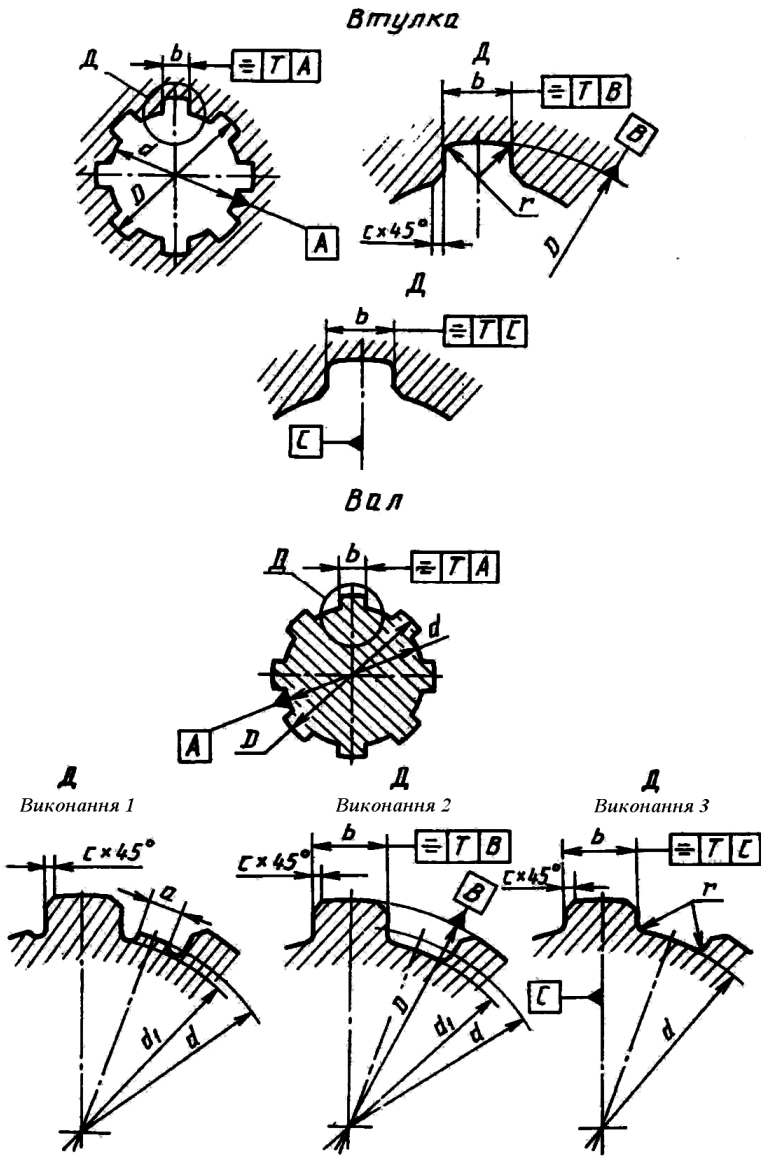


Рисунок 2.49 – Розміри і види виконання прямобічних шліцьових деталей

Центрування по зовнішньому діаметру D рекомендується, коли втулку термічно не обробляють або коли твердість її матеріалу після термічної обробки допускає калібрування протягуванням, а вал – фрезерування до отримання остаточних розмірів зубів. Такий спосіб простий і економічний. Його застосовують для нерухомих з'єднань, а також для рухомих, сприймаючих невеликі навантаження.

Центрування по бічних сторонах зубів b доцільно при переданні знакозмінних навантажень, великих крутних моментів, а також при реверсному русі. Цей метод сприяє більш рівномірному розподілу навантаження між зубами, але не забезпечує високої точності центрування і тому рідко застосовується.

Посадки шліцьових з'єднань призначають у системі отвору по центруючій циліндричній поверхні і по бічних поверхнях западин втулки і зубів вала (тобто по d і b або D і b або лише по b). Допуски і основні відхилення розмірів d , D , b шліцьового з'єднання призначають згідно з ГОСТ 25346-82. Поля допусків валів і втулок установлені для шліцьових прямобічних з'єднань (ГОСТ 1139-80) наведені в таблицях 2.13, 2.14.

Посадки призначаються залежно від способу центрування, наприклад: $H7/f7$, $H7/g6$ для d , $D9/h9$, $F10/f9$ для b , $H7/f7$, $H7/g6$ для D (дають з'єднання із зазором), $H7/n6$, $H7/js6$ для d і D (дають з'єднання з перехідними посадками). При високих вимогах до точності центрування прагнуть отримати найменші зазори по центруючих діаметрах, що також збільшує довговічність з'єднань.

Таблиця 2.13 – Поля допусків валів і втулок

Поля допусків валів

Квалітет	Основне відхилення							
	d	e	f	g	h	js	k	n
5				g5		js5		
6				g6	(h6)	js6		n6
7			f7		h7	js7	k7	
8	d8	e8	f8		h8			
9	(d9)	e9	f9		h9			
10	d10				(h10)			

Продовження таблиці 2.13				
Поля допусків втулок				
Квалітет	Основне відхилення			
	D	F	H	Js
6			H6	
7			H7	
8		F8	H8	
9	D9			
10	D10	F10		Js10

Таблиця 2.14 – Поля допусків нецентруючих діаметрів

Нецентруючий діаметр	Вид центрування	Поле допуску	
		вал*	втулка
d	По D або по b	-	H11
D	По d або b	a11	H12

* Діаметр d не менший від діаметра d_1

Більшість шліцевих з'єднань по спряжуваних поверхнях мають зазори, які залежать від:

- довжини осьових переміщень шліцевих деталей щодо одне одного;
- частоти осьових переміщень.

Поєднання основних відхилень втулки і вала по центруючому діаметру H/h не забезпечує вільне переміщення через немінучі перекося і неточності. Рекомендується застосовувати при помірних навантаженнях, при частому розбиранні і збиранні.

$H/js, n$ - рекомендується застосовувати для нерухомих з'єднань, які працюють при високих ударних навантаженнях;

H/f - рекомендується застосовувати при помірних навантаженнях і ковзаючому характері з'єднання.

Для нецентруючих діаметрів установлені такі поля допусків: для D при центруванні по d або b $a11$ для вала і $H12$ для втулки; для d при центруванні по D або b $H11$ для втулки. При вказаних полях допусків нецентруючих діаметрів створюються значні зазори, що забезпечують

з'єднання лише по посадочних поверхнях і полегшують збирання шліцових з'єднань.

Приклад умовного позначення з'єднання з числом зубів $z = 8$, внутрішнім діаметром $d = 36$ мм, зовнішнім діаметром $D = 40$ мм, шириною зуба $b = 7$ мм, з центруванням по внутрішньому діаметру з посадкою по діаметру центрування $H7/e8$ і за розміром $b D9/f8$;

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8};$$

при центруванні по зовнішньому діаметру з посадкою по діаметру центрування $H8/h7$ і за розміром $b F10/h9$:

$$D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9};$$

при центруванні по бічних сторонах:

$$b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{h8}.$$

Приклад умовного позначення втулки того ж з'єднання при центруванні по внутрішньому діаметру:

$$d - 8 \times 36 H7 \times 40 H12 \times 7 D9;$$

те ж вала:

$$d - 8 \times 36 e8 \times 40 a11 \times 7 f8.$$

2.9.7 Допуски і посадки шліцевих з'єднань з евольвентним профілем

Допуски і посадки шліцевих евольвентних з'єднань встановлені ГОСТом 6033-80.

Початковий контур і форма зубів шліцевих з'єднань при різних способах центрування показані на рисунках 2.50 - 2.52.

Шліцеві з'єднання з евольвентним профілем зуба стандартизовані для модулів $m = 0,5-10$ мм, для діаметрів $D = 4-500$ мм і чисел зубів $z = 6-82$, кут профілю зуба $\alpha = 30^\circ$.

У шліцевих евольвентних з'єднаннях втулку щодо валу центрують по бічних поверхнях зубів або по зовнішньому діаметру центрування, по внутрішньому діаметру не рекомендується.

Допуски і посадки при центруванні по бічних поверхнях зубів. Розташування полів допусків ширини западини втулки e і товщина зуба вала s , а також позначення допусків, основних відхилень і граничних відхилень повинні відповідати вказаним на рисунку 2.53.

Стандартом встановлюються такі ряди основних відхилень, які позначаються буквами латинського алфавіту (рядковою – для вала і прописний – для втулки):

для ширини западини втулки – H ;

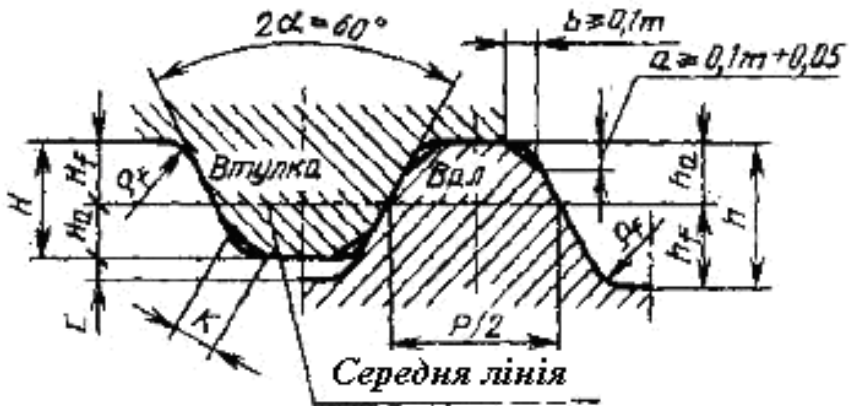
для товщини зуба вала – $r, p, n, k, h, g, f, d, c, a$.

Граничні відхилення ширини западини втулки і товщини зуба вала слід відлічувати від їх спільного номінального розміру на дузі ділильного кола.

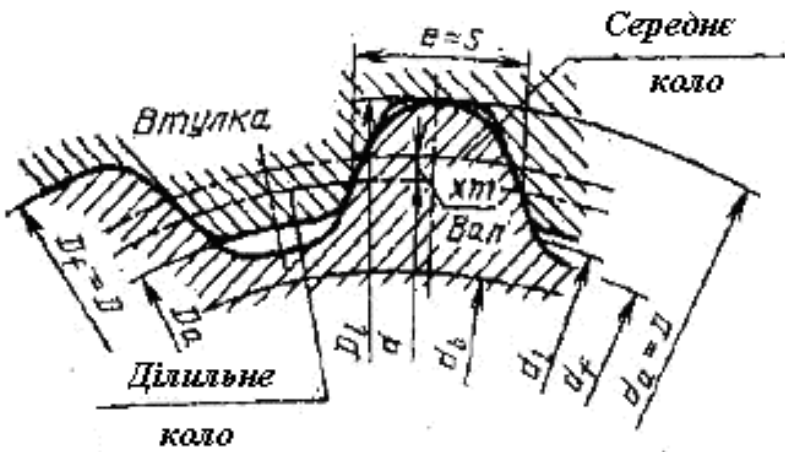
Встановлюються два види допусків ширини западини втулки і товщини зуба вала:

$T_i(T_s)$ – допуск власне ширини западини втулки (товщина зуба вала), контрольований окремо у випадках, коли не застосовується комплексний калібр;

T – сумарний допуск, що включає відхилення власне ширини западини (товщина зуба) і відхилення форми і розташування елементів профілю западини (зуба), контрольований комплексним калібром.



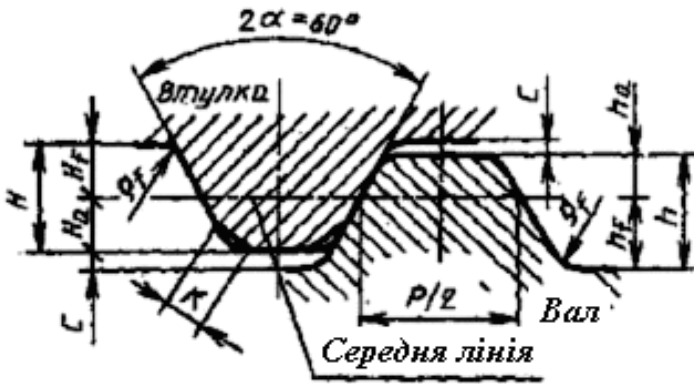
а)



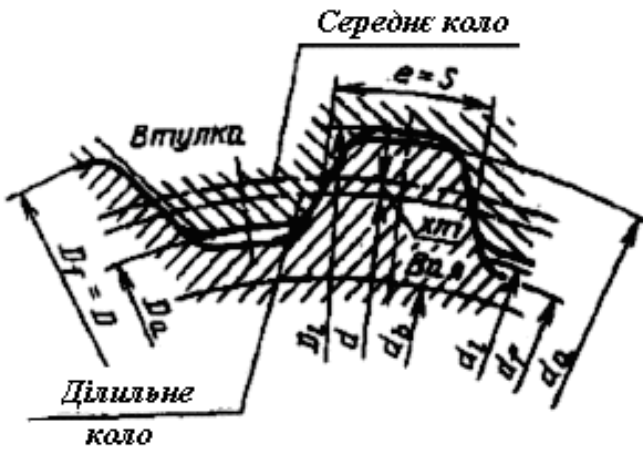
б)

а – початковий контур; б – форма зубів вала і втулки

Рисунок 2.50 – Центрування по зовнішньому діаметру



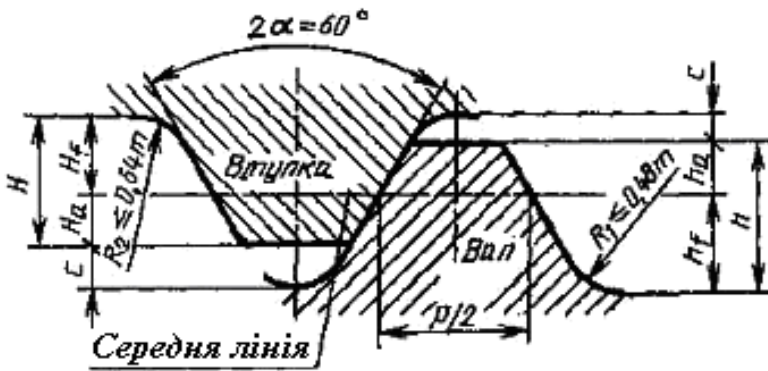
а)



б)

а – початковий контур; б – форма зубів валу і втулки

Рисунок 2.51 – Центрування по бічних поверхнях зубів (плоска форма дна западини)



а)



б)

а – початковий контур; б – форма зубів валу і втулки

Рисунок 2.52 – Центрування по бічних поверхнях зубів (закруглена форма дна западини)

Встановлюються наступні ступені точності елементів з'єднання, що визначають величини T і T_i для втулки і валу, позначаються числами:

ширина западини втулки 7; 9; 11;

товщина зуба вала 7; 8; 9; 10; 11.

Поля допусків розмірів e і s позначається у вигляді числа, що показує ступінь точності, за яким слідує буква, що показує основне відхилення (на відміну від позначень, прийнятих у гладких з'єднаннях, де число йде за буквою).

Допуски і посадки при центруванні по зовнішньому діаметру. Допуски і основні відхилення устанавлюються для діаметрів кола западини втулки D_f і кола вершин зубів вала d_a .

Поля допусків і їх поєднання для центруючих діаметрів D_f і d_a повинні відповідати вказаним у таблиці 2.15

Таблиця 2.15 – Поля допусків для центруючих діаметрів

Центруючий діаметр	Поле допуску	
	Ряд 1	Ряд 2
Df	H7	H8
da	n6, js6, h6, g6, f7	n6, h6, g6, f7
ПРИМІТКА: При виборі поля допуску ряду 1 слід віддавати перевагу над рядом 2.		

Поля допусків ширини западини втулки e повинні відповідати – $9H$, $11H$, а граничні відхилення розміру e – відповідно до таблиці. Поля допусків товщини зуба вала s повинні відповідати – $9h$, $9g$, $9d$, $11c$, $11a$.

Допуски нецентруючих діаметрів. Допуски і основні відхилення для нецентруючих діаметрів – за ГОСТ 25346-82. Поля допусків нецентруючих діаметрів повинні відповідати вказаним у таблиці 2.16.

Умовні позначення евольвентних шліцьових з'єднань, валів і втулок повинні містити: номінальний діаметр з'єднання D , модуль m , позначення посадки з'єднання (полів допусків вала і втулки), що поміщається після розмірів центруючих елементів, номер стандарту, за яким прийняте позначення.

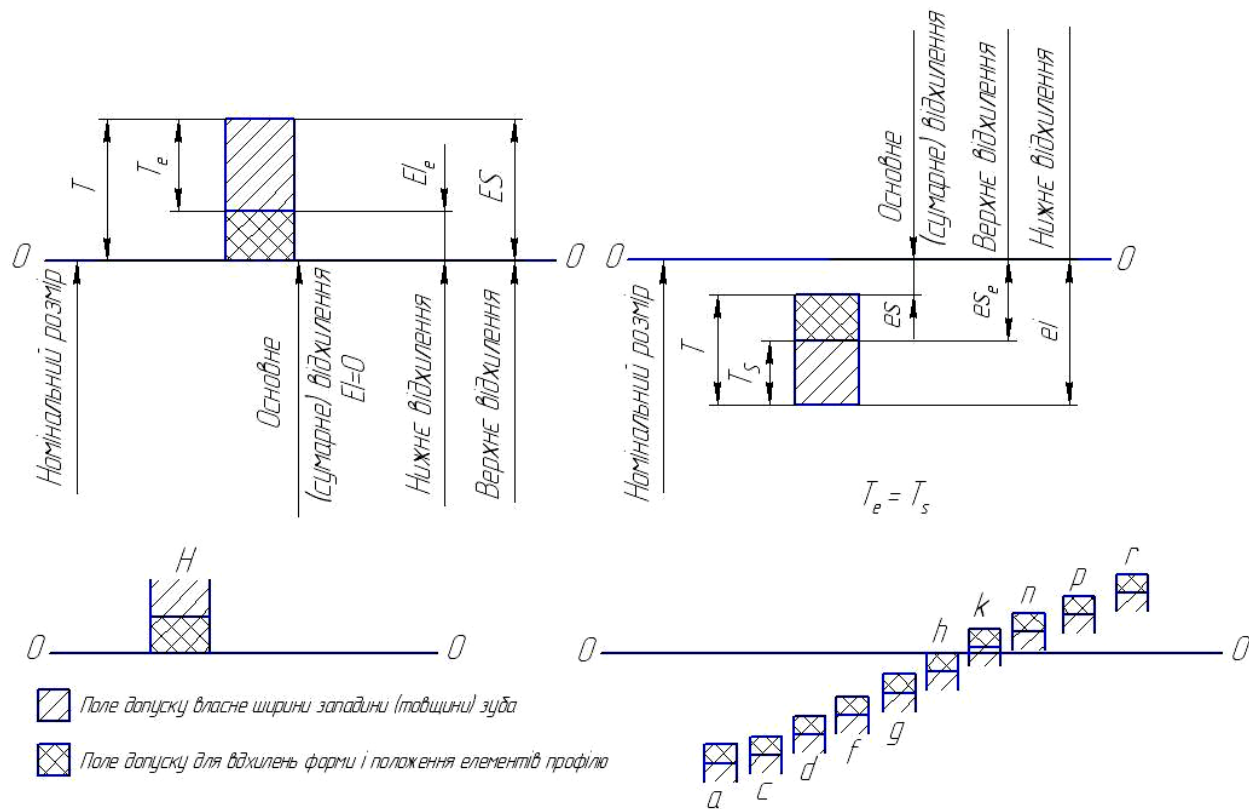


Рисунок 2.53 – Розташування полів допусків ширини западини і товщини зуба

Таблиця 2.16 – Допуски на нецентруючі діаметри

Вид центрування	Нецентруючий діаметр	Поле допуску	
По бічних поверхнях зубів	D_f	При плоскій формі dna западини	H16
		При закругленій формі dna западини	$D_{fmin} = D$
По бічних поверхнях зубів	D_a	H11	
	d_a	d9, h12	
	d_f	При плоскій формі dna западини	h16
		При закругленій формі dna западини	$d_{fmax} = D-2,2m$
По зовнішньому діаметру	D_a	H11	
	d_f	При плоскій формі dna западини	h16
		При закругленій формі dna западини	$d_{fmax} = D-2,2m$

Приклад умовних позначень:

а) умовне позначення з'єднань $D = 50$ мм, $m = 2$ мм з центруванням по бічних сторонах зубів, з посадкою по бічних поверхнях зубів 7H/7g

$$50 \times 2 \times \frac{7H}{7g} \text{ ГОСТ 6033-80};$$

втулки з'єднання:

50x2x7H ГОСТ 6033-80;

вала з'єднання:

50x2x7g ГОСТ 6033-80.

б) умовне позначення з'єднання $D = 50$ мм, $m = 2$ мм з центруванням по D_f з посадкою по діаметру центрування $H7/g6$:

$$50x \frac{H7}{g6} x 2 \frac{9H}{9g} \text{ ГОСТ 6033-80,}$$

втулки з'єднання:

50xH7x2x9H ГОСТ 6033-80;

вала з'єднання:

50xg6x2x9g ГОСТ 6033-80.

в) умовне позначення з'єднання $D = 50$ мм, $m = 2$ мм з центруванням по внутрішньому діаметру d_f з посадкою по діаметру центрування $H7/g6$:

$$i50x2x \frac{H7}{g6} x \frac{9H}{9g} \text{ ГОСТ 6033-80,}$$

втулки з'єднання:

i50x2x H7x9H ГОСТ 6033-80;

вала з'єднання:

i50x2x g6x9g ГОСТ 6033-80.

2.9.8 Шліцьові з'єднання з трикутним профілем

Шліцьові з'єднання з трикутним профілем мають дрібні зуби. Кут профілю характеризується кутом западини вала 2β . Основні параметри з'єднань цього типу $m = 0,2-0,8$ мм, $z = 15-70$; $2\beta = 90^\circ$ або 72° . Такі з'єднання не стандартизовані; їх застосовують найчастіше замість посадок з натягом, коли останні з яких-небудь причин небажані, а також при тонкостінних втулках для передання невеликих крутних моментів. Такі з'єднання центруються лише по бічних сторонах зубів, а по внутрішньому і зовнішньому діаметрах мають зазори. Допуски і посадки встановлюють відомчими нормативно-технічними документами.

2.9.9 Контроль точності шліцьових з'єднань

Шліцьові з'єднання, як правило, контролюють комплексними прохідними калібрами. При цьому поелементний контроль здійснюють непрохідними калібрами або вимірювальними приладами. У спірних випадках контроль із застосуванням комплексного калібру є вирішальним.

Розташування полів допусків діаметрів і розмірів b , формули для визначення розмірів робочої частини калібрів і допуски калібрів для контролю шліцьових прямобічних з'єднань регламентовані ГОСТ 7951-80. Стандарт передбачає поля допусків на знос калібрів, а також встановлює допустиму накопичену погіршеність кроку зубів (западин) калібрів, допуски симетричності і паралельності плоскості симетрії зуба (паза) калібру.

Розташування полів допусків формули для визначення розмірів робочої частини калібрів і допуски калібрів для контролю шліцьових з'єднань з евольвентним профілем регламентовані ГОСТ 24969-81.

Контрольні питання до розділу 2.9

1. Для чого призначені шпонкові з'єднання?
2. Назвіть типи шпонкових з'єднань.
3. Як позначаються шпонкові з'єднання?
4. Наведіть умовне позначення сегментних шпонкових з'єднань.
5. Наведіть умовне позначення клинових та тангенціальних шпонкових з'єднань.
6. Які шліцьові з'єднання використовуються в промисловості?
7. Назвіть методи центрування шліцьової втулки щодо валу.
8. Як позначаються прямо бічні шліцьові з'єднання?
9. Як позначаються шліцьові з'єднання з евольвентним профілем?
10. Які ступені точності використовуються в шліцьових з'єднаннях з евольвентним профілем?

2.10 Взаємозамінність, методи і засоби контролю зубчастих коліс.

2.10.1 Основні експлуатаційні та точнісні вимоги до зубчастих коліс

Зубчасті колеса широко застосовуються як у машинах, так і в приладах. Залежно від умов застосування, вони повинні забезпечувати безшумну роботу, швидкохідність, передавати великі навантаження, мати повне прилягання профілю, мати велику довговічність (5-10 тисяч годин роботи і більше).

За експлуатаційним призначенням зубчасті передачі можна поділити на чотири основні групи:

- відлікові або кінематично точні;
- швидкісні;
- силові;
- передачі спільного призначення.

До *відлікових* відносяться зубчасті передачі вимірювальних приладів, ділильних механізмів металорізальних верстатів і ділильних машин і інш. У більшості випадків колеса цих передач мають малий модуль, малу довжину зуба і працюють при малих навантаженнях і швидкостях.

До *швидкісних* відносяться зубчасті передачі турбінних редукторів, двигунів турбогвинтових літаків і ін. Окружні швидкості зубчастих коліс таких передач можуть досягати 60 м/с з порівняно великою передаваною потужністю (до 40 тис кВт). Головна вимога, яка ставиться до цієї групи коліс, висока плавність роботи, тобто відсутність циклічних багаторазових похибок, що повторюються за один оберт колеса. Із зростанням швидкості обертання вимоги до плавності роботи підвищуються. Передача повинна працювати безшумно і без вібрацій, що може бути досягнуте при мінімальних похибках форми взаємного розташування зубів. Для важко навантажених швидкісних зубчастих передач має значення також повнота контакту. Колеса таких передач, як правило, мають модулі середньої величини. Для них часто обмежують також інтенсивність шуму працюючої передачі, вібрацію, статичну і динамічну невірноваженість обертових мас і інш.

До *силових* передач відносяться зубчасті передачі, що передають значні крутні моменти, які працюють при малих числах обертів (зубчасті колеса під'ємно-транспортних механізмів, передачі шестерінчастих клітей прокатних станів, приводи шарових барабанних млинів і ін.). Головна вимога, яка ставиться до цих коліс, — забезпечення як найповнішого використання активних бічних поверхонь зубів, тобто отримання найбільшої плями контакту зубів, міцності зубів.

До передач *спільного призначення* відносяться передачі, до яких не ставлять підвищених вимог за точністю.

Показники точності повинні не лише регламентувати точність окремого колеса, але й визначати експлуатаційні параметри всієї передачі. Отже, вимоги до точності передач потрібно встановлювати виходячи з їх службового призначення. ГОСТ 1643-81 охоплює колеса зовнішнього і внутрішнього зачеплення з прямим, косим і шевронними зубами з діаметром ділильного кола до 6300 мм, модулем від 1 до 55 мм, шириною вінця до 1250 мм.

Для оцінки точності зубчастих коліс і передач встановлено дванадцять ступенів точності, що позначаються в порядку зменшення з 1 до 12-ої. Для 1-го і 2-го ступенів відхилення в стандарті не наведені (вони передбачені для майбутнього розвитку). Наведені норми відносяться до остаточно виготовлених зубчастих коліс і передач. Для кожного ступеня встановлені незалежні норми допустимих відхилень параметрів, які визначають кінематичну точність коліс і передач, плавність роботи і контакт зубів. Це дозволяє призначити різні норми і ступені точності відповідно до їх експлуатаційного призначення і враховувати відмінність технологічних способів забезпечення необхідної точності.

Кожна з норм точності характеризується комплексними і диференційованими показниками.

2.10.2 Норма кінематичної точності.

Норма кінематичної точності визначає величину повної похибки кута повороту зубчастого колеса за один оберт колеса. Характеризується такими показниками:

- кінематична похибка передачі колеса ($F_{кпн}, F_{кпк}$);
- накопичена похибка k кроків ($F_{пкр}$);
- накопичена похибка кроку по зубчастому колесу ($F_{пр}$);
- радіальне биття зубчастого вінця (F_{rr});
- коливання довжини спільної нормалі (F_{vwr});
- коливання вимірювальної міжосьової відстані (F''_{ir});
- похибка обкату (F_{cr}).

Кінематичною похибкою передачі $F_{кпн}$ називають різницю між дійсним $\varphi_{2д}$ і номінальним (розрахунковим) $\varphi_{2н}$ кутами повороту веденого зубчастого колеса 2 (рисунок 2.54) передачі. Вона виражається в лінійних величинах довжиною дуги ділительного кола. Таким чином, кінематична погрішність передачі:

$$F_{кпн} = (\varphi_{2д} - \varphi_{2н})r, \quad (2.101)$$

де r - радіус ділительного кола веденого колеса.

$$\varphi_{2n} = \varphi_1 \frac{z_1}{z_2}, \quad (2.102)$$

де φ_1 - дійсний кут повороту ведучого колеса;

z_1 і z_2 – число зубів відповідно до ведучого 1 і веденого 2 коліс.

Стандарт встановлює поняття — *найбільша кінематична похибка передачі* $F'_{кпн}$, яка визначається найбільшою алгебраїчною різницею значень кінематичної похибки передачі за повний цикл зміни відносного положення зубчастих коліс F'_{ior} (рисунок 2.55). Є показником кінематичної точності передачі 3-8-го ступеня точності.

Повний цикл здійснюється при повороті більшого колеса на кут φ_2 рівний частці від ділення числа зубів меншого колеса на спільний множник x чисел зубів z_1 і z_2 спільних зубчастих коліс передачі, тобто на кут:

$$\varphi_2 = 2\pi \frac{z_1}{x}. \quad (2.103)$$

Найбільша кінематична похибка передачі обмежена допуском F'_{io} , який дорівнює сумі допусків на кінематичну похибку коліс, тобто

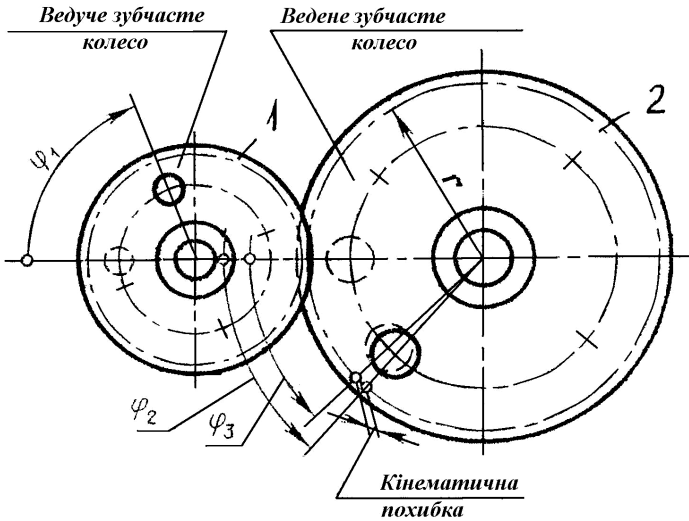
$$F'_{io} = F'_{i1} + F'_{i2}. \quad (2.104)$$

Кінематична погрішність зубчастого колеса – це є різниця між дійсним і номінальним (розрахунковим) кутами повороту зубчастого колеса на його робочій осі, веденого вимірювальним зубчастим колесом при номінальному взаємному положенні осей обертання цих коліс.

Виражається в лінійних величинах довжиною дуги ділительного кола (рисунок 2.56)

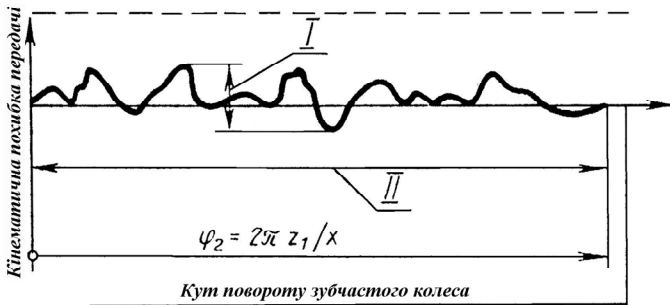
Під робочою віссю зубчастого колеса мається на увазі вісь, навколо якої воно обертається в передачі.

Вимірювальне зубчасте колесо – зубчасте колесо підвищеної точності, використовуване як вимірювальний елемент для методів контролю зубчастих коліс.



φ_1 - дійсний кут повороту ведучого зубчастого колеса; φ_2 - дійсний кут повороту веденого зубчастого колеса; φ_3 - номінальний кут повороту веденого колеса

Рисунок 2.54 – Схема до визначення кінематичної похибки зубчастої передачі



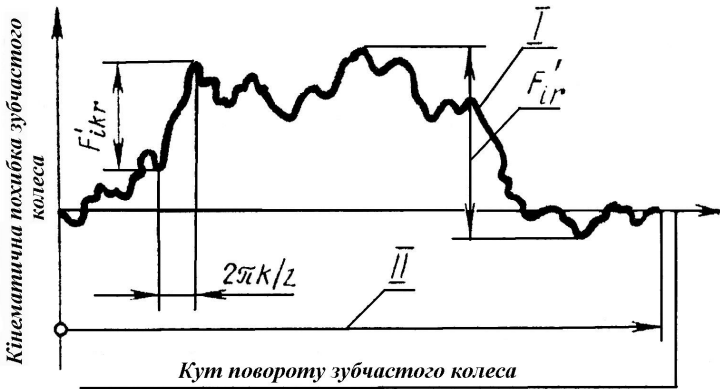
φ_2 - кут повороту більшого колеса; x - спільний найбільший дільник чисел зубів z_1 і z_2 , відповідно шестерні і колеса; I - найбільша кінематична похибка передачі F'_{ior} ; II - повний цикл зміни відносного положення зубчастих коліс.

Рисунок 2.55 – Графік кінематичної похибки зубчастої передачі

Найбільша кінематична похибка зубчастого колеса F'_{ir} – найбільша алгебраїчна різниця значень кінематичної похибки зубчастого колеса в межах його повного оберту. Ця похибка обмежується допуском на кінематичну похибку зубчастого колеса F'_i . У стандарті його величина не дана. Величину допуску слід визначати як суму допуску на накопичену похибку кроку колеса F_p залежно від ступеня за нормами кінематичної точності і допуску на похибку профілю f_f , що призначається залежно від ступеня точності за нормою плавності.

Причиною кінематичної похибки може бути похибка ланцюгів обкату зуборізного верстата, неспівпадіння центру основного кола колеса з робочою віссю його обертання, неточність зуборізного інструменту, похибка його установки і інш.

На кінематичну точність зубчастих коліс впливають такі похибки, сумарна дія яких виявляється один раз за оберт колеса. До них відноситься похибка обкату, накопичена похибка кроку, радіальне биття зубчастого вінця, коливання довжини спільної нормалі, коливання вимірювальної міжосьової відстані за один оберт колеса.



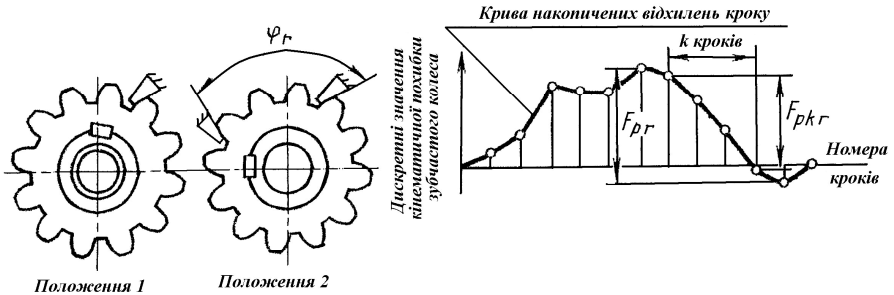
I – крива кінематичної похибки зубчастого колеса; II – один оберт зубчастого колеса

Рисунок 2.56 – Графік кінематичної похибки зубчастого колеса

Кінематична похибка ділильного ланцюга зубооброблювального верстата (через неточність його черв'ячного ділильного колеса) викликає неузгодженість кутових поворотів оброблюваного колеса і переміщення зубооброблювального інструменту, внаслідок чого виникає похибка обкату F_{cr} зубчастого колеса. Воно є складовою частиною кінематичної похибки колеса і визначається при його обертанні на технологічній осі при виключенні циклічних похибок зубцевої частоти і кратних їй вищих частот. (Під технологічною віссю розуміють вісь колеса, довкола якої воно обертається в процесі остаточної механічної обробки зубів). Величину F_{cr} можна визначити виміром кінематичної похибки зуборізного верстата, що використовується для остаточної обробки зубів. Похибка обкату обмежується допуском F_c , вираженим у тих же одиницях, що і допуск на кінематичну похибку колеса. Допуск F_c прийнятий рівним допуску на коливання довжини спільної нормалі F_{vw} .

Накопичена похибка k кроків F_{pkr}

Найбільша різниця дискретних значень кінематичної похибки зубчастого колеса при номінальному його повороті на k цілих кутових кроків (рисунок 2.57).



φ_r - дійсний кут повороту зубчастого колеса; z - число зубів зубчастого колеса; k - число цілих кутових кроків від $k \geq 2$; r - радіус ділильного кола зубчастого колеса.

Рисунок 2.57 — Накопичена похибка k кроків F_{pkr} і накопичена похибка по зубчастому колесу F_{pr}

Накопичена похибка k кроків визначається:

$$F_{pkr} = \left(\varphi_r - k \frac{2\pi}{z} \right) \cdot r, \quad (2.105)$$

де φ_r - дійсний кут повороту колеса, відповідний до кутових кроків;

z - число зубів колеса;

r - радіус ділильного кола;

$\frac{2\pi}{z} k$ - номінальний кут повороту колеса (k приймається від 2

до $\frac{z}{2}$ - ціле число)

Допуск на накопичену похибку k кроків позначають F_{pr} ; за відсутності спеціальних вимог цей допуск призначають для довжини дуги, що відповідає $z/6$ або найближчому цілому числу зубів.

Накопичена похибка кроку по зубчастому колесу F_{pr} — алгебраїчна різниця значень накопичених похибок, знайдених для всіх значень k в межах від 2 до $z/2$. Допуск на накопичену похибку кроку по колесу позначається через F_p . Величина вимірної накопиченої похибки кроку в межах колеса залежно від відповідної кінематичної похибки на 15-20% менша від величини повної кінематичної похибки колеса. Накопичена похибка кроку колеса F_{pr} утворюється в основному внаслідок похибки обкату зубчастого колеса, який викликає ексцентриситет основного кола.

Зубчасте колесо може бути виготовлене правильно, проте його вісь обертання при обробці зубів не буде збігатися з віссю робочого вала після монтажу колеса на вал із зазором. У результаті утворюється монтажний ексцентриситет. За наявності монтажного ексцентриситету утворюється ексцентриситет початкового кола, що викликає радіальне биття і непостійне миттєве передавальне відношення.

Радіальне биття зубчастого вінця F_{rr} - різниця дійсних граничних положень початкового контуру в межах зубчастого колеса (від його робочої осі)

$$F_{rr} = R_{max} - R_{min}. \quad (2.106)$$

Радіальне биття зубчастого вінця обмежується допуском F_r .

Радіальне биття зубчастого вінця викликається не точним поєднанням робочої осі колеса з технологічною віссю при зубообробці, а також радіальним биттям дільного зубчастого колеса верстата.

Коливання довжини спільної нормалі F_{vwr} – різниця між найбільшою і найменшою довжинами спільної нормалі в одному і тому ж зубчастому колесі.

$$F_{vwr} = W_{max} - W_{min}. \quad (2.107)$$

Ця похибка обмежена допуском F_{vw} .

Під дійсною довжиною спільної нормалі розуміється відстань між двома паралельними площинами, дотичними до двох різнойменних активних бічних поверхонь зубів зубчастого колеса.

Коливання довжини спільної нормалі залежить від тангенціальної складової похибки обкату.

Коливання вимірювальної міжосьової відстані:

- за оберт зубчастого колеса F''_{ir} ;
- на одному зубі f''_{ir} .

Різниця між найбільшим і найменшим дійсними міжосьовими відстанями при двопрофільному зачепленні вимірювального зубчастого колеса з контрольованим зубчастим колесом при повороті останнього на повний оберт або відповідно на один кутовий крок (рисунк 2.58).

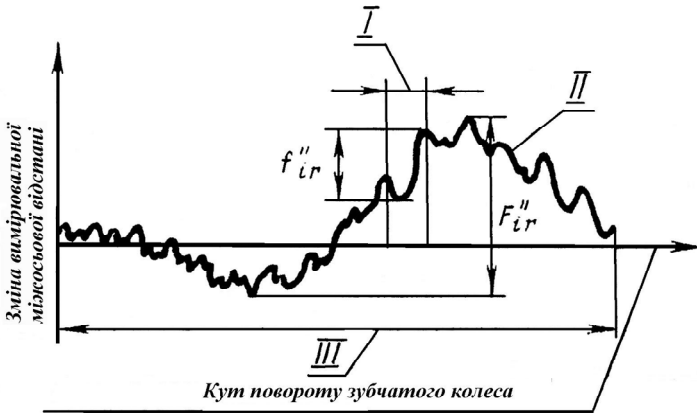
Ці коливання обмежуються допусками відповідно F''_i і f''_i .

2.10.3 Норма плавності роботи

Норма плавності визначає величину складових повної похибки кута повороту, які багаторазово повторюються за один оберт колеса.

Норма плавності роботи характеризується такими показниками:

- циклічна похибка передачі;
- циклічна похибка зубцьової частоти;



I – один кутовий крок; II – крива зміни вимірювальної міжосьової відстані; III – один оберт зубчастого колеса.

Рисунок 2.58 - Коливання вимірювальної міжосьової відстані при повороті на один зуб і за один оберт

- відхилення основного кроку зачеплення f_{pbr} ;
- відхилення кутового кроку зачеплення f_{ptr} ;
- похибка профілю зуба f_{fr} ;
- коливання вимірювальної міжосьової відстані при повороті колеса на один кутовий крок.

Циклічний характер похибок, що порушують плавність роботи передачі і можливість гармонійного аналізу, дав підстави визначати і нормувати їх величини за спектром кінематичної погрішності. Для цього в нормі плавності введені допуски амплітуди, що гармонійно становлять кінематичні похибки. Так, для обмеження циклічної похибки встановлюють допуски f_{zko} - на циклічну похибку передачі і f_{zk} - на циклічну похибку зубчастого колеса.

Циклічна похибка зубчастого колеса f_{zkr} – подвоєна амплітуда гармонійної складової кінематичної похибки зубчастого колеса (рисунок 2.59)

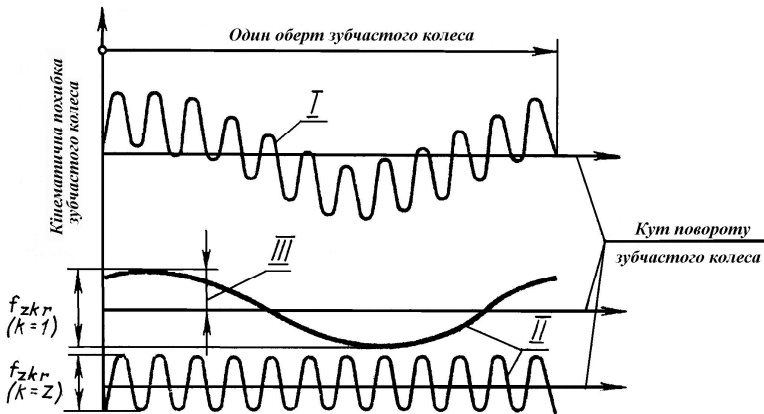
Циклічна похибка передачі f_{zko} – подвоєна амплітуда гармонійної складової кінематичної похибки передачі (рисунок 2.60).

Допуски f_{zko} і f_{zk} для будь-якої частоти визначаються за формулою:

$$f_{zko} = f_{zk} = (K_u^{-0,6} + 0,13)F_r, \quad (2.108)$$

де F_r – допуск на радіальне биття зубчастого вінця за тим же ступенем точності, що і f_{zk} ;

K_u — частота циклів за оберт зубчастого колеса.



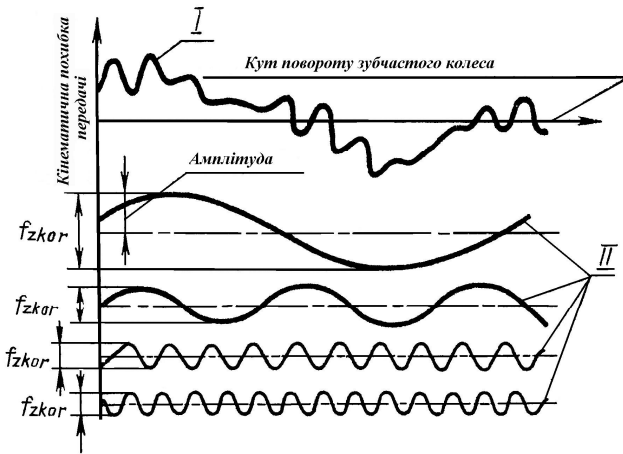
I – крива кінематичної похибки зубчастого колеса; II – гармонійні складові кінематичної похибки зубчастого колеса при різних значеннях частоти k ; III – амплітуда.

Рисунок 2.59 — Графік кінематичної похибки колеса і її гармонійні складові

Як видно з формули зі збільшенням частоти K_u допуски f_{zko} і f_{zk} зменшуються, що підтверджується досвідом виробництва і експлуатації швидкохідних передач.

Для обмеження циклічної похибки з частотою повторення, рівною частоті входу зубів у зачеплення, f_{zZo} і f_{zZr} встановлені допуски на циклічну похибку зубцьової частоти передачі f_{zZo} і колеса f_{zZr} , причому $f_{zZr} = 0,6f_{zZo}$. Ці допуски дають залежно від частоти циклічної

похибки K_u (рівної числу зубів колеса z), ступеня точності, коефіцієнта осьового перекриття ξ_β і модуля m . Коефіцієнтом осьового перекриття косозубої циклічної передачі ξ_β називається відношення кута осьового перекриття зубчастого колеса до його кутового кроку. Кут осьового перекриття φ_β - кут повороту зубчастого колеса косозубої циліндричної передачі, при якому точка контакту зубів переміщується по лінії зуба цього колеса від одного торця до іншого (тобто кут повороту колеса передачі від положення входу до виходу зуба із зачеплення).



I – крива кінематичної похибки передачі; II – гармонійні складові кінематичної похибки передачі при різних значеннях частоти k .

Рисунок 2.60 — Графіки до визначення циклічної похибки зубчастої передачі

Циклічна похибка зубцьової частоти є головною причиною порушення плавності зубчастих передач, що складаються з прямозубих коліс.

Щоб обмежити найбільшу місцеву кінематичну похибку f'_{iz} (тобто її стрибки), встановлено допуск f'_i . Допуск f'_i дорівнює сумі допустимої похибки кроку (кутового) f_{pt} і допуску на похибку профілю f_f .

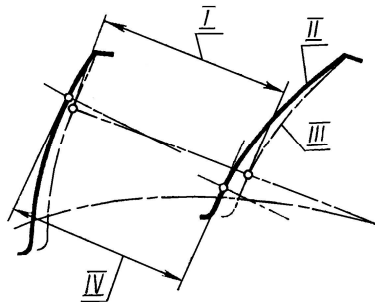
Причиною виникнення циклічної похибки зубчастого колеса є биття черв'яка ділильної пари верстата, биття і перекіс фрези і інш. Похибки верстата викликають також похибку профілю прямозубих коліс, які є головними причинами нерівномірного обертання передачі.

Відхилення кроку зачеплення f_{pbr} – різниця між дійсним і номінальним кроками зачеплення (рисунок 2.61). Під дійсним кроком зачеплення маються на увазі найкоротші відстані між двома паралельними площинами, дотичними до двох однойменних активних бічних поверхонь сусідніх зубів зубчастого колеса.

Граничні відхилення кроків зачеплення коліс визначають із співвідношення

$$|f_{pb}| = \cos \alpha |f_{pt}| = 0,94 f_{pt}. \quad (2.109)$$

Відхилення кроку зачеплення залежить від похибок кроку нарізного інструменту (черв'ячної фрези, довбача, гребінки), яка переноситься на оброблюване колесо. Незначно впливає точність ділильного ланцюга верстата. За наявності відхилення f_{pbr} переспряження зубів супроводиться ударами, підвищеним шумом, передача працює не плавно. При цьому збільшується нерівномірність навантаження зубів, що знижує їх довговічність.



I – номінальний крок зачеплення; II – дійсний профіль зуба; III – номінальний профіль зуба; IV – дійсний крок зачеплення..

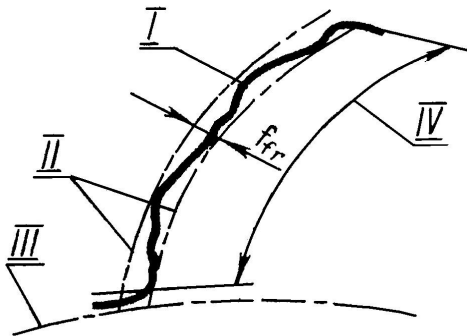
Рисунок 2.61 — Похибки відхилення кроку зачеплення

Відхилення кутового кроку f_{ptr} – дискретне значення кінематичної погрішності зубчастого колеса при його повороті на один номінальний кутовий крок, тобто

$$f_{ptr} = \left(\varphi - \frac{2\pi}{z}\right)r; \quad (2.110)$$

де φ - дійсний торцевий крок.

Похибка профілю зуба f_{fr} – відстань по нормалі між двома найближчими один до одного номінальними профілями торців зуба, між якими розміщується дійсний активний профіль торця зуба зубчастого колеса (рисунок 2.62). Дійсний профіль торця зуба – лінія перетину дійсної бічної поверхні зуба зубчастого колеса в площині, перпендикулярній його робочій осі.



I – дійсний активний профіль зуба; II – номінальні профілі торців зуба; III – основне коло; IV – границі активного профілю зуба.

Рисунок 2.62 — Похибка профілю зуба

Похибки профілю зуба викликають нерівномірність руху коліс, додаткові динамічні навантаження, а також зменшення контактної поверхні зубів. Гранична похибка профілю регламентується допуском

f_{fr} , а не граничними відхиленнями. Пояснюється це тим, що при контролі евольвенти положення точки на ідеальному профілі (номінальне положення), від якого відлічували б відхилення, залишається невідомим, положення ж усього профілю визначається допустимими відхиленнями кроку зачеплення.

Похибки, що розглядалися раніше, багато разів періодично виявляються за оберт колеса, знижують довговічність швидкісних і особливо важко навантажених швидкісних передач (наприклад турбінних редукторів). Вони викликають повторювані розриви контакту зв'язаних зубів, крутильні коливання валів і вібрацію всього агрегата. Вказані динамічні прояви циклічної похибки, як правило, супроводжуються шумом високого рівня, який збільшується зі збільшенням швидкості обертання передачі. Щоб підвищити плавність передачі, доцільно підвищувати точність зуборізного інструменту і точність черв'яка, зв'язаного з ділильним колесом верстата, а також застосовувати шевінгування або зубохонінгування коліс.

2.10.4 Норма контакту зубів

Норма контакту визначає повноту прилягання бічних поверхонь спряжених зубів.

Для підвищення довговічності і зносостійкості зубчастих передач необхідно, щоб повнота контакту зв'язаних бічних поверхонь зубів коліс була найбільшою. При неповному і нерівномірному приляганні зубів зменшується несуча площа поверхні контакту, нерівномірно розподіляються контактні напруження, що призводить до інтенсивного зносу зубів.

Норма контакту зубів характеризується такими комплексними і диференційованими показниками:

- пляма контакту зубів;
- похибка напрямку зубів $F_{\beta r}$;
- сумарна похибка контактної лінії F_{kr} ;
- перекис осей f_{yr} ;

- непаралельність осей f_{xr} ;
- відхилення осьових кроків по нормалі F_{pxnr} .

Для гарантії необхідної повноти контакту зубів у передачі встановлені найменші розміри так званої сумарної плями контакту.

Сумарна пляма контакту – це частина активної бічної поверхні зуба зубчастого колеса, на якій розташовуються сліди прилягання зубів парного зубчастого колеса в зібраній передачі після обертання під навантаженням (рисунок 2.63).

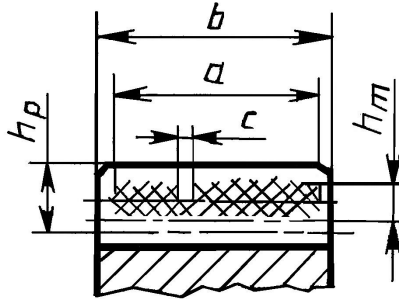


Рисунок 2.63 — Пляма контакту зубів в передачі

Визначаються відносні розміри плями контакту у відсотках: по довжині зуба — відношення відстані a між крайніми точками слідів прилягання за вирахуванням розривів c до довжини зуба b :

$$\frac{a - c}{b} \cdot 100\%; \quad (2.111)$$

по висоті зуба — відношення середньої (по всій довжині зуба) висоти слідів прилягання h_m до висоти зуба відповідної активної бічної поверхні h_p :

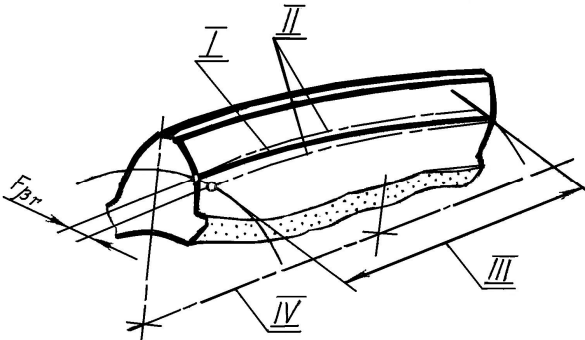
$$\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\% \quad (2.112)$$

Миттєва пляма контакту — це частина активної бічної поверхні зуба колеса передачі, на якій розташовується сліди його прилягання до зубів шестерні, покритим фарбником, після повороту колеса зібраної передачі на повний оберт при легкому гальмуванні, що забезпечує безперервний контакт зубів обох зубчастих коліс.

Зменшення повноти контакту викликаються похибками установки заготовки на верстаті (її торцевим биттям), неточністю верстата (непаралельністю направлення ходу фрезерного супорта осі обертання стола, його перекосом), а для косозубих коліс також похибками гвинта подачі зуборізного верстата. Притирання і припрацювання зубів у sprzęженні коліс покращує їх контакт.

Похибка напрямку зуба $F_{\beta r}$ характеризується відхиленням напрямку зуба від лінії, паралельної осі колеса (рисунок 2.64). Цю похибку обмежують допуском F_{β} .

Зі збільшенням ширини колеса (або довжини контактної лінії) допуск F_{β} збільшується.



I – дійсна ділильна лінія зуба; II – номінальні ділильні лінії зуба; III – ширина зубчастого вінця; IV – робоча вісь зубчастого колеса.

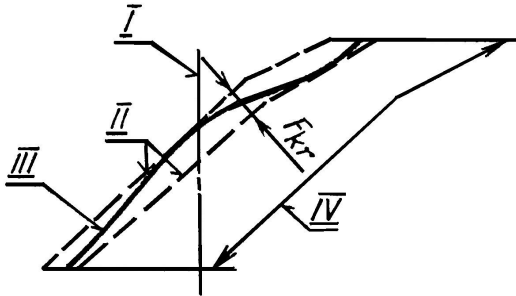
Рисунок 2.64 — Похибка напрямку зуба

Сумарна похибка контактної лінії F_{kr} – відстань по нормалі між двома найближчими одна до одної номінальними контактними лініями, умовно накладеними на площину (поверхню) зачеплення, між

якими розміщуються дійсна контактна лінія на активній бічній поверхні (рисунок 2.65).

Допуск на сумарну похибку контактної лінії F_k для даного модуля залежить від ширини колеса (або довжини контактної лінії) і коефіцієнта ξ_β (коефіцієнт осьового перекриття). З їх збільшенням допуск збільшується.

Відхилення від паралельності осей f_{xr} . Відхилення від паралельності проєкцій робочих осей зубчастих коліс у передачі на площину, в якій лежить одна з осей і точки другої осі в середній площині передачі. Визначається в торцевій площині в лінійних одиницях на довжині, рівній робочій ширині зубчастого вінця або ширині напівшеврона (рисунок 2.66).



I – напрям робочої осі обертання колеса; II – номінальні контактні лінії; III – дійсна контактна лінія; IV – границі активної поверхні зуба

Рисунок 2.65 — Похибка форми і розташування контактної лінії

Примітка. Під середньою площиною передачі мають на увазі площину, що проходить через середину робочої ширини зубчастого вінця або для шевронної передачі через середину відстані між зовнішніми торцями, які обмежують робочу ширину напівшеврона.

Відхилення від паралельності осей обмежується допуском f_x .

Перекіс осей f_{yr} – відхилення від паралельності проєкцій робочих осей зубчастих коліс у передачі на площину, паралельну одній з осей і перпендикулярну площині, в якій лежить ця вісь, і точка перетину другої осі з середньою площиною передачі. Визначаються в

торцевій площині в лінійних одиницях на довжині, рівній робочій ширині зубчастого вінця або ширині напівшеврона (рисунок 2.66). Допуск на перекіс осей f_y .

Ці похибки характеризуються точністю монтажу передачі з нерегульованим розташуванням осей. Точність монтажу передачі визначається також відхиленнями міжосьової відстані f_{ar} , якими є різниця між дійсною і номінальною міжосьовими відстанями в середній площині передачі. Встановлені граничні відхилення верхнє $+f_a$ і нижнє $-f_a$.

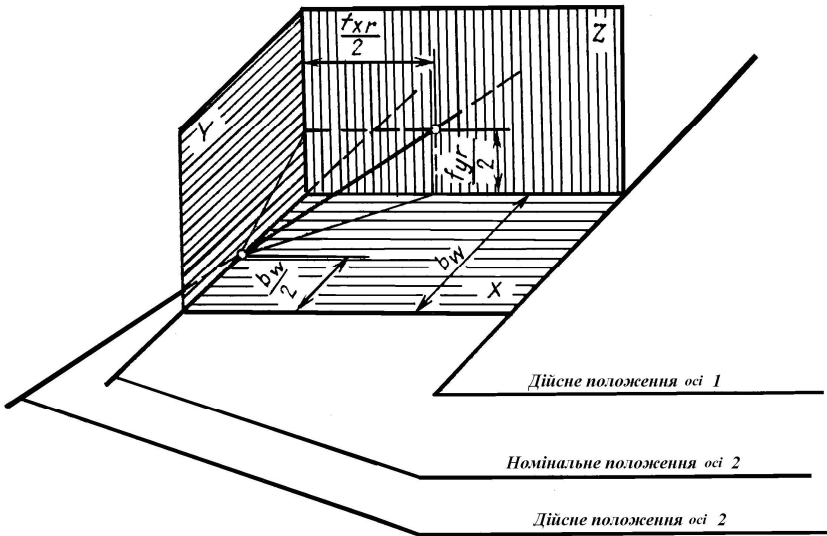


Рисунок 2.66 — Непаралельність f_{xr} і перекіс осей f_y ; відхилення міжосьової відстані

Відхилення осьових кроків по нормалі F_{pxnr} – різниця між дійсною осьовою відстанню зубів і сумою відповідного числа номінальних осьових кроків, помножена на синус кута нахилу ділильної лінії зуба (рисунок 2.67).

Під дійсною осьовою відстанню зубів мають на увазі відстань між однойменними лініями зубів косозубого зубчастого колеса по прямій, паралельній робочій осі.

$$F_{pxnr} = -x \sin \beta, \quad (2.113)$$

де x — величина, рівна відхиленню F_{pxn} осьових кроків по нормалі.

Відстань між однойменними лініями сусідніх зубів є дійсним осьовим кроком. Відхилення осьових кроків обмежене верхнім $+F_{pxn}$ і нижнім $-F_{pxn}$ граничними відхиленнями.

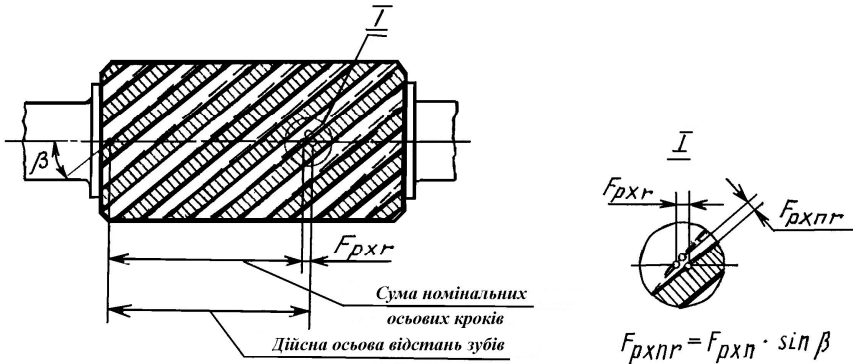


Рисунок 2.67 — Відхилення осьових кроків по нормалі F_{pxnr}

Відхилення F_{pxnr} є кінематичним, оскільки воно включає значну частину похибок, що впливають на кінематику і плавність роботи передачі, оскільки зуб по довжині розташовується на значному куті повороту зубчастого колеса.

2.10.5 Види спряження зубів коліс у передачі

Для усунення можливості заклинювання при нагріві передачі, забезпечення умов протікання мастила і обмеження мертвого ходу при реверсі передач вони повинні мати бічний зазор j_n (зазор між не робочими профілями зубів спряжених коліс). Цей зазор необхідний також для компенсації похибок виготовлення і монтажу передачі і для усунення удару по неробочих профілях, який може виникнути в разі розриву контакту робочих профілів через динамічні явища. Така

передача є однопрофільною (контакт зубів коліс відбувається по одних робочих профілях).

Бічний зазор визначають у перетині, перпендикулярному до напрямку зубів, у площині, дотичній до основних циліндрів.

Системою допусків на зубчасті передачі встановлюють гарантований бічний зазор $j_n \min$, який називають найменшим передбаченим бічним зазором. Його величину визначають незалежно від ступеня точності коліс і передач.

Для задоволення вимог різних галузей промисловості, незалежно від ступеня точності виготовлення коліс передачі, передбачено шість видів спряження, які визначають різну величину $j_n \min$ (рисунок 2.68). Спряження *A, B, C, D, E, H* застосовують відповідно для ступенів точності 3-12; 3-11; 3-9; 3-8; 3-7; 3-7. Номінальне значення гарантованого бічного зазору для вказаних видів спряження залежно від міжосьової відстані визначають відповідно за такими квалітетами: *IT11, IT10, IT9 і IT7*. Для спряження *H* $j_n \min = 0$. Спряження *B* гарантує мінімальну величину бічного зазору, при якому унеможливується заклинювання сталеві або чавунної передачі від нагріву при різниці температури коліс і корпусу, рівній 25°C.

Встановлено шість класів відхилення міжосьової відстані з I по VI. Спряження *H* і *E* забезпечуються при II класі; спряження *D, C, B* і *A* — при класах III, IV, V, VI відповідно. Співвідношення видів спряження і вказаних класів допускається змінювати.

На бічний зазор встановлено допуск T_{jn} , визначений різницею між найбільшим і гарантованим (найменшим) зазором. Із збільшенням бічного зазору збільшується допуск T_{jn} . Встановлено вісім видів допусків на бічний зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*. Спряження *H* і *E* відповідає вид допуску *h*, а сполучення *D, C, B* і *A* — відповідно види допусків *d, c, b* і *a*. Відповідність видів спряжень і видів допусків T_{jn} дозволяється змінювати. При цьому використовуються види допусків *x, y, і z*. У результаті збільшення температури при роботі передачі розміри коліс збільшуються більшою мірою, ніж відстань між їх осями, а тому бічний зазор зменшується. Величина гарантованого бічного зазору, необхідна для компенсації температурних деформацій і розміщення мастила:

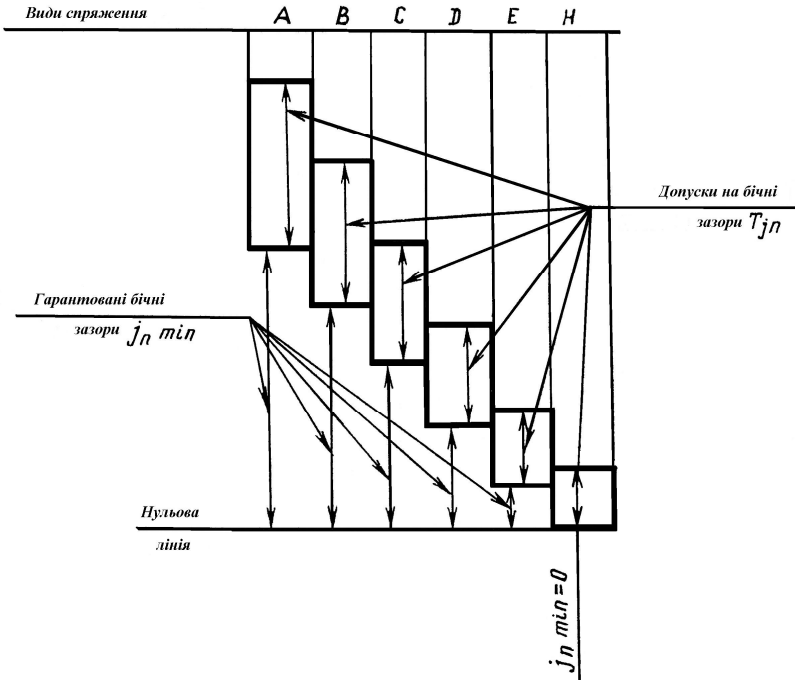


Рисунок 2.68 — Види спряження і гарантовані бічні зазори

$$j_{n \min} = V + a_w (\alpha_1 \Delta t_1^{\circ} - \alpha_2 \Delta t_2^{\circ}) 2 \sin \alpha, \quad (2.114)$$

де V - товщина шару мастила між зубами;

a_w - міжосьова відстань;

α_1, α_2 - коефіцієнти лінійного розширення матеріалів коліс і корпусу;

$\Delta t_1^{\circ}, \Delta t_2^{\circ}$ - відхилення температур коліс і корпусу від 20°C ;

α - кут профілю початкового контуру.

Деформацію від нагріву відраховують по нормалі до профілів. Величину бічного зазору, що забезпечує нормальні умови мащення, орієнтовано приймають від $0,01m_n$ (для тихохідних кінематичних передач); до $0,03m_n$ (для високошвидкісних передач).

Похибки виготовлення і монтажу коліс враховують при визначенні найбільшого бічного зазору. Різниця між найбільшим і найменшим зазорами має бути достатньою для компенсації похибок виготовлення і монтажу коліс. Величину бічного зазору забезпечують шляхом радіального зміщення початкового контуру зуборізного інструменту від його номінального положення в тіло колеса. Найменшу величину додаткового зміщення призначають залежно від ступеня точності за нормами плавності і від виду спряження. Додатково зміщення позначають: для зубчастих коліс із зовнішніми зубами через (- E_{HS}), для коліс із внутрішніми зубами через (+ E_{HS}). Допуск T_H на зміщення початкового контуру встановлена залежно від допуску на радіальне биття F_r і виду спряження.

Показниками, що забезпечують гарантований бічний зазор, є: для коліс — найменше додаткове зміщення початкового контуру $E_{HS}(E_{HI})$ або найменше відхилення середньої довжини, яке задається, спільною нормаллю $E_{wms}(E_{wmi})$, або найменшим відхиленням товщини зуба по постійній хорді в нормальному перетині — E_c , або відхиленням вимірювальної міжосьової відстані $E_{a''s}$, $E_{a''i}$, або найменшим відхиленням спільної нормалі $E_{ws}(E_{wi})$; їх призначають залежно від вигляду спряження і ступеня точності за нормами плавності роботи. Для передач з нерегульованим розташуванням осей — граничні відхилення міжосьової відстані $\pm f_a$, а з регульованим — найменший бічний зазор $j_{n \min}$.

Стандартом встановлені допуски на додаткове зміщення початкового контуру T_H , допуск на середню довжину спільної нормалі T_{wm} і допуск на товщину зуба T_c .

Відхилення $\pm f_a$, $E_{a''s}$, як і $j_{n \min}$ не залежать від ступеня точності. Їх призначають залежно від виду спряження (або виду допуску на бічний зазор).

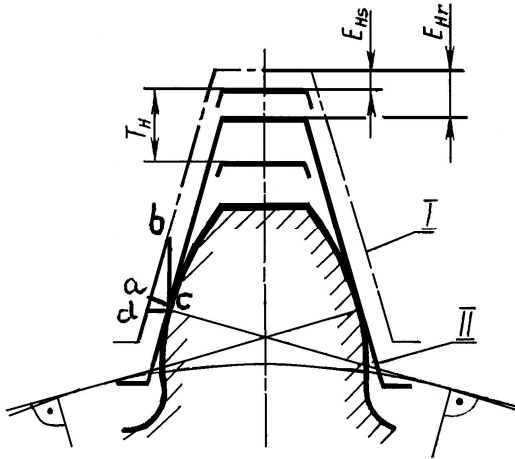
Зв'язок зміщення початкового контуру з бічним зазором $j_{n \min}$ і зменшення товщини зуба E_{cs} , можна встановити відповідно з трикутників abc і dbc (рисунок 2.69)

$$j_{n \min} = E_{HS} 2 \sin \alpha ; \quad (2.115)$$

$$E_{CS} = E_{HS} 2 \operatorname{tg} \alpha . \quad (2.116)$$

Спільний бічний зазор повинен складатися з гарантованого бічного зазору $j_{n \min}$ і зазору K_j , компенсуючого похибки виготовлення зубчастих коліс і монтажу передачі, які зменшують бічний зазор, тобто:

$$j_{n \min} + K_j = (E_{H1S} + E_{H2S})2 \sin \alpha . \quad (2.117)$$



I – номінальне положення вихідного контуру; II – дійсне положення вихідного контуру

Рисунок 2.69 — Зміщення початкового контуру

Необхідне найменше зміщення початкового контуру на обох зубчастих колесах:

$$E_{H1S} + E_{H2S} = \frac{j_{n \min} + K_j}{2 \sin \alpha} . \quad (2.118)$$

Якщо прийняти найменше зміщення початкового контуру на обох колесах пари приблизно рівними, то при $\alpha = 20^\circ$ отримаємо

$$E_{HS} \approx \frac{j_{n \min} + K_j}{2 \cdot 2 \sin \alpha_0} \approx 0,73(j_{n \min} + K_j) . \quad (2.119)$$

Величина K_j призначена для компенсації таких похибок виготовлення зубчастих коліс і монтажу передачі: міжосьової відстані f_{ar} , кроку зачеплення f_{pbr} , похибки напрямку зуба, відхилення від паралельності осей f_{xr} і перекосу f_{yr} осей. При визначенні K_j враховують гранично допустиме значення вказаних похибок.

Найбільший бічний зазор не обмежено стандартом, але величина найбільшого зазору не може перевищувати значення, що отримується при найбільш несприятливому поєднанні відхилень складальних розмірів, тобто не перевищуватиме величини:

$$j_{n\max} = j_{n\min} + (T_{H_1} + T_{H_2} + 2f_a)2 \sin \alpha \quad (2.120)$$

У технічній документації точність виготовлення зубчастих коліс і передач задають ступенем точності, вказуючи вид спряження за нормами бічного зазору.

Приклад умовного позначення точності циліндричної передачі із ступенем точності 7 за всіма трьома нормами, з видом спряження C і видом допуску на бічний зазор c:

7 – C ГОСТ 1643-81.

При комбінуванні норм різних ступенів точності і зміні відповідності між видом спряження і класом відхилень міжосьової відстані, точність зубчастих коліс і передач позначається послідовним написанням трьох цифр і двох букв.

Перша цифра позначає ступінь за нормами кінематичної точності, друга – ступінь за нормами плавності роботи, третя – за нормами контакту зубів, перша з букв – вид сполучення, а друга – вид допуску на бічний зазор.

Цифри між собою і від букв, що пишуться разом, розділяються тире.

Приклад умовного позначення точності циліндричної передачі із ступенем 8 за нормою кінематичної точності, із ступенем 7 за нормою плавності, із ступенем 6 за нормою контакту зубів, з видом спряження B, видом допуску на бічний зазор a і відповідністю між видом спряження і класом відхилень міжосьової відстані:

8 – 7 – 6 – Ва ГОСТ 1643-81.

Примітка. У випадках, коли на одну з норм не задається ступінь точності, замість відповідної цифри вказується буква *N*.

При виборі грубшого класу відхилень міжосьової відстані, ніж передбачено для даного виду спряження, в умовному позначенні точності циліндричної передачі вказується прийнятий клас і розрахований за формулою зменшений гарантований бічний зазор:

$$j'_{n \min} = j_{n \min} - 0,68(|f'_a| - |f_a|), \quad (2.121)$$

де $j_{n \min}$ і f_a – табличні значення гарантованого бічного зазору і граничного відхилення міжосьової відстані для даного виду спряження;

$j'_{n \min}$ - розрахований гарантований бічний зазор;

f'_a - відхилення міжосьової відстані для грубшого класу.

Приклад умовного позначення точності циліндричної передачі зі ступенем точності 7 за всіма нормами, з видом спряження зубчастих коліс *C*, видом допуску на бічний зазор *a* і класом відхилень міжосьової відстані *V* (при міжосьовій відстані передачі ($a_\omega = 450$ мм, $j'_{n \min} = 128$ мкм):

7 – Ca/V – 128 ГОСТ 1643-81

Ступінь точності коліс і передач установлюється залежно від вимог за кінематичною точністю, плавністю, передаваною потужністю, а також від величини окружної швидкості коліс. Наприклад, при окружній швидкості в 10-15 м/с, застосовуються 6-7-а ступені точності, а при швидкості 20-40 м/с уже 4-5-й ступені. Ступінь точності потрібно визначати відповідними розрахунками:

- на основі кінематичного розрахунку похибок всієї передачі і допустимого кута розузгодження знаходять необхідний ступінь точності за нормами кінематичної точності;

- з розрахунку динаміки передачі, вібрацій і шумових явищ вибирають ступінь точності за нормами плавності;

- з розрахунку на міцність і довговічність вибирається ступінь норми контакту.

При виборі ступеня точності враховують досвід експлуатації аналогічних передач і обов'язково при необхідності використовують принцип комбінування норм точності, тобто для конкретної передачі залежно від її призначення встановлюють різні ступені точності (за нормами кінематичної точності, плавністю роботи і контактом зубів). Комбінування норм дозволяє встановлювати підвищену точність лише тих параметрів коліс, які важливі для задоволення експлуатаційних вимог; решту параметрів можна виконувати по грубших допусках. Комбінування доцільне як з експлуатаційної, так і з технологічної точок зору. (При підвищених вимогах до норми кінематичної точності в технологічний процес виготовлення коліс слід ввести операцію шліфування зубів, до норм плавності – зубохонінгування, зубошевінгування; до норм контакту – притирання зубів.) При комбінуванні потрібно враховувати, що норми плавності роботи коліс і передачі можуть бути не більше ніж на два ступені точніші або на один ступінь грубші за норму кінематичної точності; норми контакту зубів можна призначати на один ступінь точніші за норми плавності коліс і передач або на один ступінь грубші за норми плавності.

Вказані обмеження викликані наявністю певного взаємозв'язку між показниками точності коліс. Так, циклічна похибка є частиною кінематичної похибки, що багато разів повторюється за оберт колеса. Тому для збереження допуску на кінематичну похибку колеса розширення допуску на циклічну похибку більш ніж на один ступінь викликає помітне зменшення допустимого значення кінематичної похибки і робить практично неможливим виготовлення такого колеса.

Передача не може плавно працювати при поганому контакті зубів. Наприклад, якщо контакт зміщений до голівки або ніжки зуба, то зуб працює кромкою на вході або виході із зачеплення, що викликає неспокійну роботу передачі. В більшості випадків ступені за нормами плавності: наприклад для тракторів, вантажних автомобілів застосовують ступені 7 – 6 – 6 – С, 8 – 7 – 7 – С, для редукторів турбін – 6 – 5 – 5 – В. В металургійному машинобудуванні застосовують поєднання 8 – 7 – 7 – В, для прокатних станів – 8 – 7 – 7 – В. Для ділильних і інших відлікових механізмів ступінь за нормами кінематичної точності приймають на один ступінь точніший за норми плавності та контакту (наприклад, 4 – 5 – 5 - D).

Комплекси контрольованих параметрів точності зубчастих коліс перевіряють різними методами і засобами, тому стандартом передбачено декілька варіантів показників точності коліс (таблиці 2.17, 2.18, 2.19). Ці варіанти рівноправні. Вибір тих або інших контрольованих параметрів (тобто показників точності) зубчастих коліс залежить від їх необхідної точності розмірів, особливостей виробництва і інших чинників. Перевагу слід віддавати комплексним показникам F'_{ior} , $f_{z\text{zor}}$, $f_{z\text{kor}}$ і сумарній плямі контакту. При комплексному контролі точність коліс і передач оцінюють за сумарним проявом відхилень окремих параметрів, частина з яких може бути збільшена за рахунок зменшення інших або ж унаслідок компенсації одних погрешностей іншими.

Таблиця 2.17 – Показники кінематичної точності

Контрольований об'єкт	Показник точності або комплекс	Ступінь точності									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зубчасте колесо	F'_{ir}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	F_{Pr} и F_{Pkr}	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
	F_{Pr}	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-
	F_{cr} и F_{rr}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	F_{vWr} и F_{rr}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	F_{vWr} и F''_{ir}	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
	F_{cr} и F''_{ir}	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
	F''_{ir}	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	F_{rr}	-	-	-	-	X*	X*	X	X	X	X
Зубчаста передача	F'_{ior}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-

* Лише при ділільних діаметрах зубчастих коліс понад 1600 мм.

Таблиця 2.18 – Показники плавності роботи

Контрольований об'єкт	Показник точності або комплекс	Ступінь точності									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зубчасте колесо передачі з ξ_{β} , менше від указанного в таблиці 4 ГОСТ 1643-81	f'_{ir}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	$f_{z zr}$	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	f_{Pbr} u f_{fr}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	f_{Pbr} u f_{Ptr}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	f''_{ir}	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Зубчасте колесо передачі з будь-яким ξ_{β}	f''_{ir}	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	f_{Pbr}	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
	f_{Ptr}	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
Зубчасте колесо передачі з ξ_{β} , більшим або рівним вказаному в таблиці 4 ГОСТ 1643-81	f_{zkr}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	f_{Ptr}	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Зубчаста передача з ξ_{β} , менша від вказаного в таблиці 4 ГОСТ 1643-81	f'_{ior}	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
	$f_{z zor}$	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Зубчаста передача з ξ_{β} , більшим або рівним вказаному в таблиці 4 ГОСТ 1643-81	$f_{z kor}$	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-

Для контролю кінематичної точності встановлено дев'ять комплексів контрольованих параметрів. Допускається, щоб одна з величин, що входять у комплекс, перевищувала граничне значення, якщо сумарний вплив обох величин не перевищує допуск на кінематичну похибку колеса F'_i .

Для оцінки плавності роботи коліс встановлено тринадцять комплексів контрольованих параметрів. Перший призначений для перевірки зубчастих коліс з наступними ступенями точності і коефіцієнтами осьового перекриття ξ_β (більше або рівне вказаному) (таблиця 2.18).

Таблиця 2.19 – Граничні значення

Ступінь точності за нормами контакту	3	4	5	6	7	8
Граничні значення номінального коефіцієнта осьового перекриття ξ_β	1,25		1,5	2,0	2,5	3,0

Показниками плавності передачі є f'_{ior} і f_{zcor} при ξ_β менш вказаних і f_{zkor} - для передач з ξ_β більшим або рівним указаним (таблиця 2.19).

Повноту контакту зубів у передачі рекомендується оцінювати сумарною або миттєвою плямою контакту, а передач з нерегульованим розташуванням осей - f_{xr} і f_{yr} . Норму кінематичної точності (окрім F_r , $F_{v\omega}$, F''_i), норми плавності роботи (окрім f'_i) і норми контакту зубів у передачі (окрім f_{xr} і f_{yr}) залежно від умов роботи коліс по правих і лівих профілях допускається призначати з різних ступенів точності.

Таблиця 2.20 – Показники контакту зубів

Контрольований об'єкт	Показник точності або комплекс	Ступінь точності										
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Зубчасте колесо передачі з ξ_{β} , менше вказаного в таблиці.	$F_{\beta r}$	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	F_{kr}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Зубчасте колесо передачі з ξ_{β} , більшим або рівним вказаному в таблиці.	F_{pxnr} і F_{kr}	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-
	F_{pxnr} і f_{pbr}	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-
Зубчаста передача	f_{xr} і f_{yr} ***	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Сумарна пляма контакту	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
	Миттєва пляма контакту	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
*Для ступенів точності 9-12 при будь-якому ξ_{β} .												
** Для ступенів точності 9 при будь-якому ξ_{β} .												
*** Комплекс лише для передач з нерегульованим розташуванням осей.												

2.10.6 Допуски зубчастих конічних коліс

Принципи побудови системи допусків для зубчастих конічних передач (ГОСТ 1758-81) аналогічні принципам побудови системи для циліндричних передач. Встановлено 12 ступенів точності зубчастих коліс і передач, причому для ступенів 1, 2 і 3 допуски і граничні відхилення не наведені (вони є перспективними). Для кожного ступеня точності встановлені норми: кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів коліс у передачі.

Допускається комбінування вказаних норм різних ступенів точності. При цьому норми плавності можуть бути не більше ніж на два ступені точніші або на один ступінь грубші за норми кінематичної точності; норми контакту зубів не можна призначати за ступенем точності грубшими, ніж норми плавності.

Незалежно від ступеня точності і їх комбінування встановлено шість видів спряжень зубчастих коліс у передачі *A, B, C, D, E* і *H* (в порядку зменшення гарантованого бічного зазору $j_{n \min}$). Види спряження *A, B, C, D, E* і *H* зубчастих коліс у передачі застосовують відповідно для ступенів точності за нормами плавності роботи: 4-12; 4-11; 4-9; 4-8; 4-7; 4-7. Допуск на бічний зазор T_{jn} (ГОСТ 1758-81) не регламентований.

Показниками кінематичної точності зубчастих коліс є: найбільша кінематична похибка зубчастого колеса F'_{ir} (допуск F'_i); накопичена похибка до кроків

$$F_{Pkr} = \left(\varphi - \frac{2\pi k}{z}\right)r, \quad (2.122)$$

де r – радіус середнього ділильного кола зубчастого колеса (допуск F_{Pk}); накопичена похибка кроку по зубчастому колесу F_{Pr} (допуск F_P); биття зубчастого вінця F_{rr} (допуск F_r); похибка обкату F_{cr} (допуск F_c). Показником кінематичної точності передачі є найбільша кінематична похибка передачі F_{ior} (допуск F_{io}).

На кінематичну точність коліс, скомплектованих пар коліс і передач впливають також такі похибки специфічних параметрів конічних коліс і передач: коливання вимірювального міжосьового

кута пари (вимірювальної пари) за повний цикл $F''_{i\Sigma or}$ (за повний оберт зубчастого колеса $F_{i\Sigma r}$), визначене різницею найбільшого і найменшого вимірювальних міжосьових кутів за повний цикл (оберт колеса) зміни відносного положення зубчастих коліс пари при безззорному їх зачепленні; коливання відносного положення зубчастих коліс пари (вимірювальної пари) по нормалі за повний цикл F''_{inor} (за повний оберт зубчастого колеса F_{inr}), визначене найбільшою різницею положення одного колеса пари щодо іншого в напрямі, перпендикулярному площині, що проходить через спільну твірну початкових конусів і дотичну до них.

Показники плавності роботи і контакту зубів приблизно ті ж, що і для циліндричних передач.

З похибок специфічних параметрів розглянемо лише осьове зміщення зубчастого вінця f_{AMr} , визначене зміщенням зубчастого вінця уздовж його осі при монтажі передачі від положення, при якому плавність роботи і пляма контакту є якнайкращими, встановленими при обкатному контролі пари 1-2 (рисунок 2.70). Встановлені граничні осьові зміщення зубчастого вінця $\pm f_{AM}$.

Приклади умовного позначення точності конічної передачі: 8 – 7 – 6 – В ГОСТ 1758-81; 7 – С ГОСТ 1758-81.

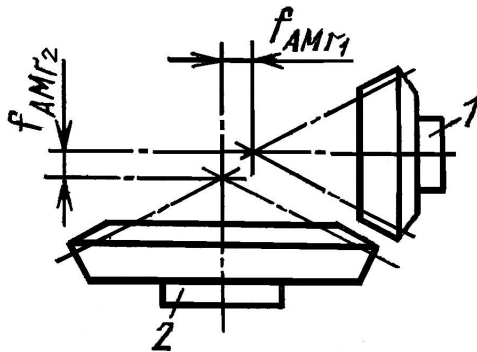


Рисунок 2.70 - Осьові зміщення зубчастого вінця конічних зубчастих коліс у передачі

2.10.7 Допуски черв'ячних циліндричних передач

Для черв'ячних циліндричних передач ГОСТ 3675-81 встановлює 12 ступенів точності: 1, 2, ..., 12 (у порядку зменшення точності).

Для черв'яків, черв'ячних коліс і черв'ячних передач кожного ступеня точності встановлені норми: кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів і витків. Допускається комбінування вказаних норм різних ступенів точності при дотриманні правил, аналогічних правилам, встановленим для циліндричних зубчастих передач.

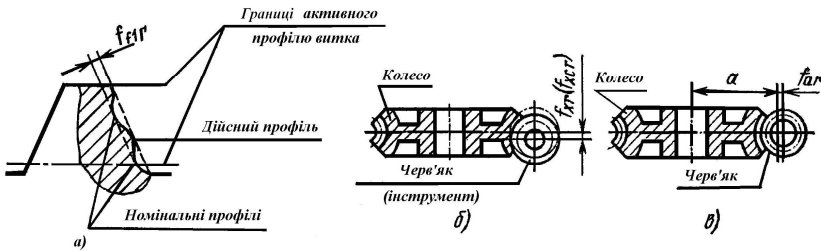
Незалежно від ступенів точності встановлено шість видів спряжень черв'яка з черв'ячним колесом у передачі: A, B, C, D, E, H – і вісім видів допуску T_{jn} : x, y, z, a, b, c, d, h . Позначення наведені в порядку зменшення бічного зазору і допуску на нього. Видам спряження H і E відповідає вид допуску на бічний зазор h , а видам спряження D, C, B і A – вид допуску d, c, b і a відповідно.

Показниками кінематичної точності черв'ячних коліс є: найбільша кінематична похибка черв'ячного колеса, накопичена похибка кроку черв'ячного колеса F_{Pr} і накопичена похибка k кроків черв'ячного колеса F_{Pkr} , похибка обкату F_{cr} і радіальне биття зубчастого вінця черв'ячного колеса F_{rr} , коливання вимірювальної міжосьової відстані за оберт черв'ячного колеса F''_{ir} . Показником кінематичної точності черв'ячних передач (і колеса з черв'яком, що поставляються парами) є найбільша кінематична похибка передачі F'_{ior} .

Показниками плавності роботи черв'яків є: похибка гвинтової поверхні витка черв'яка f_{hor} , радіальне биття витка черв'яка f_{rr} , відхилення осевого кроку черв'яка f_{pxr} , накопичена похибка k кроків черв'яка f_{pxkr} , похибка гвинтової лінії в межах оберту f_{hr} і на всій довжині черв'яка f_{hkr} , похибка профілю витка черв'яка f_{flr} . Показниками плавності роботи черв'ячних коліс є: циклічна похибка черв'ячного колеса f_{kr} , коливання вимірювальної міжосьової відстані на одному зубі f''_{ir} , відхилення кроку колеса f_{pr} або похибка профілю зуба колеса f_{f2r} . Показниками плавності роботи черв'ячної передачі є: циклічна похибка передачі f_{zkr} і циклічна похибка зубцьової частоти в передачі f_{zzor} .

Показниками контакту зубів черв'ячного колеса з витками черв'яка є: сумарна пляма контакту, зміщення середньої площини в передачі f_{xr} , відхилення міжосьової відстані в передачі f_{ar} і відхилення міжосьового кута передачі $f_{\Sigma r}$.

Специфічні контрольовані похибки показані на рисунку 2.71.



а – похибка профілю витка черв'яка; б – зміщення середньої площини в передачі; у – відхилення міжосьової відстані в передачі

Рисунок 2.71 – Похибки черв'ячних передач

Приклад умовного позначення черв'ячної передачі:

8 – 7 – 6 Ва ГОСТ 3675-81.

2.10.8 Методи і засоби контролю зубчастих коліс і передач

Залежно від поставленої мети контроль зубчастих коліс поділяють на приймальний (остаточний) і технологічний.

При приймальному контролі встановлюють відповідність точності коліс вимогам, залежним від призначення передач. Бажано, щоб цей контроль був комплексним і виконувався в умовах, близьких до експлуатаційних, при поєднанні вимірювальної бази деталі з експлуатаційною (монтажною). Якщо відповідні засоби для комплексного контролю відсутні, то застосовують поелементний (диференційований) контроль. Контрольні комплекси вказані в таблицях 2.18, 2.19, 2.20.

Технологічний контроль використовують при наладці технологічних операцій і для виявлення причин браку. При цьому контролі вимірювальну базу необхідно поєднувати з технологічною. Прямий поелементний приймальний контроль зубчастих коліс найбільш трудомісткий, він вимагає великого числа найменувань вимірювальних приладів і його доцільно застосовувати лише в індивідуальному і дрібносерійному виробництвах.

Існування зв'язків між похибками зубчастих коліс і передач з дефектами технологічного устаткування дозволяє замінити прямий контроль точності побічним.

Останній полягає в контролі таких похибок верстата, інструменту і пристосувань, за яким можна робити висновок про точність зубчастих коліс. Побічний контроль скорочує трудомісткість контрольних операцій і потребу у вимірювальних засобах. Проте це досягається лише при обґрунтованій системі контролю, яка охоплює всі елементи виробництва і яка встановлює види контрольних перевірок, методи, засоби і періодичність їх проведення.

Останнім часом застосовують активний контроль зубчастих коліс, результати якого використовують для управління ходом технологічного процесу (його підналадки, перемикання режимів обробки і ін.). Всі прилади поділяють на верстатні з пристроєм для базування коліс і накладні, які при контролі розташовують на колесі. За призначенням прилади ділять на прилади для контролю кінематичної похибки і обкату (F'_{ir} , f'_{ir} , F_{cr}), накопиченої похибки кроку по колесу і за k кроків (F_{pr} и F_{pkr}) і інш. – всього 14 груп. За точністю виміру прилади повинні мати класи А, АВ и В. По кожному класу приладів установлені метрологічні показники і граничні допустимі похибки вимірювання.

Контрольні питання до розділу 2.10

1. Як поділяються зубчасті передачі за експлуатаційним призначенням? Які головні вимоги до цих передач?

2. За якими нормами та ступенями точності виконуються зубчасті колеса?

3. Назвіть показники, які характеризують норму кінематичної точності?
4. Назвіть показники, які характеризують норму плавності?
5. Назвіть показники, які характеризують норму контакту зубів?
6. Назвіть види спряжень зубів коліс в передачі.
7. Назвіть види допусків на бічний зазор.
8. Які показники використовуються для забезпечення гарантованого бічного зазору?
9. Як умовно позначається точність коліс?
10. Для чого використовуються комбінування норм різних ступенів точності?
11. Наведіть приклад умовного позначення точності конічної та черв'ячної передачі.
12. Які методи і засоби використовуються для контролю зубчастих коліс та передач?

2.11 Допуски та відхилення форми, розташування і шорсткість поверхонь

2.11.1 Загальні відомості

Кожна деталь може бути представлена як сукупність геометричних, ідеально точних об'ємів, що мають циліндричні, конічні, плоскі, сферичні та інші поверхні. Так, наприклад, вал (рисунок 2.72) утворено поєднанням різних поверхонь.

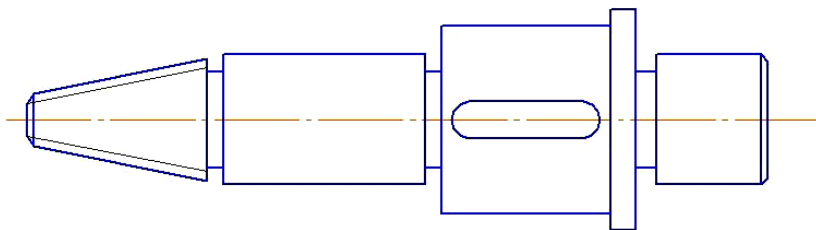


Рисунок 2.72 – Вал, що являє собою сукупність різних поверхонь

Під час виготовлення деталей, а також експлуатації машин виникають похибки не тільки розмірів, а й форми та розташування поверхонь. Також під час виготовлення кожен різальний інструмент залишає на оброблюваній поверхні сліди, які мають вигляд западин або виступів. Ці нерівності складають шорсткість та хвилястість поверхонь. Таким чином, на кресленнях форму деталей задають ідеально точними номінальними поверхнями, площинами, профілями. Виготовлені ж деталі мають реальні поверхні, площини, профілі, які відрізняються від номінальних відхиленнями форми і розташування, а також хвилястістю та шорсткістю. Відхилення від заданої форми і розташування спотворюють характер з'єднання деталей при збиранні та погіршують якість роботи не тільки одиниць збирання, а й машини в цілому. Тому в залежності від призначення деталей і умов їх роботи конструктор обмежує величини можливих відхилень форми та розташування поверхонь допусками, які передбачені в ДСТУ 2498-94, ГОСТ 24642-81, ГОСТ 24643-81, ГОСТ 2.308-79.

2.11.2 Класифікація відхилень геометричних параметрів деталей

Взаємозамінність деталей визначається в першу чергу точністю їх геометричних параметрів (розмірами, формою, розташуванням поверхонь).

Для нормування і кількісної оцінки відхилень форми та розташування поверхонь введено такі поняття:

Номінальна форма – ідеальна форма, задана кресленням або іншими технічними документами.

Номінальна поверхня – ідеальна поверхня, розміри та форма якої відповідають заданим номінальним розмірам і номінальній формі.

Реальна (дійсна) поверхня – поверхня, яка обмежує тіло та відділяє його від навколишнього середовища. Вони отримуються під час обробки або експлуатації машин.

Аналогічно розрізняють номінальний і реальний профіль (рисунк 2.73), номінальне і реальне розташування поверхонь, які визначаються лінійними та кутовими розмірами відносно бази або між поверхнями, що розглядаються.

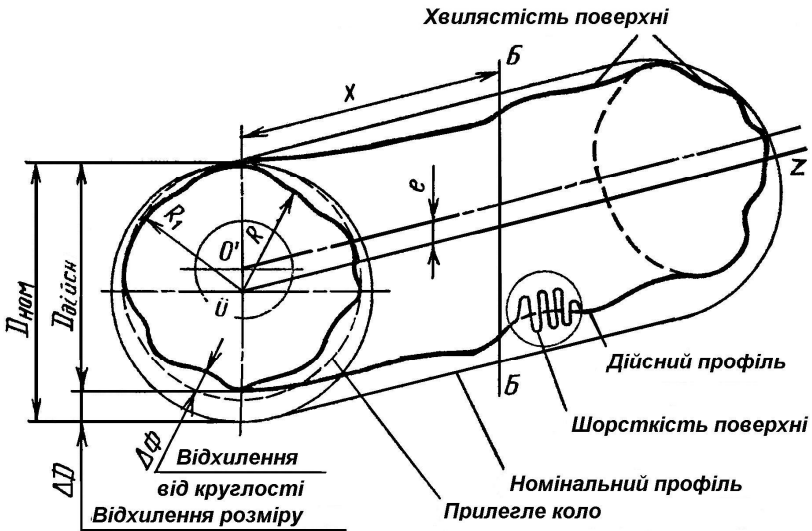


Рисунок 2.73 – Відхилення геометричних параметрів різних порядків

Базова поверхня – поверхня, яка має форму номінальної поверхні і служить основою для оцінювання відхилень форми реальної форми або реального профілю. Для кількісної оцінки відхилень форми за базу приймають прилеглу поверхню (площину, циліндр, пряму, коло, профіль) (рисунок 2.74).

Прилегла поверхня – поверхня, що має форму номінальної поверхні, стикається з реальною поверхнею і розташована поза матеріалом деталі так, щоб відхилення від неї найбільш віддаленої точки реальної поверхні в межах нормованої ділянки мало мінімальне значення.

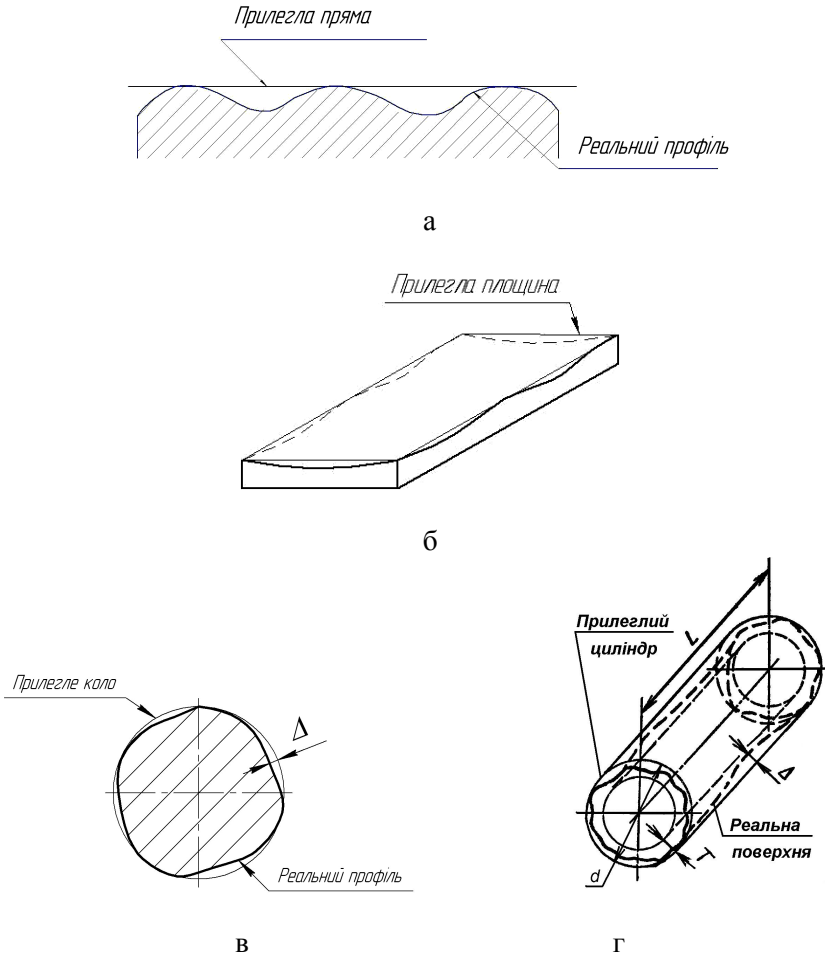


Рисунок 2.74 – Прилеглі пряма (а), площина (б), коло (в), циліндр (г)

Точність геометричних параметрів визначається відхиленнями цих параметрів від номінальних.

Відхилення геометричних параметрів – це найбільша відстань між дійсними поверхнями (розмірами) і номінальними. Відхилення геометричних параметрів можна класифікувати наступним чином (рисунок 2.74):

1. Відхилення нульового порядку – відхилення розміру (ΔD).
 2. Відхилення першого порядку – відхилення розташування поверхонь (e).
 3. Відхилення другого порядку – відхилення форми поверхонь (ΔF).
 4. Відхилення третього порядку – відхилення, що мають характер хвилястості.
 5. Відхилення четвертого порядку – шорсткість поверхні.
- Для отримання придатних деталей та виробів необхідно нормувати і контролювати всі перераховані параметри.

2.11.3 Відхилення і допуски форми

Відхиленням форми поверхні або профілю називають відхилення форми реальної поверхні (реального профілю) від номінальної поверхні (номінального профілю). Взагалі у відхилення форми входить хвилястість поверхні і не входить шорсткість. Відхилення форми поверхонь відлічують від точок реальної поверхні до прилеглих поверхонь.

Причинами появи відхилень форми можуть бути:

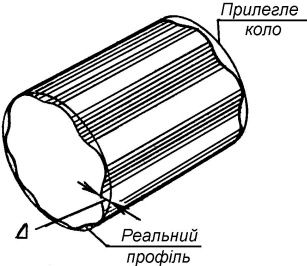
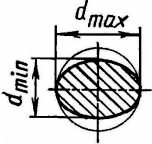
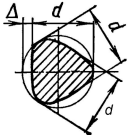
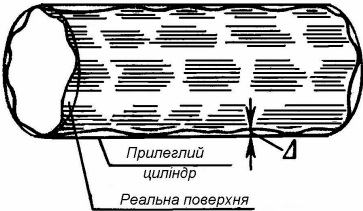
- похибки технологічного обладнання;
- похибки інструменту;
- похибки системи «верстат-притосовування-інструмент-деталь»;
- коливання режимів обробки;
- нестабільність властивостей оброблюваного матеріалу;
- наявність залишкових напружень у металі;
- похибки оператора.

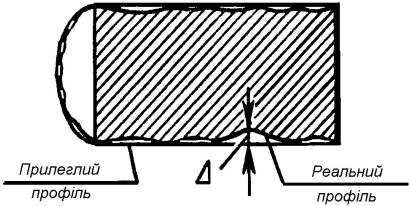
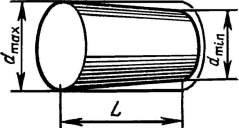
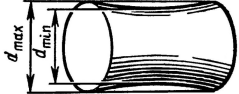
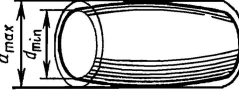
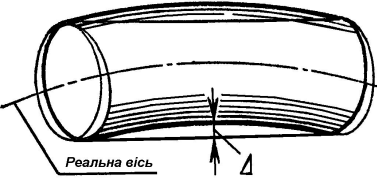
До відхилень форми слід віднести відхилення циліндричних і плоских поверхонь.

2.11.4 Відхилення форми циліндричних поверхонь

Для визначення відхилень форми установлені два види показників: комплексні і диференційовані (таблиця 2.21):

Таблиця 2.21 – Показники відхилень форми циліндричних поверхонь

Комплексні	Диференційовані	Відхилення, Δ
<p>1. Відхилення від круглості поперечних перерізів</p>  <p>Прилегле коло</p> <p>Реальний профіль</p> <p>Δ</p>	<p>1.1 Овальність</p>  <p>1.2 Огранка</p> 	$\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}$
<p>2. Відхилення від циліндричності</p>  <p>Прилеглий циліндр</p> <p>Реальна поверхня</p> <p>Δ</p>		

<p>3. Відхилення профілю поздовжнього перерізу</p> 	<p>3.1 Конусоподібність</p> 	$\Delta = 0,5(d_{\max} - d_{\min})$
<p>3.2 Сідлоподібність</p> 	<p>3.3 Бочкоподібність</p> 	$\Delta = 0,5(d_{\max} - d_{\min})$
<p>4. Відхилення від прямолінійності осі</p> 	<p>4.1 Зігнутість</p>	

2.11.5 Відхилення і допуски форми плоских поверхонь

Відхиленнями форми плоских поверхонь можуть бути відхилення від прямолінійності і відхилення від площинності.

Відхилення від прямолінійності (таблиця 2.22) – найбільша відстань від точок реального профілю до прилеглої прямої в межах нормованої ділянки.

Відхилення від площинності – найбільша відстань від точок реальної поверхні до прилеглої площини в межах нормованої ділянки.

Відхилення форми плоских поверхонь визначаються комплексними і диференційованими показниками (таблиця 2.22).

Відхилення форми оцінюють найбільшим відхиленням Δ . При цьому повинна забезпечуватись умова:

$$\Delta \leq T, \quad (2.123)$$

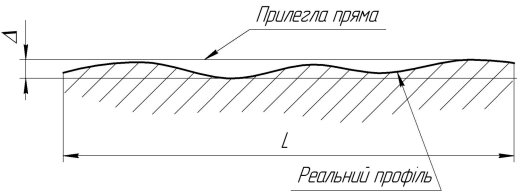
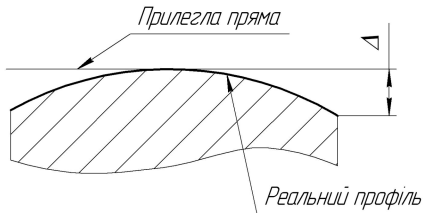
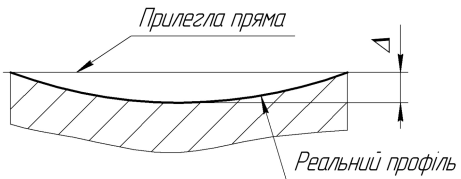
де T – допуск форми.

Поле допуску форми являє собою зону в просторі або на поверхні, усередині якої повинні знаходитись всі точки реальної поверхні.

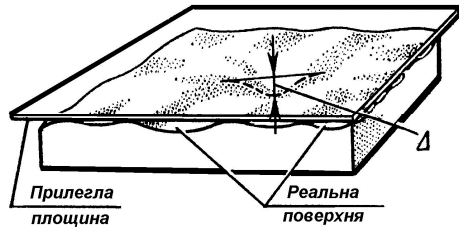
Допуски круглості, циліндричності і площинності – найбільше допустиме значення відхилень від круглості, циліндричності і площинності відповідно.

На робочих кресленнях умовні позначення мають тільки комплексні показники відхилень форми циліндричних і плоских поверхонь (таблиця 2.23). Диференційовані види відхилень форми умовних позначень не мають, а в разі необхідності вид і величина відхилень вказуються текстом у технічних умовах.

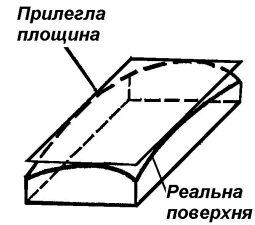
Таблиця 2.22 – Показники відхилень форми плоских поверхонь

Комплексні	Диференційовані
<p data-bbox="151 300 582 330">1. Відхилення від прямолінійності</p> 	<p data-bbox="718 268 901 296">1.1 Опуклість</p>  <p data-bbox="718 610 893 644">1.2 Вгнутість</p> 

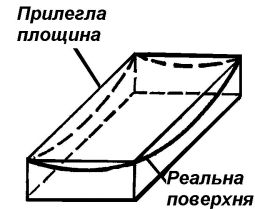
2. Відхилення від площинності








2.1 Опуклість



2.2 Вгнутість



Таблиця 2.23 – Умовне позначення допусків форми поверхонь

Вид допуску	Позначення
1. Допуск круглості	
2. Допуск циліндричності	
3. Допуск профілю поздовжнього перерізу	
4. Допуск прямолінійності	
5. Допуск площинності	

2.11.6 Відхилення і допуски розташування поверхонь

Номінальне розташування – розташування елемента (поверхні чи профілю), яке визначається номінальними лінійними та кутовими розмірами між ними і базами або між розглядуваними елементами, якщо бази не задані.

Реальне розташування – розташування елемента (поверхні чи профілю), яке визначається дійсними лінійними та кутовими розмірами між ним і базами або між розглядуваними елементами, якщо бази не задані.

База – елемент деталі або сполучення елементів, що виконує ту ж функцію, відносно якого задається допуск розташування чи сумарний допуск форми і розташування, а також визначається відповідне відхилення розглядуваного елемента.

Відхиленням розташування називають відхилення від номінального розташування розглядуваної поверхні, її осі або площини симетрії відносно баз або відхилення від номінального розташування поверхонь. Під час оцінювання відхилень розташування відхилення форми поверхні виключаються (окрім радіального і торцевого биття). При цьому реальні поверхні (профілі) замінюють прилеглими.

Полем допуску розташування називають зону в просторі чи заданій площині, усередині якої повинні міститися прилеглі площина або поверхня, вісь, центр або площина симетрії розглядуваного елемента в межах нормованої ділянки.

Точність розташування вважають забезпеченою, якщо дійсне відхилення не перевищує допуску, який встановлено для даного виду відхилення, тобто $\Delta \leq T$.

Розглянемо основні види відхилень розташування.

Відхилення від паралельності площин (Δ) – різниця найбільшої і найменшої відстані між площинами в межах нормованої ділянки (рисунок 2.75).

$$\Delta = A_{\max} - A_{\min} \quad (2.124)$$

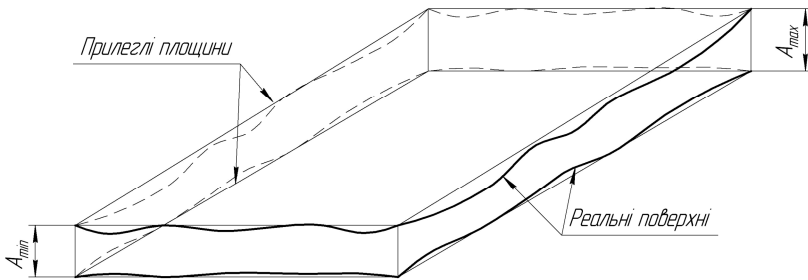


Рисунок 2.75 – Відхилення від паралельності площин

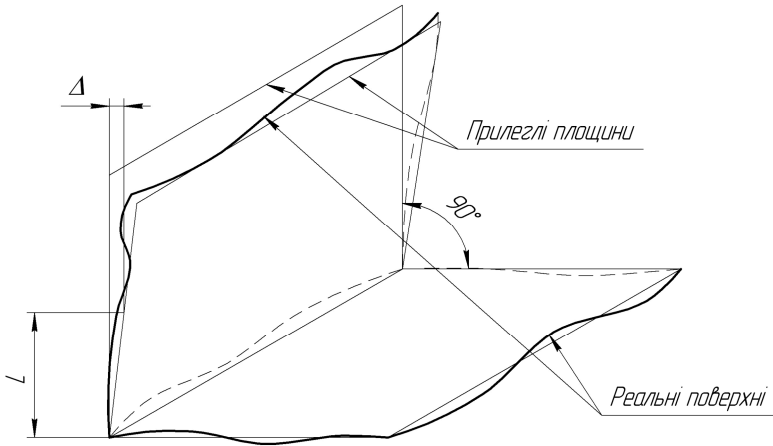
Відхилення від перпендикулярності – відхилення кута між площинами від прямого кута (90°), виражене в лінійних одиницях на довжині нормованої ділянки (рисунок 2.76).

Відхилення від паралельності осей у просторі дорівнює геометричній сумі відхилень від паралельності проєкцій осей Δ_x і Δ_y на взаємно перпендикулярні площини Q і P (рисунок 2.77).

$$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}, \quad (2.125)$$

де Δ_x - відхилення від паралельності осей у спільній площині;

Δ_y - перекіс осей, визначається відхиленням від паралельності проєкцій осей на площину P, яка проходить через одну вісь і є перпендикулярною до площини Q.



L – довжина нормованої ділянки

Рисунок 2.76 – Відхилення від перпендикулярності

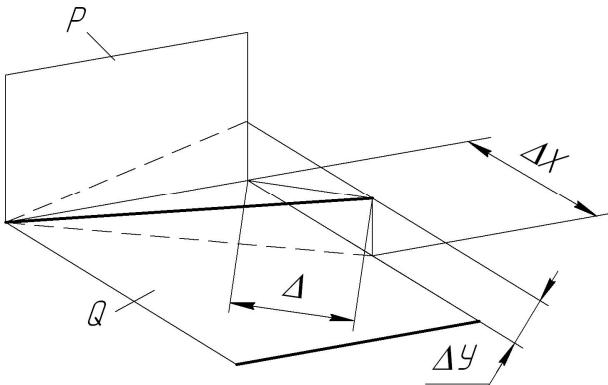


Рисунок 2.77 – Відхилення від паралельності осей у просторі

Відхилення від співвісності відносно спільної осі (рисунок 2.78) – це найбільша відстань Δ_1 (Δ_2) між віссю розглядуваної поверхні обертання і спільною (базовою) віссю на довжині нормованої ділянки $L_1(L_2)$.

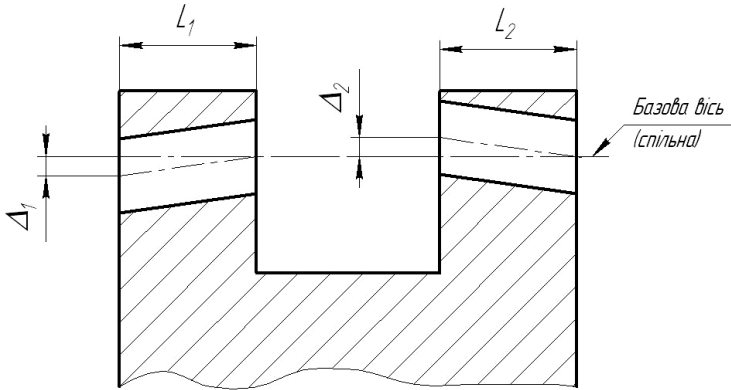


Рисунок 2.78 – Відхилення від співвісності відносно спільної осі

Відхилення від симетричності (рисунок 2.79) – це найбільша відстань між площиною симетрії (віссю) розглядуваного елемента і базою (площиною симетрії базового елемента) в межах нормованої ділянки.

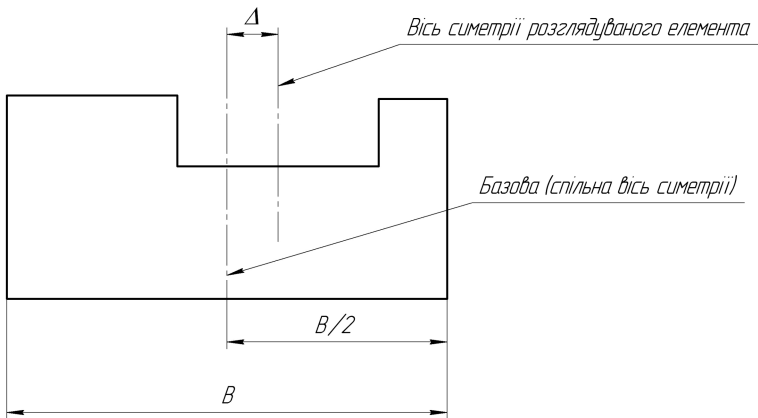


Рисунок 2.79 – Відхилення від симетричності

Відхилення від перетину осей (рисунок 2.80) – найменша відстань між осями, що номінально перетинаються.

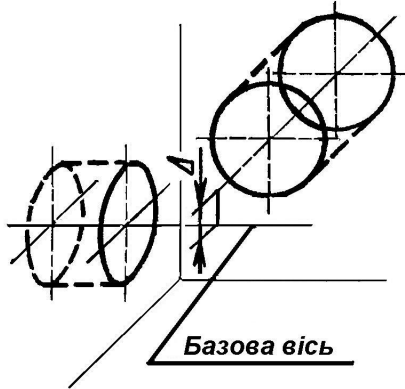


Рисунок 2.80 – Відхилення від перетину осей

Позиційне відхилення (рисунок 2.81) – це умовна назва відхилення на зміщення осі або площини відносно номінального розташування.

Воно дорівнює найбільшій відстані Δ між реальним розташуванням елемента (його центру, осі або площини симетрії) і його розташуванням у межах нормованої ділянки.

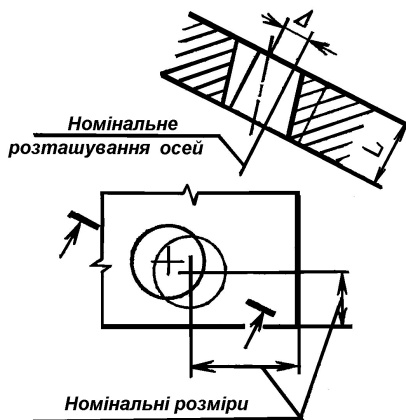


Рисунок 2.81 – Позиційне відхилення

Відхилення нахилу – відхилення кута між площиною і базовою площиною або базовою віссю від номінального кута, яке визначається в лінійних одиницях Δ на довжині нормованої ділянки (рисунок 2.82).

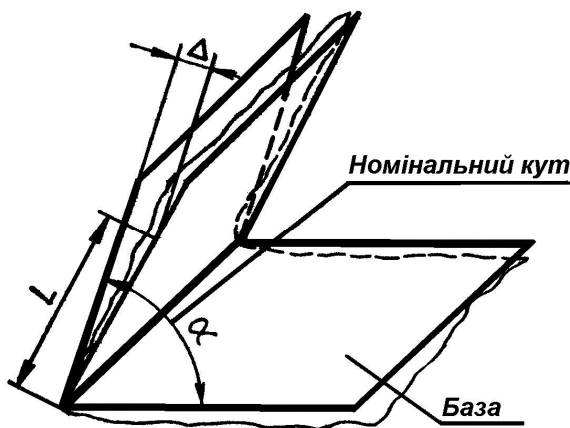


Рисунок 2.82 – Відхилення нахилу

2.11.7 Сумарні відхилення (допуск) форми та розташування

Сумарне відхилення форми та розташування – відхилення, яке одночасно враховує відхилення форми і розташування розглядуваної реальної поверхні (профілю) відносно заданих баз. Сумарні відхилення застосовують, зокрема, для оцінки радіального і торцевого биття.

Радіальне биття (рисунок 2.83) відносно базової осі виникає в результаті відхилень від круглості і співвісності з зазначеною віссю профілю перерізу, який перевіряється.

Повне радіальне биття циліндричної поверхні виникає в результаті відхилення поверхні, яка перевіряється, від циліндричності і співвісності з базовою віссю.

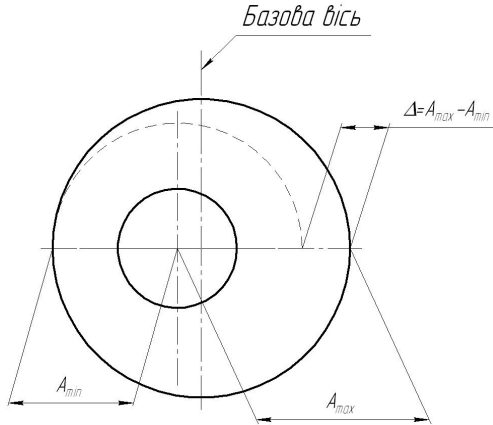


Рисунок 2.83 – Радіальне биття

Торцеве биття являє собою різницю найбільшої і найменшої відстані від точок торцевої поверхні, які розташовуються на колі заданого діаметра d (рисунок 2.84), до площини, перпендикулярної до базової осі обертання. Якщо діаметр не задається, то торцеве биття визначається на найбільшому діаметрі торцевої поверхні. Повне торцеве биття сумарно обмежує відхилення від площинності і перпендикулярності. Визначається повне торцеве биття як найбільша різниця показів вимірювального приладу при його радіальному переміщенні і обертанні деталі навколо базової осі.

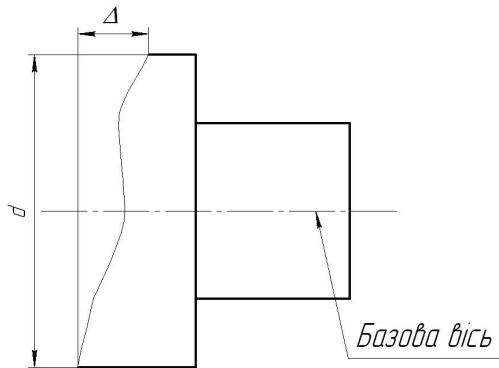
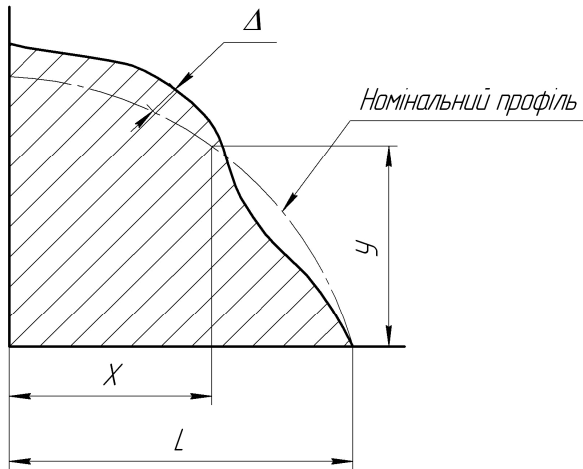


Рисунок 2.84 – Торцеве биття

До сумарних характеристик відносяться також допуск форми будь-якого профілю або будь-якої поверхні заданих номінальними розмірами відносно баз. Цей допуск обмежує не тільки форму заданого профілю, а й його розташування відносно баз.

Відхилення форми заданого профілю Δ (рисунок 2.85) – найбільше відхилення точок реального профілю від номінального профілю, яке визначається по нормалі до номінального профілю в межах нормованої ділянки.



x, y – номінальні значення; L – довжина нормованої ділянки

Рисунок 2.85 – Відхилення форми заданого профілю

Поле допуску форми заданого профілю TCL (рисунок 2.86) – зона на заданій площині перерізу поверхні, обмежена двома лініями, еквідистантами до номінального профілю і віддаленої одна від одної на відстань, що дорівнює допуску форми заданого профілю в діаметральному вираженні TCL.

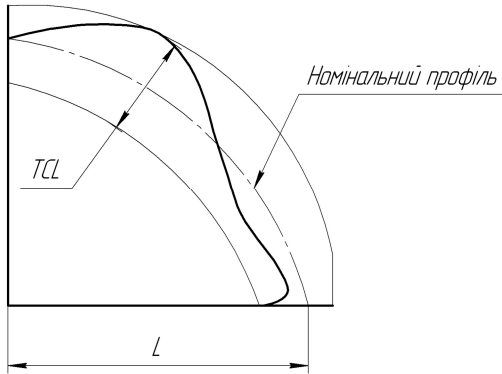


Рисунок 2.86 – Поле допуску заданого профілю

Відхилення форми заданої поверхні Δ (рисунок 2.87) – найбільше відхилення точок реальної поверхні від номінальної поверхні в межах нормованої ділянки.

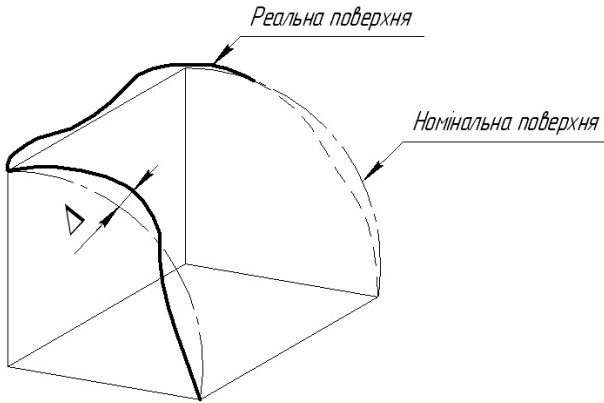


Рисунок 2.87 – Відхилення форми заданої поверхні

Допуски розташування можуть бути задані двома способами: в діаметральному або радіусному вираженні.

Допуск у радіальному вираженні – найбільше допустиме значення відхилення розташування, яке задане на радіус. Позначається на кресленнях додатковим знаком «R» або «T/2».

Допуск у діаметральному вираженні – подвоєне найбільше значення відхилення розташування. Має умовне позначення знаком « \emptyset » або « T ».

Відхилення розташування поверхонь мають умовні позначення на кресленнях(таблиця 2.24). Лінії в знаках відхилень від паралельності і биття нахилені під кутом 75° .

Таблиця 2.24 – Умовне позначення допусків розташування

Група допусків	Вид допуску	Позначення
Допуски розташування	Паралельності	
	Перпендикулярності	
	Нахилу	
	Співвісності	
	Симетричності	
	Позиційний	
	Перетину осей	
Сумарні допуски форми і розташування	Радіального або торцьового биття; биття в заданому напрямку	
	Повного радіального або торцьового биття	
	Форми заданого профілю	
	Форми заданої поверхні	

2.11.8 Залежний і незалежний допуски розташування поверхонь деталей

Допуски розташування або форми, які встановлюються для валів або отворів, можуть бути залежними або незалежними.

Незалежним допуском називається допуск розташування, числове значення якого не залежить від дійсного розміру нормованого або базового елемента.

Приклад. Допуск на співвісність посадкових гнізд у корпусі редуктора під вали з підшипниками кочення для зубчастих коліс. Повинна бути витримана перш за все міжосьова відстань, оскільки вона регламентує нормальну роботу зубчастої передачі. У цьому випадку допуск не буде залежати ні від дійсних, ні від граничних розмірів з'єднаних деталей.

Залежними називаються допуски розташування поверхонь, величина яких залежить не тільки від заданого граничного відхилення розташування, але й від дійсних відхилень з'єднаних деталей. Залежні допуски призначаються для деталей, які з'єднуються по двох або трьох поверхнях одночасно и для яких вимога взаємозамінності зводиться до забезпечення збирання. Величина відхилень повинна призначатися виходячи з найбільш несприятливого варіанту поєднання спряжуваних розмірів – найменших граничних розмірів охоплюючих поверхонь і найбільших граничних розмірів охоплюваних, тобто мінімальною.

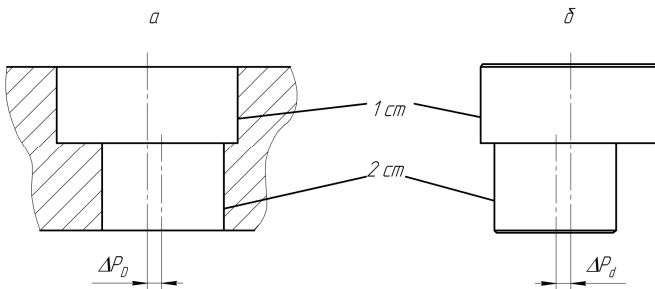


Рисунок 2.88 – Відхилення від співвісності ступенів отвору ΔP_D (а) і ΔP_d (б)

При розрахунках допуски розташування розглядаються для будь-якої пари поверхонь, які називаються ступенями. Позначивши через S_{\min} найменший зазор і через ΔP – відхилення від співвісності, для будь-якого i -го ступеня (рисунок 2.86) отримуємо:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_D + \Delta P_d = 0,5(S_{\min 1} + S_{\min 2} + \dots + S_{\min i}), \quad (2.126)$$

або залежно від умов використання зазорів у спряженнях:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_D + \Delta P_d = k(S_{\min 1} + S_{\min 2} + \dots + S_{\min i}), \quad (2.127)$$

де ΔP_{Σ} - величина сумарного допуску розташування (на дві спряжувані деталі);

ΔP_D - допуск на співвісність ступенів отвору;

ΔP_d - допуск на співвісність ступенів валу;

$S_{\min 1}, S_{\min 2}, S_{\min i}$ - величина найменших зазорів у ступенях.

k – коефіцієнт використання найменших зазорів.

Величина коефіцієнта k визначається умовами роботи спряжуваних деталей. Для нерухомих з'єднань $k = 0,4-0,5$, для рухомих – $k = 0,2-0,4$.

Величина сумарного допуску розташування розподіляється між валом і отвором наступним чином:

$$\Delta P_D = 0,7\Delta P_{\Sigma}; \quad (2.128)$$

$$\Delta P_d = 0,3\Delta P_{\Sigma}. \quad (2.129)$$

Залежні допуски розташування переважно призначаються на міжосьові відстані кріпильних отворів, співвісність ділянок ступінчастих отворів, на симетричність розташування шпонкових пазів та інше. Ці допуски контролюють комплексними калібрами розташування, які являють собою прототипи конструкції спряжуваних деталей. Калібри завжди прохідні, що гарантує безпідгінне збирання виробів.

На кресленнях указують мінімальне значення допуску.

2.11.9 Позначення на кресленнях допусків форми та розташування поверхонь деталей

Допустимі відхилення форми та розташування вказуються на кресленні поряд з відповідним символічним позначенням (таблиці 2.23, 2.24) або текстовим записом на вільному полі креслення.

Символічні позначення і допустимі значення відхилень форми та розташування розміщують у прямокутних рамках (таблиця 2.25, а), які з'єднуються виносною лінією зі стрілкою з контурною лінією поверхні або з віссю симетрії, якщо відхилення відноситься до загальної осі (таблиця 2.25, п). Прямокутні рамки ділять на дві або три частини: в першій показують символічне позначення відхилення, у другій величина допуску в міліметрах, у третій – при необхідності позначення буквою бази або іншої поверхні, до якої відноситься допуск. Перед числовим значенням допуску слід указувати: символ \varnothing (таблиця 2.25, б), якщо поле допуску задане його діаметром; символ R (таблиця 2.25, в), якщо поле допуску задане радіусом; символ T (таблиця 2.25, г), якщо допуски симетричності, перетину, форми заданої поверхні, а також позиційні задані в діаметральному вираженні; символ $T/2$ (таблиця 2.25, д) для тих же видів допусків, якщо вони задані в радіусному вираженні. Якщо допуск відноситься до дільниці поверхні заданої довжини (площі) (таблиця 2.25, ж), то її значення указують поряд з допуском, відділяючи його похилою лінією. Якщо необхідно призначити на всій довжині поверхні і на задній довжині, то допуск на всій довжині указують під допуском на всій довжині. Надписи, які доповнюють дані, наведені в рамці, наносять під рамкою (таблиця 2.25, т).

Сумарні допуски форми і розташування поверхонь, для яких не установлені окремі графічні знаки, позначають знаками складових допусків: спочатку знак допуску розташування, потім знак допуску форми (таблиця 2.25).

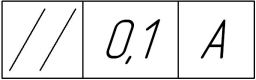
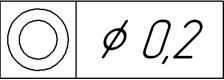

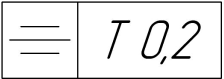
Базу позначають зачерненим трикутником, який з'єднують лінією з рамкою допуску (таблиця 2.25).

Залежний допуск позначається буквою M і проставляється в кружечку в прямокутній рамці поряд з величиною допуску (таблиця 2.25, м).

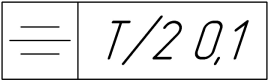
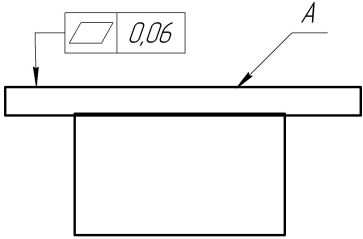
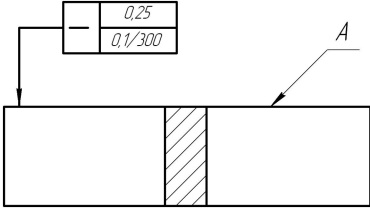
Якщо на кресленні більшість допусків розташування є залежними, то незалежні допуски позначаються буквою S і також проставляються в кружечку поряд з величиною допуску.

Приклади нанесення допусків форми та розташування поверхонь умовними позначеннями і текстовим записом наведені в таблиці 2.25.

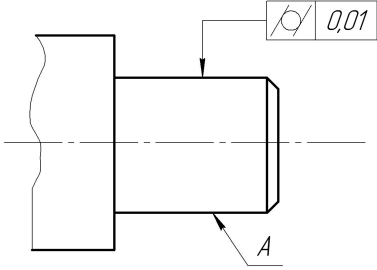
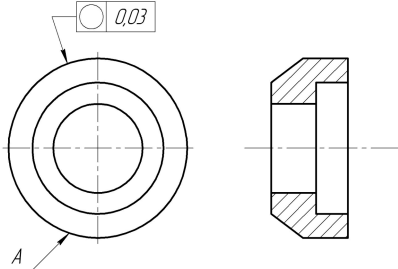
Таблиця 2.25 – Приклади позначень допусків форми і розташування поверхонь

Вид допуску	Умовне позначення символами	Зазначення в кресленнях текстовим записом
Допуск паралельності	<p style="text-align: center;">а</p> 	Допуск паралельності не більше 0,1 мм відносно бази А
Допуск співвісності	<p style="text-align: center;">б</p> 	Допуск співвісності не більше 0,2 мм на діаметр
	<p style="text-align: center;">в</p> 	Допуск співвісності не більше 0,1 мм на радіус
Допуск симетричності	<p style="text-align: center;">г</p> 	Допуск симетричності не більше 0,2 мм в діаметральному виразі

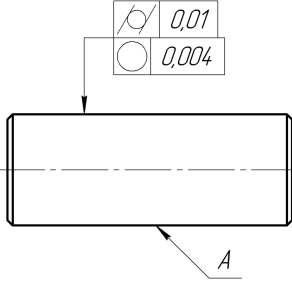
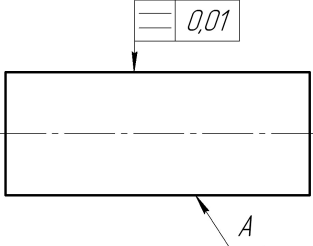
Продовження таблиці 2.25

	<p>д</p> 	<p>Допуск симетричності не більше 0,1 мм в радіусному виразі</p>
<p>Допуск площинності</p>	<p>е</p> 	<p>Допуск площинності поверхні А не більше 0,06 мм</p>
<p>Допуск прямолінійності</p>	<p>ж</p> 	<p>Допуск прямолінійності поверхні А не більше 0,25 мм на всій довжині і не більше 0,1 мм на довжині 300 мм</p>

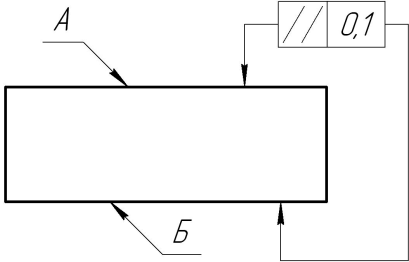
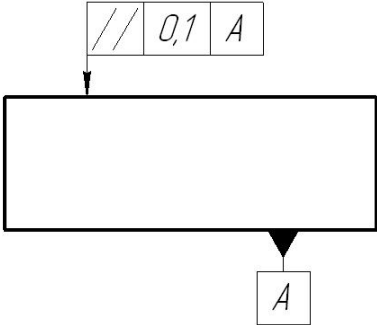
Продовження таблиці 2.25

<p>Допуск циліндричності</p>	<p>з</p> 	<p>Допуск циліндричності поверхні А не більше 0,01 мм</p>
<p>Допуск круглості</p>	<p>і</p> 	<p>Допуск круглості поверхні А не більше 0,03 мм</p>

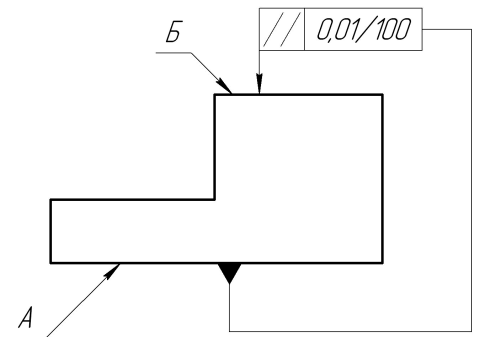
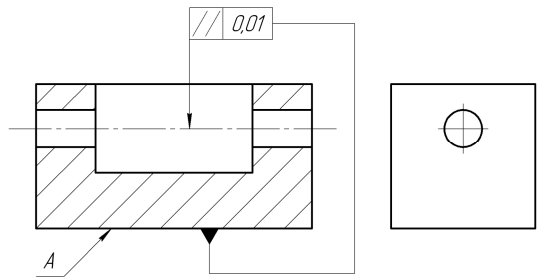
Продовження таблиці 2.25

<p>Допуск циліндричності, круглості</p>	<p>к</p> 	<p>Допуск циліндричності поверхні А не більше 0,01 мм, круглості не більше 0,004 мм</p>
<p>Допуск профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні</p>	<p>л</p> 	<p>Допуск профілю поздовжнього перерізу поверхні А не більше 0,01 мм</p>

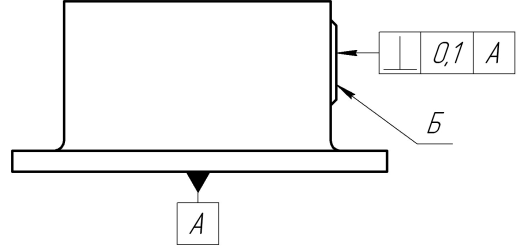
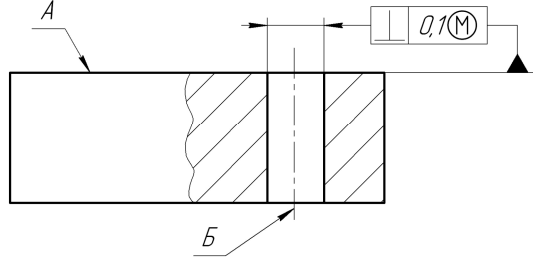
Продовження таблиці 2.25

<p>Допуск паралельності</p>	<p>м</p> 	<p>Допуск паралельності поверхонь А і Б не більше 0,1 мм</p>
	<p>н</p> 	<p>Допуск паралельності на більше 0,1 відносно базової поверхні А</p>

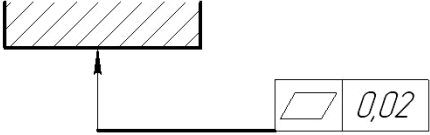
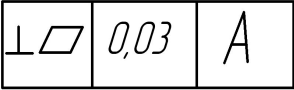
Продовження таблиці 2.25

<p>о</p> 	<p>Допуск паралельності поверхні Б відносно поверхні А не більше 0,01 мм на довжині 100 мм</p>
<p>п</p> 	<p>Допуск паралельності спільної осі отворів відносно поверхні А не більше 0,01 мм</p>

Продовження таблиці 2.25

<p>Допуск перпендикулярності</p>	<p>р</p> 	<p>Допуск перпендикулярності поверхні Б відносно бази А не більше 0,01 мм</p>
	<p>с</p> 	<p>Допуск перпендикулярності отвору Б відносно поверхні А не більше 0,1 мм (допуск залежний)</p>

Продовження таблиці 2.25

<p>Допуск площинності</p>	<p>т</p>  <p><i>Вгнутість не допускається</i></p>	<p>Допуск площинності не більше 0,02 мм. Вгнутість не допускається</p>
<p>Допуск перпендикулярності, площинності</p>		<p>Допуск перпендикулярності і площинності не більше 0,03 мм відносно бази А</p>

2.11.10 Числові значення допусків форми і розташування поверхонь

Відповідно до ГОСТ 24643-81 для кожного виду допуску форми і розташування поверхонь встановлено 16 ступенів точності (з 1 до 16, перший – найбільш точний). Числові значення допусків від одного ступеня до другого підвищуються з коефіцієнтом зростання 1,6. В залежності від співвідношення між допуском розміру і допуском форми або розташування встановлені такі рівні відносної геометричної точності:

A – нормальна відносна геометрична точність

$$T_{\phi} \approx 0,6 T, \quad (2.130)$$

де T_{ϕ} – допуск форми або розташування; T – допуск розміру;
B – підвищена відносна геометрична точність

$$T_{\phi} \approx 0,4 T; \quad (2.131)$$

C – висока відносна геометрична точність

$$T_{\phi} \approx 0,25 T. \quad (2.132)$$

Допуски форми циліндричних поверхонь, які відповідають рівням A, B і C, становлять приблизно 30, 20 і 12% від допуску розміру, оскільки допуск форми обмежує відхилення радіуса, а допуск розміру – відхилення діаметра поверхні.

Допуск форми і розташування за деяким виключенням не повинні перевищувати допусків розміру. *Тому граничні (допустимі) відхилення форми або розташування вказуються на кресленнях тільки в тому разі, якщо за умовами експлуатації вони повинні бути меншими, ніж допуск на розмір.*

2.11.11 Хвилястість поверхонь

Хвилястість поверхні – сукупність періодично повторюваних нерівностей, крок яких перевищує базову довжину. Хвилястість займає проміжне положення між шорсткістю і відхиленням форми поверхонь. Характеризується висотою нерівностей W_z і кроком S_w (рисунок 2.89), які визначаються на довжині дільниці вимірювання:

$$L_w \geq 5 S_w. \quad (2.123)$$

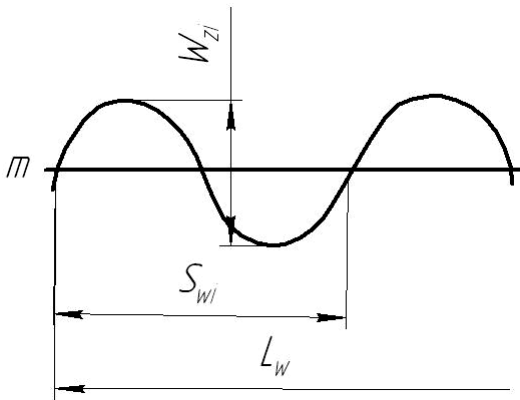


Рисунок 2.89 – Хвилястість поверхні

Числові значення хвилястості поверхонь визначають від однієї бази, за яку приймається середня лінія профілю m , тобто базова лінія, яка має форму номінального профілю і проведена так, що середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії є мінімальним. Умовно хвилястість може бути визначена по відношенню кроку S_w до висоти нерівностей W_z :

$$1000 \geq \frac{S_w}{W_z} \geq 40 \quad (2.124)$$

Висота хвилястості W_z – середнє арифметичне з п'яти її значень на ділянці вимірювання L_w .

$$W_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 W_{z_i} . \quad (2.135)$$

Середній крок хвилястості S_w – середнє арифметичне значення довжин відрізків середньої лінії між одноіменними сторонами хвиль.

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{w_i} . \quad (2.136)$$

Форма хвилястості може бути різною в залежності від причин, які спричиняють хвилястість. Як правило, вона має синусоїдальний характер, що є наслідком коливань у системі верстат – пристосування – інструмент – деталь.

2.11.12 Шорсткість поверхонь

2.11.12.1 Загальні поняття та параметри шорсткості

На обробленій механічним або іншим способом поверхні завжди залишаються сліди впливу на неї у вигляді дрібних виступів або западин, як їх називають – мікронерівностей.

Шорсткістю поверхні згідно з ДСТУ 2413-04 називають сукупність мікронерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхні.

Державний стандарт на шорсткість поверхні установлює єдиний підхід до визначення величини шорсткості, основою для якого є профіль шорсткості і його параметри (рисунок 2.90).

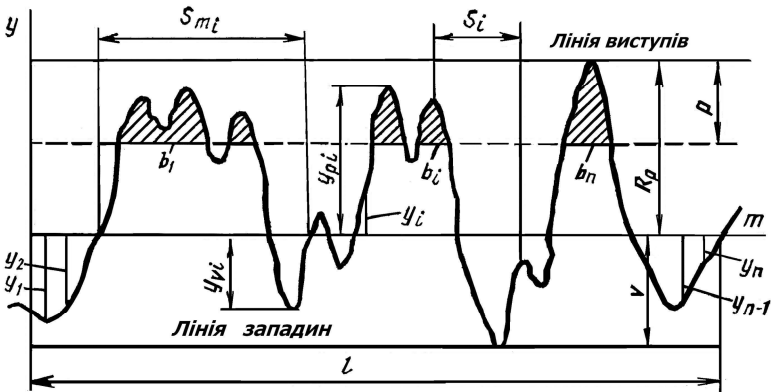


Рисунок 2.90 – Профілограма і основні параметри шорсткості поверхні

Числові значення шорсткості поверхні визначають від однієї бази, за яку прийнята середня лінія, що має форму номінального профілю та ділить реальний профіль так, щоб у межах базової довжини сума квадратів відхилень профілю від цієї лінії була мінімальною.

Базова довжина l – довжина базової лінії, що використовується для вирізнення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні.

Шорсткість поверхонь незалежно від матеріалу і способу отримання поверхні можна оцінювати кількісно одним або декількома параметрами, до яких відносяться:

- *середнє арифметичне відхилення профілю Ra* (тобто середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини l)

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \text{ або } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2.137)$$

де n – кількість вибраних точок профілю на базовій довжині;

y – відхилення профілю (відстань від будь-якої точки профілю до середньої лінії).

- висота нерівностей профілю за десятьма точками Rz (сумою середніх абсолютних значень висот найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини)

$$Rz = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v_i}| \right], \quad (2.138)$$

де y_{p_i} – висота i -го найбільшого виступу профілю;

y_{v_i} – глибина i -ї найбільшої западини профілю.

- найбільша висота нерівностей профілю R_{max} (відстань між лінією виступів профілю і лінією западин профілю в межах базової довжини).

Параметри Ra , Rz , R_{max} пов'язані з висотними властивостями нерівностей, вимірюються в мкм.

- середній крок нерівностей профілю S_m (середнє значення нерівностей профілю в межах базової довжини)

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{m_i}, \quad (2.139)$$

де n – кількість кроків у межах базової довжини;

S_{m_i} – крок нерівностей профілю S , який дорівнює довжині відрізка середньої лінії, що перетинає профіль у трьох суміжних точках і обмежений двома крайніми точками.

- середній крок місцевих виступів профілю S (середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини)

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (2.140)$$

де n – кількість кроків нерівностей по вершинах у межах базової довжини;

S_i – крок нерівностей профілю по вершинах.

Опорна довжина профілю η_p (сума довжин відрізків b_i , що відсікаються на заданому рівні P в матеріалі профілю лінією, яка є еквідистантною середній лінії m у межах базової довжини)

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i, \quad (2.141)$$

де n – кількість відрізків.

- відносна опорна довжина профілю t_p (відношення опорної довжини профілю до базової довжини)

$$t_p = \eta_p / l \cdot 100\%. \quad (2.142)$$

Опорну довжину профілю визначають на рівні перерізу профілю P , тобто на заданій відстані між лінією виступів і лінією, що перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю. Лінія виступів профілю – лінія, яка є еквідистантною середній лінії і яка проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини.

Значення рівня перерізу профілю P відраховують від лінії виступів і вибирають з ряду: 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 % від R_{max} . Відносна опорна довжина профілю нормована: t_p , % - 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90.

2.11.12.2 Вибір параметрів шорсткості

Відносна опорна довжина профілю визначається в тому випадку, коли ставляться підвищені вимоги до опорної поверхні. Наприклад, зносостійкість, контактна жорсткість, міцність посадок з натягом і інші експлуатаційні властивості спряжених поверхонь деталей пов'язані з фактичною площею контакту.

Для визначення опорної площі, яка буде створена в результаті дії робочого навантаження, будують графіки відносної опорної довжини профілю (рисунки 2.91)

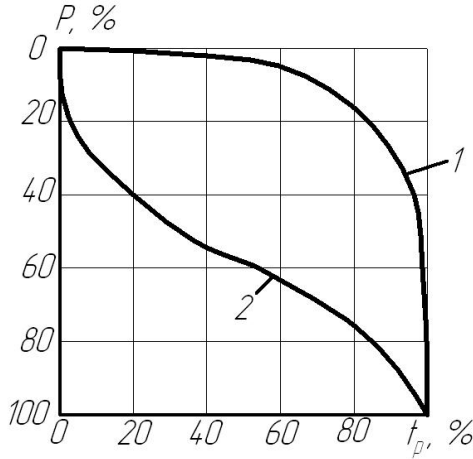


Рисунок 2.91 – Відносна опорна довжина профілю для різних поверхонь: 1 – мірної плитки; 2 – після чистового точіння

При виборі значень t_p слід враховувати, що з його збільшенням значно збільшується трудомісткість виготовлення деталей.

При виборі параметрів шорсткості можна користуватися такими рекомендаціями:

- величину параметрів шорсткості поверхонь задають виходячи з експлуатаційного призначення деталей; більш жорсткі параметри призначаються для деталей відповідальних спряжень. Для невідповідальних поверхонь шорсткість визначається вимогами технічної естетики, корозійної стійкості та технологією виготовлення;

- в основному шорсткість поверхонь обумовлена технологією виготовлення, яка, в свою чергу, вибирається в залежності від заданої точності розмірів. Наприклад, точність за 6 квалітетом можна отримати алмазним точінням, чистовим шліфуванням, протягуванням і інш. У цих випадках отримується шорсткість з $Ra \approx 2,5-0,32$ мкм;

- наприкінці при призначенні величини Rz можна користуватися наступним співвідношенням між висотою мікронерівностей і допуском розміру T :

для квалітетів з 5 до 10 – $Rz \leq 0,25T$;

для квалітетів грубіше 10 – $Rz \leq 0,125T$.

Допустимі значення параметрів Ra і Rz в залежності від допуску розміру T з урахуванням рівня відносної геометричної точності можуть бути установлені виходячи з умов, які указані в таблиці 2.26.

Таблиця 2.26 – Умови призначення параметрів шорсткості Ra і Rz

Рівень відносної геометричної точності (T_{ϕ}/T)	Ra/T	Rz/T
	не більше	
A (60%)	0,050	0,20
B (40%)	0,025	0,10
C (25%)	0,012	0,05

- на спряжувані поверхні повинна призначатися, по можливості, однакова величина параметрів шорсткості;

- поверхні, які труться, повинні бути тим чистішими, чим вища відносна швидкість перміщення або більше питоме навантаження на них. Для таких поверхонь призначають допустимі значення Ra або Rz , R_{max} і t_p ;

- для деталей спряжень з посадками з натягом слід призначити низьку шорсткість, щоб вилучити вплив мікронерівностей на міцність посадок;

- при виборі параметрів Ra і Rz перевагу слід віддавати параметру Ra , оскільки він дає більш повну оцінку шорсткості, в той час як при визначенні Rz вимірюється тільки відстань між вершинами і западинами нерівностей.

2.11.12.3 Позначення шорсткості поверхні

Шорсткість поверхонь позначається відповідно до ГОСТ 2.309-73 з урахуванням змін.

На кресленнях для позначення шорсткості поверхні використовують такі умовні знаки:

✓ – указує на те, що метод обробки поверхні кресленням не визначається (наприклад, $\sqrt{Ra\ 0,4}$, $\sqrt{Rz\ 50}$); ∇ – указує на те, що

поверхня повинна бути утворена видаленням шару матеріалу, наприклад, точінням, фрезеруванням, шліфуванням і інш. Вид обробки може бути заданий текстом, тоді він пишеться на поличці знака; \checkmark – указує на те, що поверхня може бути отримана без видалення шару матеріалу (литвом, ковкою, об'ємним штампуванням, прокаткою і інш).

Структура позначення шорсткості поверхні наведена на рисунку 2.92

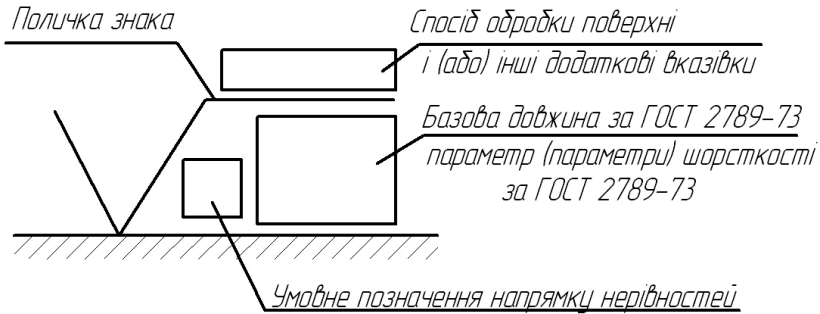


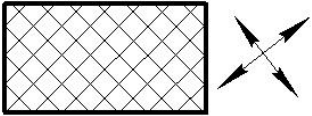
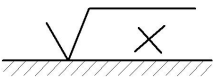
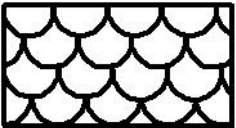

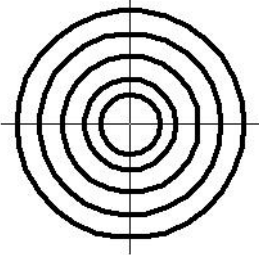
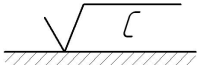
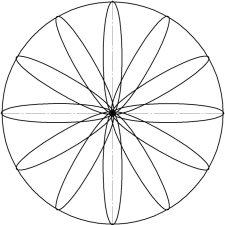

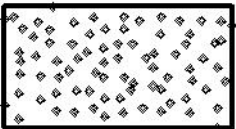
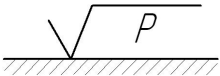
Рисунок 2.92 – Структура позначення шорсткості поверхні

Умовні позначення напрямків нерівностей мають відповідати наведеному у таблиці 2.27.

Таблиця 2.27 – Типи напрямків нерівностей поверхонь та їх умовне позначення на кресленнях

Тип напрямку нерівностей	Схематичне зображення	Позначення
Паралельне		
Перпендикулярне		

Продовження таблиці 2.27

Перехрещувана		
Довільне		
Кругоподібне		
Радіальне		
Точкове		

При зазначенні двох або більше параметрів шорсткості в позначенні записують значення параметрів зверху до низу в

наступному порядку: параметр (параметри) висоти нерівностей профіля, мм; параметр кроку нерівностей профілю, мм; відносна опорна довжина профіля, % (рисунок 2.93). Показуючи діапазон значень параметра шорсткості поверхні наводять межі значень параметра, розташовуючи їх у два рядки. У верхньому рядку наводять значення параметра, що відповідає більш грубій шорсткості, наприклад:

<i>Ra</i> 0,8	<i>Rz</i> 0,10	<i>t</i> ₅₀ 50
0,4	0,05	70

При показанні номінального значення шорсткості поверхні в позначенні шорсткості наводять це значення з граничними відхиленнями за ГОСТ 2789-73, наприклад: *Rz* 80 _{-10%}; *t*₅₀ 60±20% і інш.

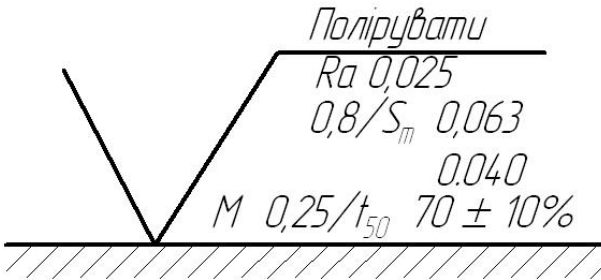


Рисунок 2.93 – Приклад позначення шорсткості поверхні

У прикладі позначення шорсткості поверхні (рисунок 2.93) показано: обробити поверхню слід поліруванням (показують тільки в тому випадку, якщо він є єдиним застосованим для одержання потрібної якості поверхні); середнє арифметичне відхилення профілю $Ra = 0,025$ мкм; середній шаг нерівностей $S_m = (0,063-0,040)$ мм; на базовій довжині $l = 0,8$ мм; відносна опорна довжина профілю $t_p = (76-64)\%$ при рівні перерізу $P = 50\%$ на базовій довжині $l = 0,25$ мм; напрямок нерівностей – довільний.

Допускається використовувати спрощене позначення шорсткості поверхонь з роз'ясненням його в технічних вимогах (рисунок 2.94).

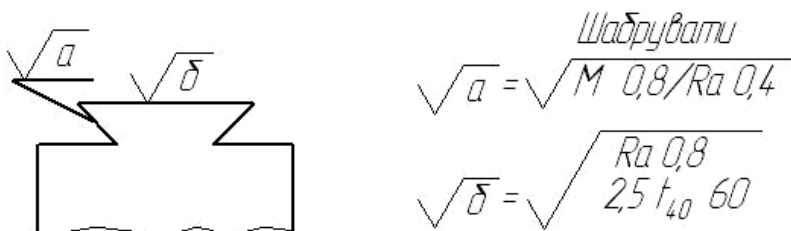


Рисунок 2.94 – Спрощене позначення шорсткості поверхні

У випадках, коли мало місця, допускається розташовувати позначення шорсткості на розмірних лініях або на їх продовженнях, на рамці допуску форми, а також розривати розмірну лінію (рисунок 2.95).

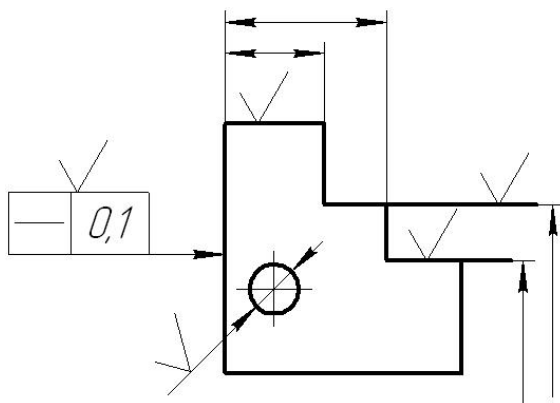


Рисунок 2.95 – Позначення шорсткості на розмірних лініях, їх продовженнях або рамках допуску форми

Позначення шорсткості поверхонь, у яких знак має полицю, розташовують відносно основного надпису креслення таким чином, щоб знак знаходився перпендикулярно лінії-виноски, а в заштрихованій зоні позначення наносять тільки на полиці лінії-виноски (рисунок 2.96).

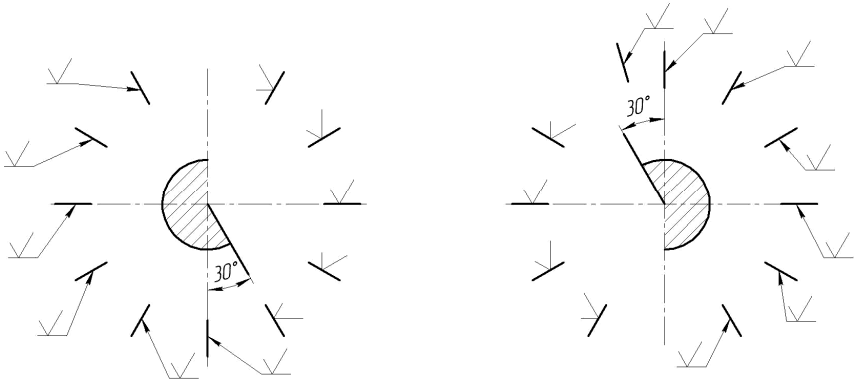


Рисунок 2.96 – Позначення шорсткості поверхні відносно основного надпису креслення

Якщо для всіх поверхонь деталі шорсткість однакова, то позначення розташовують у правому верхньому куті креслення, а на зображенні не наносять (рисунок 2.97, а). У випадках, коли шорсткість поверхні однакова для частини поверхонь деталі, то в правому верхньому куті розташовують знак \sqrt{Ra} (рисунок 2.97, б). Розміри знака, взятого в дужки, мають бути однаковими з розмірами знаків, нанесених на зображенні. У разі, коли шорсткість поверхонь, що утворюють контур, однакова, позначення наносять один раз (рисунок 2.97, в). Діаметр допоміжного знака ϕ повинен бути 4-5 мм.

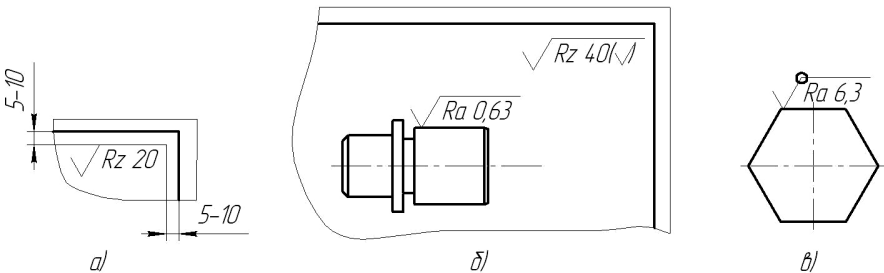


Рисунок 2.97 – Позначення однакої шорсткості

2.11.12.4 Методи та засоби контролю шорсткості поверхонь

Контроль шорсткості поверхонь можна проводити візуальним методом і за допомогою приладів. Найбільш простий – візуальний, при якому шорсткість поверхні порівнюють з еталонами шорсткості. До еталона шорсткості ставляться вимоги:

- еталон повинен бути виготовлений з того ж матеріалу, що й контрольована поверхня;
- форма еталона повинна відповідати формі обробленої поверхні;
- еталон виготовляється тим же способом, що і контрольована поверхня (шліфуванням, фрезеруванням, точінням і інш).

Контроль шорсткості поверхонь за допомогою приладів може виконуватися контактним і безконтактним (оптичним) методами. До першого слід віднести щупові засоби вимірювання – профілометри і профілографи-профілометри (таблиця 2.28).

Прилади для контролю шорсткості моделей 170621, 170622, 170623 призначені для вимірювання шорсткості і профілю поверхонь, переріз яких у площині вимірювання являє собою пряму лінію (твірні циліндричних поверхонь, отвори, плоскі поверхні). В моделях 170621, 170622 електронний блок виконано у вигляді окремого модуля, який має клавіатуру керування профілометром, цифрове табло для виведення результатів вимірювання. В моделі 170623 електронний блок виконаний у вигляді плати, яку вмонтовано в комп'ютер. Керування профілометром здійснюється з клавіатури комп'ютера за допомогою програмного забезпечення, яке дозволяє виконувати розрахунок параметрів шорсткості і аналізувати профілограму вимірюваного профілю.

Прилад HOMMEL nanoscan 855 призначений для контролю шорсткості на прямолінійних, криволінійних і похилих поверхнях. Вимірювальна система має розрізнення 0,6 нанометрів в діапазоні до 24 мм і забезпечує високу швидкість вимірювання в ЧПК режимі.

Таблиця 2.28 – Характеристики приладів для контролю шорсткості контактним методом

Тип приладу		Контрольовані параметри	Границі вимірювання	Базова довжина
Профілограф-профілометр мод. 201	Профілометр	Ra	8,0-0,02 мкм	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
	Профілограф	Ra	20-0,08 мкм	Увесь ряд
		$Rz; R_{max}$	100-0,025 мкм	
		S, S_m	12,5-0,003 мкм	
t_p	90-10%			
Профілограф-профілометр мод. 252	Профілометр	Ra	100-0,02 мкм	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
		R_{max}	200-0,1 мкм	
		S_m	12,5-0,03 мкм	
		t_p	100-0%	
	Профілограф	Ra	60-0,05 мкм	Увесь ряд
		$Rz; R_{max}$	250-0,02 мкм	
		S, S_m	12,5-0,003 мкм	
t_p	100-0%			
Профілометр мод. 253		Ra	2,5-0,04 мкм	0,25; 0,8; 2,5
Профілометр мод. 283		Ra	10-0,02 мкм	0,25; 0,8

Продовження таблиці 2.28

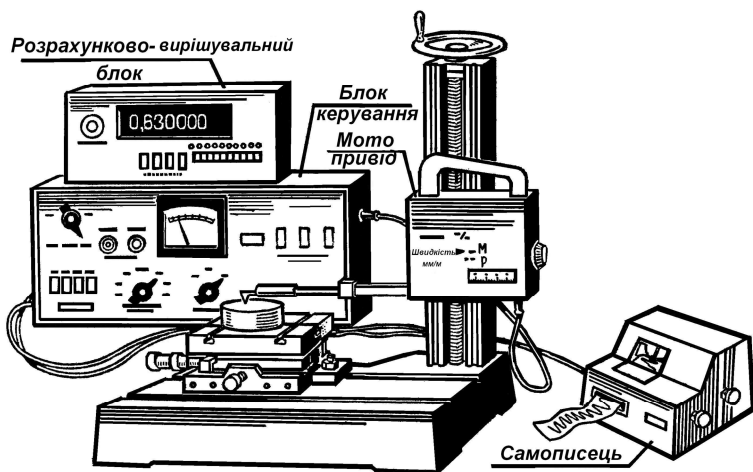
Портативний профілограф-профілометр мод. 296	Ra	10-0,02 мкм	0,25; 0,8; 2,5
Профілографи-профілометри мод. 170621; 170622; 170623 (ТУ 034.5748542. 02-04)	Ra	50-0,012 мкм	Увесь ряд
	$Rz; R_{max}$	50-0,025 мкм	
	S, S_m	100-0,1 мкм	
	t_p	100-0%	
HOMMEL nanoscan 855	Ra, Rz	10-0,01 мкм	0,25; 0,8
HOMMEL TESTER W55, HOMMEL TESTER T8000	Ra	Діапазон вимірювання/роз різнення ± 8 мкм/1 нм ± 800 мкм/100 нм	Увесь ряд
	$Rz; R_{max}$		
	S, S_m		
	t_p		
HOMMEL TESTER T500	Ra	Діапазон вимірювання/роз різнення ± 20 мкм/10 нм +40... -120 мкм/40 нм	0,25; 0,8; 2,5
	$Rz; R_{max}$		
	S, S_m		

Прилади HOMMEL TESTER W55, T500, T800 мають широкі можливості при вимірюванні параметрів шорсткості поверхонь завдяки великому набору опорних і безопорних щупів. Дозволяють виконувати одночасно вимірювання, розрахунок параметрів шорсткості та аналіз профілю поверхні. Можуть використовуватись як в умовах виробництва, так і в лабораторії.

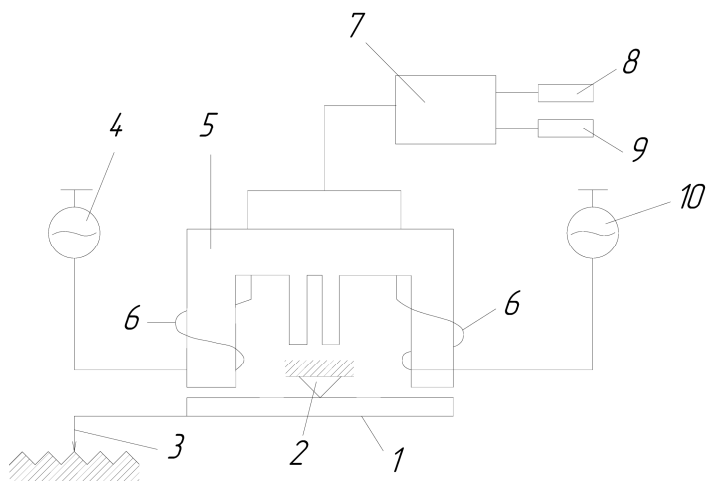
Профілографи-профілометри працюють за принципом сканування поверхонь, коли коливання голки (щупа), закріпленої в датчику, перетворюються в коливання напруги струму. Загальний вигляд і принципова схема такого приладу показані на рисунк 2.96.

У приладі (рисунк 2.98, б) алмазна голка 3 закріплена на якорі 1 вимірювального перетворювача. При переміщенні перетворювача відносно досліджуваної поверхні голка і якір коливаються на опорі 2 відносно Ш-подібного осердя 5, на якому закріплено дві котушки 6 перетворювача. Котушки включені в мостову схему, яка живиться від стабілізованого генератора 4. При коливаннях якоря змінюються повітряні зазори між якорем і осердям, індуктивності котушок і відповідно вихідна напруга мостової схеми. Вихідні сигнали з мостової схеми, амплітуда яких пропорційна висоті мікронерівностей, поступають на блок керування і розрахунково вирішувальний блок, а потім на самописець. Самописець використовують для запису профілограми профілю поверхні.

Безконтактний (оптичний) метод вимірювання шорсткості поверхонь ґрунтується на визначенні параметрів проекції світлового перерізу досліджуваної поверхні за допомогою нахилено-напрявленого до неї світлового пучка. Цей метод реалізується в таких типах (ГОСТ 9847-79) оптичних приладів: ПТС – прилад тіньового перерізу, який призначено для вимірювання шорсткості грубо оброблених поверхонь; ПСС – прилад світлового перерізу (подвійний мікроскоп); МОМ – мікроскоп однооб'єктивний муаровий, який працює за принципом вимірювання викривлення муарових смуг, викликаних нерівностями поверхні; МП – мікроскоп інтерференційний, який використовує при вимірюванні двопробеневої інтерференцію світла; МПІ – мікроскоп-профілометр, для якого ґрунтується на інтерференції світла з утворенням смуг рівного хроматичного порядку. Перелічені прилади призначені для визначення трьох параметрів шорсткості: Rz , R_{max} , S в площині, яка є нормальною до напрямку нерівностей поверхні.



а)



б)

а – загальний вигляд; б – принципова схема

Рисунок 2.98 – Профілограф-профілометр

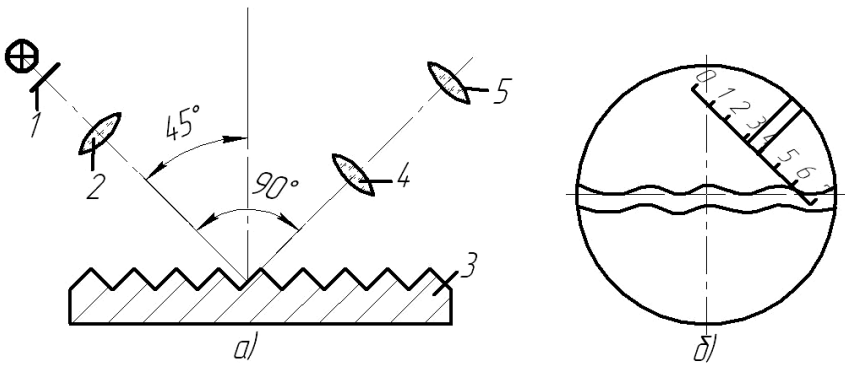
Достатньо широко використовуються прилади світлового перерізу типу МИС – 11, ПСС-2, мікроінтерферометри, іммерсійно-реплікові мікроінтерферометри МП 10, МП 4, МП 9, МП 11, МП 12, растрові вимірювальні мікроскопи типу ОРІМ – 1 і інш., основні характеристики деяких з них наведено в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 – Характеристики приладів для контролю шорсткості безконтактним методом

Тип приладу		Контрольовані параметри	Границі вимірювання	Базова довжина, мм
Прилади світлового перерізу	ПСС-2 (МИС-11)	Rz, R_{max}	40-0,8 мкм	2,5; 0,8;
		S, S_m	2,5-0,002 мкм	0,25; 0,08; 0,03; 0,01
ОРІМ - 1		Rz, R_{max}	40-0,4 мкм	2,5; 0,8;
		S, S_m	2,5-0,002 мм	0,25; 0,08; 0,03; 0,01
ПТС – 1		Rz, R_{max}	320-40 мкм	8; 2,5; 0,8;
		S, S_m	6,3-0,02 мм	0,25
Мікро інтерферометр МП - 4		Rz, R_{max}	0,8-0,1 мкм	0,25; 0,08;
		S, S_m	0,25-0,02 мм	0,03; 0,01

У приладах типу ПСС-2 і МИС-11 (рисунок 2.99, а) світловий промінь проходить через діафрагму 1 з вузькою щілиною і конденсор 2, і проєктує світлову смужечку поверхні 3 об'єктивом 4 у фокальну площину окуляра 5. Висоту мікронерівностей вимірюють за допомогою окуляр-мікрометра (рисунок 2.99, б).

В мікроінтерферометрах типу МП-4, який за своєю оптичною схемою являє собою поєднання інтерферометра Майкелсона з мікроскопом, світловий промінь відбивається одночасно від досліджуваної поверхні і еталонного дзеркала (рисунок 2.100).



а – оптична схема; б – поле зору

Рисунок 2.99 – Подвійний мікроскоп

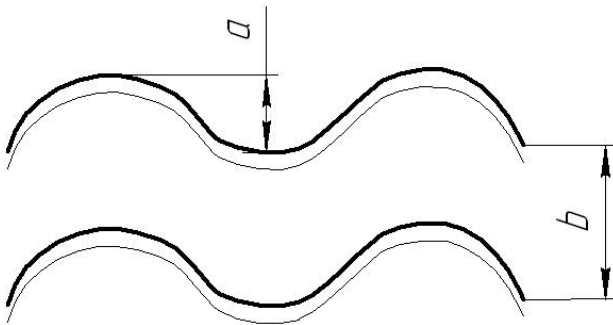


Рисунок 2.100 – Схема зображення в полі зору окуляра мікроінтерферометра

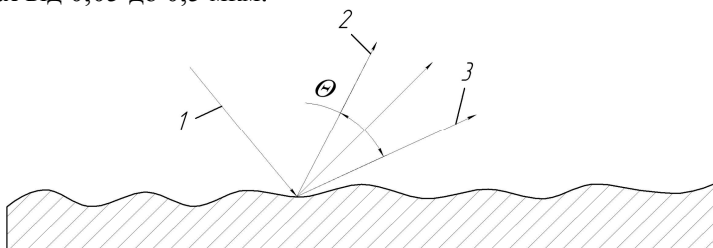
Висота нерівностей (Rz) визначається з залежності:

$$Rz = \frac{\lambda a}{2 b} = 0.275 \frac{a}{b}, \quad (2.143)$$

де $\lambda = 0,550$ мкм – довжина світлової хвилі;
 a – величина викривлення інтерференційної смуги;
 b – ширина інтервалу смуг.

В растрових вимірювальних мікроскопах типу ОРІМ – вимірюється викривлення муарових смуг, яка викликана нерівностями поверхні. Викривлення смуг вимірюють окулярним мікрометром або на екрані. Похибка не вища 5%.

Для високошвидкісного вимірювання шорсткості розроблено прилади, які працюють за принципом визначення інтенсивності розсіювання електромагнітних хвиль при відбитті їх від досліджуваної поверхні (рисунок 2.101), а також розсіюванні світлових хвиль. Такі прилади дозволяють контролювати параметр шорсткості поверхні Ra в межах від 0,05 до 0,5 мкм.



1 – пучок хвиль, який падає на досліджувану поверхню; 2- дзеркальне відображення пучка; 3 – розсіяне випромінювання; Θ – кут розсіювання електромагнітних хвиль

Рисунок 2.101 – Схема визначення розсіювання електромагнітних хвиль

Контрольні питання до розділу 2.11

1. Що називається номінальною, реальною, базовою і прилеглою поверхнями?
2. Назвіть порядки відхилень геометричних параметрів.
3. Які показники характеризують відхилення форми циліндричних поверхонь в поздовжньому перерізі?
4. Які показники характеризують відхилення форми циліндричних поверхонь в поперечному перерізі?
5. Які показники характеризують відхилення форми плоских поверхонь?
6. Наведіть приклади відхилення розташування поверхонь.

7. Які відхилення називають сумарними?
8. Як позначаються на кресленнях допуски форми та розташування поверхонь деталей? Наведіть приклади.
9. Назвіть основні параметри шорсткості поверхонь.
10. Як позначаються параметри шорсткості поверхонь на кресленні?

2.12 Розрахунок допусків розмірів, що входять у розмірний ланцюг

Для забезпечення нормального функціонування машини або іншого виробу необхідно, щоб складові їх деталі і поверхні займали одне відносно одного чітко визначене, відповідне службовому призначенню положення. При розрахунку точності відносно положення деталей та їх поверхонь враховують взаємозв'язок розмірів деталей у виробі. Це необхідно для правильної побудови технологічного процесу обробки деталі, правильного складання деталей у вузлах і машинах.

Визначення правильного співвідношення граничних взаємопов'язаних розмірів називають розмірним аналізом, для визначення якого будують розмірні ланцюги.

Розмірним ланцюгом називається сукупність розмірів, які створюють замкнутий контур і визначають взаємне розташування поверхонь, осей деталей або деталей у складальній одиниці.

Розміри, які створюють розмірний ланцюг, називають *ланками*. Кожен розмірний ланцюг складається із замикаючої і складових ланок. Замикаюча ланка розмірного ланцюга позначається буквою, присвоєною ланкам даного розмірного ланцюга з індексом A , або O , або Σ .

Ланка, яка виходить останньою після збирання вузла або обробки деталі і сприймає відхилення всіх останніх ланок називається *замикаючою* (A_A , рисунок 2.102). Ця ланка, як правило, безпосередньо не виконується, а являє собою результат виконання всіх ланок. Усі останні ланки називаються *складовими*.

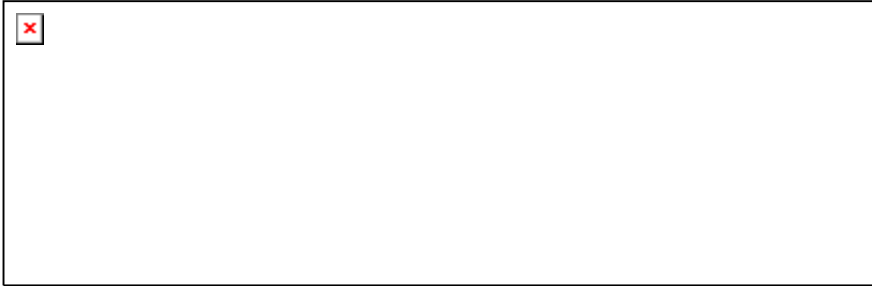


Рисунок 2.102 – Схеми розмірних ланцюгів

Замикаючий розмір A_d у триланковому ланцюзі (рисунок 2.102) залежить від розміру A_1 , який називається *збільшувальним* (розмір із збільшенням якого збільшується розмір замикаючої ланки), і розміру A_2 , названого *зменшувальним* (розмір зі збільшенням якого зменшується розмір замикаючої ланки). Замикаюча ланка може бути додатньою, від'ємною або рівною нулю. Розмірний ланцюг можна умовно змалювати у вигляді схеми (рисунок 2.102 б, в). За схемою зручно виявляти збільшувальні і зменшувальні ланки. Над буквеними позначеннями ланок прийнято показувати стрілку, направлену вправо, для збільшувальних ланок і вліво — для зменшувальних.

2.12.1 Класифікація розмірних ланцюгів

Розмірні ланцюги розрізняють:

1. Залежності від призначення:
конструкторські:

подетальні – визначають розташування осей і поверхонь однієї деталі;

складальні – визначають розташування осей і поверхонь декількох деталей у вузлі;

технологічні – визначають зв'язок розмірів оброблюваної деталі під час виконання технологічного процесу або розмірів системи верстат-притосування-інструмент-деталь (ВПІД);

вимірювальні (ланками ланцюга є розміри системи – вимірювальний засіб – вимірювана деталь).

2. За взаємним розташуванням ланок:

площинні – всі ланки розташовуються в одній або декількох паралельних площинах;

просторові – ланки ланцюга не є паралельними одне одному і розташовані в непаралельних площинах.

3. Залежно від характеру розташування розмірів:

лінійні – ланками є лінійні розміри;

кутові – ланками є кутові розміри.

При аналізі точності електричних і електронних елементів машин і приладів використовують ланцюги, ланками яких є значення опорів, ємності, індуктивності, сили струму, напруги та інших фізичних параметрів.

При розмірному аналізі можуть зустрічатися взаємозв'язані розмірні ланцюги зі спільними ланками або базами, а також ланцюги, в яких *початковою* ланкою є (ланка розмірного ланцюга, номінальний розмір і граничні відхилення якої визначають функціонування механізму і повинні бути забезпечені в результаті розрахунку розмірного ланцюга) одна зі складових ланок основного ланцюга. У останньому випадку ланцюги називають *похідними*.

Розрахунок і аналіз розмірних ланцюгів дозволяє: встановити кількісний зв'язок між розмірами деталей машини і уточнити номінальні значення і допуски взаємозв'язаних розмірів, виходячи з експлуатаційних вимог і економічної точності обробки деталей і збирання машини; визначити найбільш рентабельний вигляд взаємозамінності (повна або неповна); добитися найбільш правильного проставлення розмірів на робочих кресленнях; визначити операційні допуски і перерахувати конструктивні розміри на технологічні (в разі неспівпадань технологічних баз з конструктивними).

Розрахунок розмірних ланцюгів і їх аналіз — обов'язковий етап конструювання машин, що сприяє підвищенню якості, забезпеченню взаємозамінності і зниженню трудомісткості їх виготовлення. *Суть розрахунку розмірного ланцюга* полягає у встановленні допусків і граничних відхилень всіх її ланок, виходячи з вимог конструкції і технології. При цьому розрізняють дві задачі – *пряму і обернену*.

Розв'язання *прямої* задачі зводиться до визначення допуску і граничних відхилень складових ланок за відомим допуском і граничним відхиленням замикаючої ланки (застосовується при проектному розрахунку розмірного ланцюга).

Розв'язання *оберненої* задачі полягає у визначенні номінального розміру, граничних відхилень і допуску замикаючої ланки за заданими номінальними розмірами і граничними відхиленнями складових ланок (перевірочний розрахунок).

Пряма і обернена задачі можуть розв'язуватись в умовах:

1. *Повної* взаємозамінності (при впровадженні результатів розрахунку забезпечується повна взаємозамінність) за методом *максимуму-мінімуму*, при якому враховуються граничні відхилення складових ланок.

2. В умовах *неповної* (обмеженої) взаємозамінності методами:

- теоретико-імовірностним;
- групової взаємозамінності;
- припасовування;
- регулювання.

2.12.2 Послідовність розрахунку розмірних ланцюгів

Пряма задача

1. Формулюється завдання і встановлюється замикаюча ланка.
2. Виходячи з поставленого завдання, встановлюють номінальний розмір, координату середини поля допуску E_{CA_d} , допуск TA_d або граничні відхилення замикаючої ланки (ESA_d – верхнє, EIA_d – нижнє).
3. Виявляють складові ланки і будують схему розмірного ланцюга, складають його рівняння.
4. Розраховують номінальні розміри всіх ланок.
5. Вибирають метод досягнення необхідної точності замикаючої ланки, економічний у даних виробничих умовах, з урахуванням середньої величини допуску.
6. Розраховують і встановлюють допуски, координати середини полів допусків і граничні відхилення:

а) при методі повної взаємозамінності:

- на основі техніко-економічних міркувань установлюють допуск на розмір кожної зі складових ланок;
- перевіряють правильність установлених допусків;
- встановлюють координати середини полів допусків складових ланок за винятком одного, для якого координата середини поля допуску розраховується вирішенням рівняння з одним невідомим;
- розраховують верхнє і нижнє граничні відхилення.

б) при методі неповної взаємозамінності:

- з економічних міркувань приймають допустимий відсоток ризику;

- вибирають пропоновані закони розподілу кожної з ланок, виходячи з особливостей технологічного процесу обробки деталі, і відповідні їм відносні середньоквадратичні відхилення;

- на основі техніко-економічних міркувань встановлюють допуск на розмір кожної складальної ланки;

- перевіряють правильність встановлених допусків;

- встановлюють координати середини полів допусків для $(m-2)$ складальних ланок, координату якої не вистачає, визначають розрахунком;

- розраховують граничні відхилення;

в) при методі групової взаємозамінності:

- за техніко-економічними міркуваннями встановлюють «виробничий» допуск замикаючої ланки ($T'A_{\Delta} > TA_{\Delta}$)

$$T'A_{\Delta} = nT_{\Delta\Delta} \quad (2.144)$$

де n – число груп, на які будуть розсортовані складові ланки

- розраховують виробничі допуски T'_{Ai} на розмір кожної ланки з дотриманням умови

$$\sum_{i=1}^k \bar{T}'_{A_i} = \sum_{k+1}^{m-1} \bar{T}'_{A_i} \quad (2.145)$$

- розраховують координати середин полів допусків ланок у кожній з груп;

г) при методі пригону:

- вибирають компенсуючу ланку;
 - встановлюють економічні, в даних виробничих умовах допуски на розміри всіх складових ланок і координати середини полів допусків;
 - визначають виробничий допуск;
 - розраховують найбільшу можливу компенсацію;
 - розраховують величину поправки;
 - вносять поправку в координату середини поля допуску компенсуючої ланки;
- д) при методі регулювання:
- вибирають компенсуючу ланку, яка конструктивно може бути оформлена у вигляді нерухомого або рухомого компенсатора;
- при використанні нерухомого компенсатора:
- встановлюють допуски на розміри всіх ланок економічно прийнятних у даних умовах і визначають виробничий допуск замикаючої ланки;
 - розраховують найбільшу можливу компенсацію;
 - розраховують число ступенів нерухомих компенсаторів;
 - розраховують координати середин полів допусків;
 - розраховують розміри нерухомих компенсаторів;
 - розраховують кількість нерухомих компенсаторів кожного ступеня.

Обернена задача.

1. Ставиться і чітко формулюється завдання.

2. Розраховується номінальне значення розміру замикаючої ланки.

3. Розраховують:

а) при теоретичних розрахунках:

- координати середини поля допуску замикаючої ланки;
- величину поля допуску замикаючої ланки і його граничні відхилення;
- при розрахунках на підставі теорії імовірності розраховують можливий ризик виходу розміру замикаючої ланки за межі заданого допуску;
- при розрахунках, виходячи з фактичних даних, визначають поля розсіювання, координати їх середин (центрів групування) і, якщо необхідно, будують криву розсіювання для всіх ланок;

- визначають відносні середньоквадратичні відхилення і коефіцієнти асиметрії кривої розсіювання кожної зі складових ланок;
- розраховують поле розсіювання замикаючої ланки;
- у разі потреби розраховують координату центру групування розмірів замикаючої ланки;
- при необхідності розраховують можливий вихід відхилень замикаючої ланки за межі його поля допуску.

2.12.3 Метод повної взаємозамінності

Щоб забезпечити повну взаємозамінність, розмірні ланцюги розраховують методом максимуму-мінімуму, при якому допуск замикаючого розміру визначають арифметичним складанням допусків складових розмірів. Метод розрахунку на максимум-мінімум, що враховує лише граничні відхилення ланок розмірного ланцюга і найгірші їх поєднання, забезпечує задану точність збірки без підгонки (підбору) деталей.

Розглянемо розрахунок розмірних ланцюгів на прикладах.

Обернена задача.

Завдання 1. У деталях (рисунок 2.103, а) спочатку обробляють базову площину 1; потім за настроюванням від цієї бази — площину 2 за розміром $A_2 = 28 \pm 0,14$ мм і площину 3 за розміром $A_1 = 60 \pm 0,2$ мм. Розмірний ланцюг показаний на рисунку 2.103, б.

Визначення номінального розміру замикаючої ланки. У технологічному лінійному розмірному ланцюзі розмір A_Δ є замикаючим; він залежить від збільшувального розміру A_1 і зменшувального A_2 :

$$A_\Delta = A_1 - A_2 = 60 - 28 = 32 \text{ мм.}$$

У загальному випадку при n збільшувальних і p зменшувальних розмірах номінальний розмір замикаючої ланки лінійного розмірного ланцюга можна визначити за формулою:

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n A_{j_{y\phi}} - \sum_{j=1}^p A_{j_{y\mu}}, \quad (2.146)$$

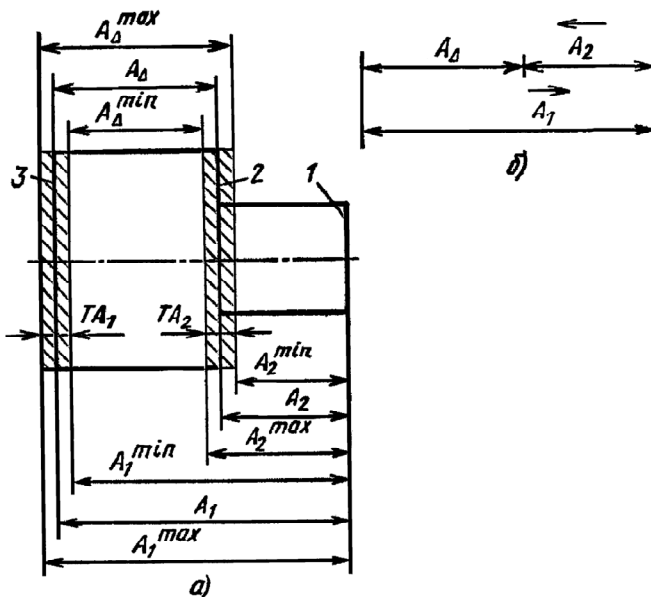


Рисунок 2.103 – Триланковий розмірний ланцюг

Це рівняння справедливе і в разі, коли замість номінальних взяті значення відповідних дійсних розмірів.

Нагадаємо, що деталь за замикаючим розміром не обробляють — він виходить у результаті обробки деталі за іншими, пов'язаними з ним розмірами. У складальних розмірних ланцюгах замикаючий розмір визначається послідовністю збирання.

Визначення граничних розмірів замикаючої ланки. Складові розміри ланцюга можуть мінятися у встановлених допусках межах. При поєднанні найбільших збільшувальних і найменших зменшувальних складових розмірів замикаючий розмір має найбільше значення (рисунок 2.103, а), при поєднанні найменших збільшувальних і найбільших зменшувальних складових розмірів — найменше значення:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n A_{j_{зб}}^{\max} - \sum_{j=1}^p A_{i_{зм}}^{\min} ; \quad (2.147)$$

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n A_{j_{yb}}^{\min} - \sum_{j=1}^p A_{i_{ym}}^{\max} . \quad (2.148)$$

За формулами (2.147) і (2.148) визначаємо граничні розміри замикаючої ланки для прикладу, показаного на рисунку 2.103:

$$A_{\Delta}^{\max} = 60,2 - 27,86 = 32,34 \text{ мм};$$

$$A_{\Delta}^{\min} = 59,80 - 28,14 = 31,66 \text{ мм}.$$

Виразимо найбільший граничний розмір у вигляді алгебраїчної суми номінального розміру і верхнього відхилення, а найменший граничний розмір — у вигляді алгебраїчної суми номінального розміру і нижнього відхилення. Тоді, перетворивши рівняння (2.147) і (2.148), отримаємо

$$A_{\Delta} + Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n [A_j + Es(A_j)]_{зб} - \sum_{j=1}^p [A_j + Ei(A_j)]_{зм} ; \quad (2.149)$$

$$A_{\Delta} + Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n [A_j + Ei(A_j)]_{зб} - \sum_{j=1}^p [A_j + Es(A_j)]_{зм} . \quad (2.150)$$

Розмір A_{Δ} можна визначити за формулою (2.146). Віднявши почленно з рівнянь (2.149) і (2.150) рівняння (2.146), отримаємо рівняння для визначення відповідно верхнього і нижнього відхилень замикаючої ланки:

$$Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Es(A_j)_{зб} - \sum_{j=1}^p Ei(A_j)_{зм} ; \quad (2.151)$$

$$Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Ei(A_j)_{зб} - \sum_{j=1}^p Es(A_j)_{зм}. \quad (2.152)$$

За формулами (2.151) і (2.152) знайдемо відхилення замикаючої ланки розмірного ланцюга, змальованого на рисунку 2.103:

$$Es(A_{\Delta}) = 0,2 - (-0,14) = 0,34 \text{ мм};$$

$$Ei(A_{\Delta}) = -0,2 - (+0,14) = -0,34 \text{ мм}.$$

Таким чином, замикаючий розмір $A_{\Delta} = 32 \pm 0,34$.

Оскільки різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами, а також різниця між $Es(A_{\Delta})$ та $Ei(A_{\Delta})$ є допуск, віднімемо почленно рівність (2.148) з рівності (2.147) або рівність 2.151 з рівності 2.151. Тоді отримаємо:

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^n TA_{j зб} + \sum_{j=1}^p TA_{j зм}. \quad (2.153)$$

Якщо прийняти спільне число ланок в ланцюзі рівним m , а спільне число складальних ланок $m - l = n + p$, то

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j, \quad (2.154)$$

тобто допуск замикаючого розміру дорівнює сумі допусків складових розмірів. Наприклад, при $TA_1 = 0,40$ мм і $TA_2 = 0,28$ мм

$$TA_{\Delta} = 0,40 + 0,28 = 0,68 \text{ мм}.$$

Рівність (2.150) справедлива, якщо підсумовувати похибки всіх складових розмірів. У цьому випадку похибка замикаючої ланки дорівнює алгебраїчній сумі похибок всіх складових ланок ланцюга. Отже, для забезпечення найменшої похибки замикаючої ланки розмірний ланцюг повинен складатися з можливо меншого числа ланок, тобто при конструюванні виробів необхідно дотримуватися принципу

найкоротшого ланцюга. Крім того, порядок обробки і збирання деталей слід будувати (якщо це можливо) так, щоб замикаючий був менш відповідальний розмір (оскільки його похибка найбільша).

На підставі (2.153) запишемо формулу для визначення допуску будь-якого розміру A_q , за умови, що відомі допуски решти розмірів ланцюга та замикаючої ланки:

$$TA_q = TA_{\Delta} - \sum_{j=1}^{m-2} TA_j, \quad (2.155)$$

де підсумовуються допуски всіх складових ланок, окрім допуску ланки A_q .

Виведемо рівняння, необхідні для визначення граничних відхилень замикаючого розміру. При розрахунку зручно використовувати координату середини поля допуску $Ec(A_j)$ і половину допуску $TA_j/2$ (рисунок 2.104).

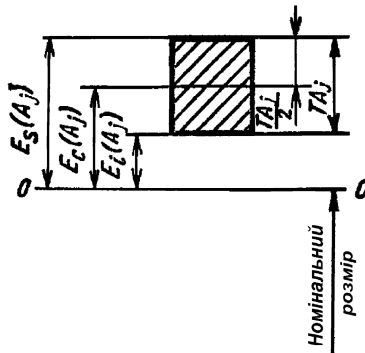


Рисунок 2.104 – Схема визначення координати середини поля допуску $Ec(A_j)$

ГОСТ 16319 - 80 встановлює позначення верхнього ES і нижнього EI граничних відхилень, а також координати середини поля допуску Ec (позначення, вказані в дужках, дозволяється застосовувати поряд з основними) для будь-якої ланки

$$\left. \begin{aligned} Es(A_j) &= E_C(A_j) + TA_j / 2; \\ Ei(A_j) &= E_C(A_j) - TA_j / 2 \end{aligned} \right\} \quad (2.156)$$

Аналогічно

$$\left. \begin{aligned} Es(A_\Delta) &= E_C(A_\Delta) + TA_\Delta / 2 \\ Ei(A_\Delta) &= E_C(A_\Delta) - TA_\Delta / 2 \end{aligned} \right\} \quad (2.157)$$

Підставимо в рівняння (2.156) і (2.157) значення граничних відхилень, виражених через координату середини поля допуску в рівняннях (2.151) і (2.152):

$$E_C(A_\Delta) + TA_\Delta / 2 = \sum_{i=1}^n [E_C(A_j) + TA_j / 2]_{зб} - \sum_{j=1}^p [E_C(A_j) - TA_j / 2]_{зм} \quad (2.158)$$

$$E_C(A_\Delta) - TA_\Delta / 2 = \sum_{i=1}^n [E_C(A_j) - TA_j / 2]_{зб} - \sum_{j=1}^p [E_C(A_j) + TA_j / 2]_{зм} \quad (2.159)$$

Склавши почленно останні два рівняння і розділивши суму на 2, отримаємо такий вираз для визначення координати середини поля допуску замикаючої ланки:

$$E_C(A_\Delta) = \sum_{i=1}^n E_C(A_j)_{зб} - \sum_{j=1}^p E_C(A_j)_{зм} \quad (2.160)$$

Приклад. Визначити номінальне, найбільше і найменше значення і допуск замикаючого розміру A_A (рисунок 2.105, а), якщо поле допуску збільшувальних розмірів деталей $H10$, а зменшувальних — $h9$.

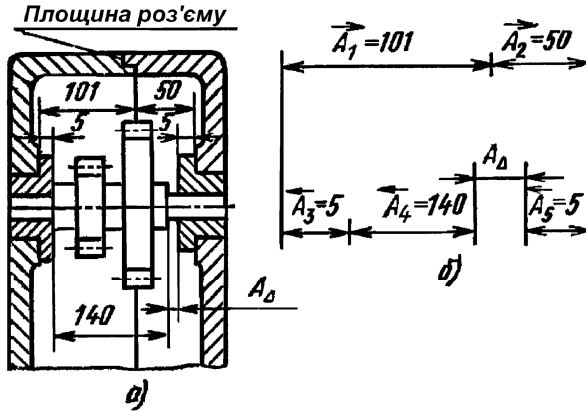


Рисунок 2.105 – Ескіз вузла і його розмірний ланцюг

Складаємо схему розмірного ланцюга (рисунок 2.105, б) і виявляємо за нею збільшувальні (A_1 і A_2) і зменшувальні (A_3 , A_4 , A_5) розміри.

Визначаємо номінальне значення A_Δ за формулою (2.146):

$$A_\Delta = (101 + 50) - (5 + 140 + 5) = 1 \text{ мм.}$$

За таблицю 7 і 8 ГОСТ 25347 - 82 знаходимо відхилення складових розмірів:

$$A_1 = 101 + 0,14;$$

$$A_2 = 50 + 0,10;$$

$$A_3 = A_5 = 5 - 0,03;$$

$$A_4 = 140 - 0,10.$$

Якщо одне з граничних відхилень розміру дорівнює нулю, його допуск дорівнює абсолютному значенню другого відхилення, а координата середини поля допуску дорівнює половині цього допуску зі знаком, який має друге відхилення.

За формулою (2.146) визначуваний допуск замикаючого розміру:

$$T_{A_\Delta} = 140 + 100 + 30 + 100 + 30 = 400 \text{ мкм.}$$

За формулою (2.160) знаходимо координату середини поля допуску замикаючого розміру:

$$E_C(A_\Delta) = E_C(A_1) + E_C(A_2) - [E_C(A_3) + E_C(A_4) + E_C(A_5)] = (70 + 50) - [-15 + (-50) + (-15)] = 200 \text{ мкм.}$$

Далі за формулами (2.156) визначаємо верхнє і нижнє граничні відхилення замикаючої ланки

$$Es(A_\Delta) = E_C(A_\Delta) + TA_\Delta / 2 = 200 + 400 / 2 = 400 \text{ мкм;}$$

$$Ei(A_\Delta) = E_C(A_\Delta) - TA_\Delta / 2 = 200 - 400 / 2 = 0 .$$

Таким чином, при заданих номінальних розмірах і граничних відхиленнях складових розмірів замикаючий розмір має бути виконаний з верхнім граничним відхиленням 0,4 мм і нижнім 0, тобто

$$A_\Delta = 1+0,40 \text{ мм.}$$

Правильність розв'язку задачі можна перевірити, визначивши за формулами (2.147) і (2.148) граничні розміри замикаючої ланки

$$A_\Delta^{\max} = (101,14 + 50,10) - (4,97 + 139,90 + 4,97) = 1,4 \text{ мм;}$$

$$A_\Delta^{\min} = (101,0 + 50,0) - (5,0 + 140,0 + 5,0) = 1,0 \text{ мм}$$

тобто $A_\Delta = 1^{+0,40}$ мм. Таким чином, перевірка показала, що завдання вирішене правильно.

Пряма задача. Така завдання зустрічається на практиці частіше. Вона є найбільш важливою, оскільки кінцева мета розрахунку допусків розмірів при заданій точності збирання — забезпечити виконання машиною її функціонального призначення. Точність складових розмірів має бути такою, щоб гарантувалася задана точність замикаючого (функціонального). Цю задачу можна розв'язувати одним із наступних способів.

Спосіб рівних допусків застосовують, якщо складальні розміри мають один лад (наприклад, входять в один інтервал діаметрів) і можуть бути виконані з приблизно однаковою економічною точністю. У цьому випадку можна умовно прийняти

$$TA_1 = TA_2 = \dots = TA_{m-1} = T_{cp}A_j \quad (2.161)$$

Тоді з формули (2.149) отримаємо

$$TA_{\Delta} = (m-1) T_{cp}A_j, \quad (2.162)$$

звідки

$$T_{cp}A_j = TA_{\Delta} / (m-1). \quad (2.163)$$

Отриманий середній допуск $T_{cp}A_j$ коректують для певних складальних розмірів залежно від їх значень, конструктивних вимог і технологічних можливостей виготовлення, але так, щоб виконувалася умова:

$$TA_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^{m-1} TA_j. \quad (2.164)$$

При цьому вибирають стандартні поля допусків, бажано переважного вживання.

Спосіб рівних допусків простий, але недостатньо точний, оскільки коректування допусків складових розмірів довільне. Його можна рекомендувати лише для попереднього призначення допусків складових розмірів.

Спосіб допусків одного квалітету застосовують, якщо всі складові розмірного ланцюга можуть бути виконані з допуском одного квалітету і допуски складових розмірів залежать від їх номінального значення. Нагадаємо, що відомими є номінальні розміри всіх ланок ланцюга і граничні відхилення замикаючої ланки. Необхідний квалітет визначають таким чином.

Допуск складового розміру:

$$TA_j = a_j i, \quad (2.165)$$

де i — одиниця допуску.

Для розмірів від 1 до 500 мм:

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D, \quad (2.166)$$

де D — середній геометричний розмір для інтервалу діаметрів по ГОСТ 25346 – 82, до якого відноситься цей лінійний розмір.

Тоді

$$TA_j = a_j(0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D), \quad (2.167)$$

де a_j — число одиниць допуску, що міститься в допуску даного розміру (таблиці 2 ГОСТ 25346 – 82).

Відповідно до формули (2.146) можна записати

$$TA_{\Delta} = a_1i_1 + a_2i_2 + \dots + a_{m-1}i_{m-1} \quad (2.168)$$

За умови завдання $a_1 = a_2 = \dots = a_{m-1} = a_{cp}$, тоді

$$TA_{\Delta} = a_{cp} \sum_{j=1}^{m-1} (0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D), \quad (2.169)$$

звідки

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} (0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D)}, \quad (2.170)$$

де TA_{Δ} — в мкм, D — в мм.

За значенням a_{cp} вибирають найближчий квалітет. Число одиниць допуску a_{cp} , обчислене за формулою (2.170), в загальному випадку не завжди збігається зі значенням a , що визначає квалітет, тому вибирають найближчий квалітет. Знайшовши за таблицею 6 ГОСТ 25346 – 82 (або за таблицями ГОСТ 25347 – 82) допуски номінальних складових розмірів коректують їх значення, враховуючи конструктивно-експлуатаційні вимоги і можливість застосування процесу виготовлення, економічна точність якого близька до потрібної точності розмірів. Допуски для охоплюючих розмірів рекомендується визначати,

як для основного отвору, а для охоплюваних — як для основного вала. При цьому слід дотримуватися умови

$$TA_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^{m-1} TA_j \quad (2.171)$$

Знайшовши допуски $TA_1, TA_2, \dots, TA_{m-1}$ за заданими відхиленнями $Es(A_j)$ і $Ei(A_j)$, визначають значення і знаки верхніх і нижніх відхилень складових розмірів так, щоб вони задовольняли рівнянням (2.147) і (2.148). Прийнятність граничних відхилень складальних розмірів можна перевірити також за формулою (2.171).

Розв'язання прямої задачі способом призначення допусків одного квалітету більш обґрунтовано порівнянно з вирішенням способом рівних допусків.

Приклад 1. Визначити допуски складових розмірів деталей складальної одиниці, показаної на рисунку 2.105. Задані номінальні значення складових розмірів ланцюга і граничні відхилення замикаючого розміру: $A_{\Delta}^{\max} = 1,75$ мм; $A_{\Delta}^{\min} = 1$ мм.

Знаходимо номінальний розмір замикаючої ланки за формулою (2.146):

$$A_{\Delta} = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4 + A_5) = (101 + 50) - (5 + 140 + 5) = 1 \text{ мм.}$$

Найменший граничний зазор збігається з номінальним, тому $A_{\Delta} = 1^{+0,75}$; $TA_{\Delta} = 0,75$ мм.

Середнє число одиниць допуску в розмірному ланцюзі визначаємо за формулою (2.170):

$$a_{cp} = \frac{750}{2,17 + 1,56 + 2 \cdot 0,73 + 2,52} \approx 97.$$

Для цього прикладу знайдене число одиниць допуску більше прийнятого для квалітету 10, але трохи менше, ніж для квалітету 11 (ГОСТ 25346 - 82). Встановлюємо для всіх розмірів ланцюга, окрім розміру A_4 , допуск за квалітетом 11. Допуск розміру A_4 можна призначити декілька меншим, оскільки вал за цим розміром легко обробити з великою точністю. За таблицею 6 ГОСТ 25346 - 82 знайдемо допуски для розмірів $A_1, A_2, A_3, i A_5$: 0,22; 0,16; 0,075 і 0,075 мм відповідно. Виходячи з рівності (2.171), на долю розміру A_4 залишається допуск 0,22 мм, проте доцільно прийняти його стандартним за

квалітетом 10, тобто рівним 0,16 мм. Таким чином, призначаємо такі граничні відхилення складових розмірів для охоплюючих поверхонь, як для основних отворів, тобто зі знаком плюс; для охоплюваних — як для основних валів, тобто зі знаком мінус: $A_1 = 101^{+0,22}$ мм; $A_2 = 50^{+0,16}$ мм; $A_3 = A = 5_{-0,075}$ мм; $A_4 = 140_{-0,16}$ мм.

Перевірка показує, що встановлені граничні відхилення задовольняють (з деяким запасом) рівнянням (2.147) і (2.148).

2. Визначити економічно найбільш вигідний спосіб простановки розмірів вузла, показаного на рисунку 2.106, а (розміри, проставлені за першим варіантом, підкреслені). Для обох варіантів $TA_{\Delta} = 0,22$ мм. Розмірні ланцюги по двох варіантах показані відповідно на рисунку 2.106, б і в.

Визначаємо число одиниць допуску для двох варіантів за формулою (2.170):

$$a_1 = \frac{220}{2 \cdot 0,90 + 2 \cdot 2,52} = 32,2; \quad a_2 = \frac{220}{4 \cdot 1,56 + 2 \cdot 2,52} = 19,5$$

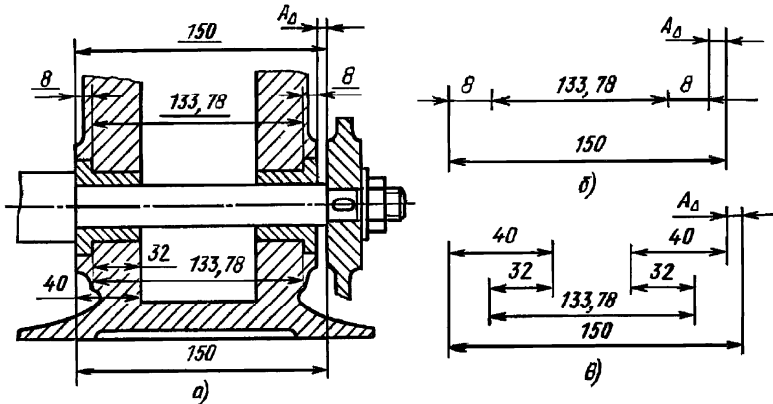


Рисунок 2.106 – Ескіз вузла (а) і варіанти розмірних ланцюгів (б, в)

Середня точність ланок розмірного ланцюга першого варіанту знаходиться між квалітетами 8 і 9, другого варіанту — між квалітетами 7 і 8.

Отже, перший варіант простановки розмірів, виконаний за принципом найкоротшого ланцюга, доцільніше, оскільки дозволяє (при одному і тому ж ступені точності збирання) виконувати складові розміри на один квалітет грубіше, тобто з меншими витратами.

Розрахунок розмірних ланцюгів методом максимуму-мінімуму забезпечує повну взаємозамінність деталей і вузлів, проте він економічно доцільний лише для машин невисокої точності або для ланцюгів, що складаються з невеликого числа ланок. В інших випадках, особливо при розрахунку точності негеометричних параметрів, допуски можуть бути надмірно жорсткими і технологічно їх важко здійснити; при встановленні технологічно здійснимих допусків може статися, що:

$$\sum_{j=1}^{m-1} TA_j > TA_{\Delta} . \quad (2.172)$$

У таких випадках допуски розраховують теоретико-імовірнісним або іншим методом, що забезпечує неповну взаємозамінність, засновану, наприклад, на груповому підборі деталей, використанні компенсаторів або припасуванні однієї з деталей за задалегідь визначеним розміром.

2.12.4 Теоретико-імовірнісний метод розрахунку розмірних ланцюгів

При виведенні формул (2.147) - (2.152) і інших для розрахунку розмірних ланцюгів методом максимуму-мінімуму передбачали, що в процесі обробки або збирання можливе одночасне поєднання найбільших збільшувальних і найменших зменшувальних розмірів або обернене їх поєднання. Будь-яке з цих поєднань дозволяє забезпечити найменшу точність замикаючої ланки, але вони мало імовірні, оскільки відхилення розмірів в основному групуються біля середини поля допуску і з'єднання деталей з такими відхиленнями зустрічаються найчастіше. Якщо допустити нікчемно малу імовірність (наприклад 0,27 %) спостереження граничних значень замикаючого розміру, можна значно розширити допуски складових розмірів і тим самим понизити собівартість виготовлення деталей. На цих положеннях і заснований теоретико-імовірнісний метод розрахунку розмірних ланцюгів.

Обернена задача. Вважаючи, що похибки складових і замикаючого розмірів підкоряються закону нормального розподілу, а

границі їх імовірного розсіювання (6σ) збігаються з границями полів допусків, можна прийняти

$$TA_j = 6\sigma_{A_j} \quad (2.173)$$

або

$$\sigma_{A_j} = TA_j/6, \quad (2.174)$$

відповідно

$$TA_\Delta = 6\sigma_{A_\Delta} \quad (2.175)$$

або

$$\sigma_{A_\Delta} = TA_\Delta/6. \quad (2.176)$$

При цьому в 0,27 % виробів розміри замикаючих ланок можуть виходити за межі поля допуску.

З теорії імовірності відомо, що дисперсія суми декількох незалежних випадкових величин дорівнює сумі дисперсій цих величин

$$D(x_1+x_2+\dots+x_n)=D(x_1)+D(x_2)+\dots+D(x_n) \quad (2.177)$$

Враховуючи, що $D(x) = \sigma^2 x$ (σ – середньоквадратичне відхилення) можна записати:

$$\sigma(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \sqrt{\sigma^2 x_1 + \sigma^2 x_2 + \dots + \sigma^2 x_n} \quad (2.178)$$

Або

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2 x_i} \quad (2.179)$$

Підставивши значення σ_{A_j} і σ_{A_d} у рівняння (2.164) і виконавши прості перетворення, отримаємо рівняння для визначення допуску замикаючого розміру

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} (TA_j)^2} \quad (2.180)$$

Визначивши TA_{Δ} , за формулою (2.160) обчислюємо значення $Ec(A_{\Delta})$, за формулами (2.157) — значення $Es(A_{\Delta})$ і $Ei(A_{\Delta})$.

Формула (2.179) підкоряється закону Гауса, центр групування збігається з серединою поля допуску, а поле розсіювання — з величиною допуску. При несиметричних законах розподілу центр групування не збігається з серединою поля допуску (рисунок 2.107). Координата центру групування для несиметричного закону розподілу

$$E_M(A_j) = E_C(A_j) + \alpha_j \frac{TA_j}{2}, \quad (2.181)$$

де α_j — коефіцієнт відносної асиметрії несиметричної кривої розподілу відхилень j -го розміру.

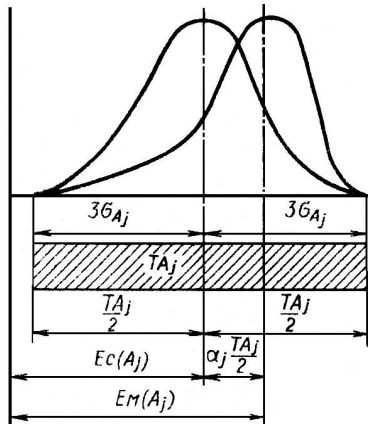


Рисунок 2.107 – Координати центру групування для несиметричної кривої розподілу

Коефіцієнт відносної асиметрії кривої розподілу визначає величину зміщення центру групування відхилень щодо середини поля допуску Ta_j ; його виражають у долях половини допуску $Ta_j / 2$. З формули 2.180 витікає, що

$$a_j = \frac{E_M(A_j) - E_C(A_j)}{0,5TA_j} \quad (2.182)$$

Якщо поле допуску симетричне щодо номінального розміру і закон розподілу є нормальним, то $E_C(A_j) = 0$, $E_M(A_j) = 0$ і $a_j = 0$. За умови асиметрії кривої розподілу розмірів, яка характеризується α_j , координата середини поля допуску

$$E_C(A_j) = E_M(A_j) - \alpha_j \frac{TA_j}{2} \quad (2.183)$$

Після підстановки значень $E_C(A_j)$ в рівняння 2.179 набувають значення координати середини поля допуску замикаючої ланки при асиметричних кривих розподілу складових розмірів. Величини граничних відхилень замикаючого розміру визначають потім, використовуючи формули.

Формула (2.171) виведена в припущенні, що розподіл дійсних розмірів підкоряється закону Гауса, центр групування збігається з серединою поля допуску, а поле розсіяння — із значенням допуску. У виробничих умовах випадкові похибки розмірів деталей можуть розподілятися не за законом Гауса. Для визначення допуску замикаючого розміру при довільному законі розподілу у формулу (2.18) вводять коефіцієнт відносного розсіяння k_j .

$$TA_\Delta = \frac{1}{k_\Delta} \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} (TA_j)^2 k_j^2} \quad (2.184)$$

Коефіцієнти k_j і k_Δ характеризують відмінність розподілу похибок j -ої і замикаючої ланок від розподілу за законом Гауса. Коефіцієнт k_Δ для замикаючих розмірів вводять, коли $(m - 1) < 6$.

Коефіцієнт

$$k_j = 6\sigma/T_j, \quad (2.185)$$

де T_j — поле розсіяння A_j . Приймаючи $T_j = 6\sigma$, отримаємо:
для закону нормального розподілу

$$k_j = 6\sigma_j/6\sigma_j = 1;$$

для закону рівної імовірності

$$k_j = 6\sigma_j/2\sqrt{3\sigma_j} = 1,73;$$

для закону трикутника (Симпсона)

$$k_j = 6\sigma_j/2\sqrt{6\sigma_j} = 1,22.$$

Ефективність використання принципів теорії імовірності при розрахунку допусків розмірних ланцюгів покажемо на наступному прикладі. Передбачимо, що розмірний ланцюг складається з чотирьох складових розмірів з допусками $TA_1 = TA_2 = TA_3 = TA_4$. Тоді за формулою (2.180) допуск замикаючого розміру:

$$TA_\Delta = \sqrt{4(TA_j)^2} = 2TA_j, \quad (2.186)$$

Звідки

$$TA_j = TA_\Delta/2. \quad (2.187)$$

За формулою (2.154) допуск замикаючого розміру при розв'язанні задачі методом максимуму-мінімуму:

$$TA_\Delta = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 = 4TA_j;$$

звідки

$$TA_j = TA_\Delta/4.$$

Використання теорії імовірності в наведеному прикладі дозволяє при одному і тому ж допуску замикаючої ланки розширити в 2 рази допуск складових розмірів. При цьому лише в 0,27 % розмірних ланцюгів (тобто в трьох із тисячі) граничні значення замикаючого розміру (при законі нормального розподілу) можуть бути не витримані (тобто є можливість виникнення браку).

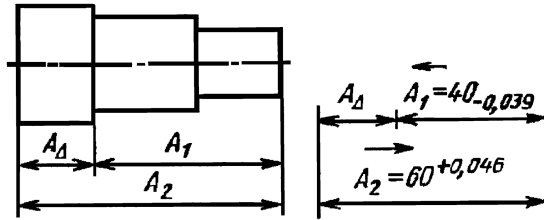


Рисунок 2.108 – Розмірний ланцюг ступінчастої деталі

Приклад. Визначити номінальне значення замикаючого розміру A_{Δ} і його допуск для ступінчастого валу. Вважаємо, що розсіяння відхилень розмірів підкоряється закону нормального розподілу, розмахи повністю вписуються в поля допусків, криві розподілу симетричні щодо середини полів допусків. Тоді $k_j = 1$.

За формулою (2.146) номінальний розмір $A_{\Delta} = 20$ мм.

Допуск замикаючого розміру за формулою (2.184)

$$TA_{\Delta} = \sqrt{(46 \cdot 1)^2 + (39 \cdot 1)^2} \approx 60 \text{ мкм}$$

При вирішенні методом максимуму-мінімуму $TA_{\Delta} = 46 + 39 = 85$ мкм, тобто на 25 мкм, або на 41 % більше, ніж при вирішенні імовірнісним методом. Якщо допуск замикаючого розміру залишити рівним 85 мкм, допуски складових розмірів можна значно розширити.

Пряма задача. Допуски складових розмірів ланцюга при заданому допуску замикаючого розміру можна розраховувати чотирма способами.

При *способі рівних допусків* приймають, що величини TA_j , $Ec(A_j)$ і k_j для всіх складових розмірів однакові. За заданим допуском TA_{Δ} визначають середні допуски $T_{cp}A_j$, які задовольняють рівності (2.180) або (2.184).

Рівняння для визначення $T_{cp}A_j$ отримують з рівності (2.163) за аналогією з рівнянням (2.164):

$$TA_{\Delta} = \sqrt{(m-1)(T_{cp}A_j)^2 k_j^2}, \quad (2.188)$$

звідки

$$T_{cp}A_j = \frac{TA_{\Delta}}{k_j \sqrt{m-1}}. \quad (2.189)$$

Якщо коефіцієнт k_j неоднаковий для складових розмірів, знаменник у формулі (2.189) має вигляд $\sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} k_j^2}$.

Знайдені значення $T_{cp}A_j$ і $Ec(A_j)$ коректують, враховуючи вимоги конструкції і можливість використання процесів виготовлення деталей, економічна точність яких близька до необхідної точності розмірів. Правильність розв'язання задачі перевіряють за формулою (2.184).

При способі *призначення допусків одного квалітету* розрахунок загалом аналогічний розв'язанню прямої задачі методом повної взаємозамінності, але формула (2.184) має інший вигляд. Підставивши в рівняння (2.184) значення $TA_j = a_j(0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D)$ і вирішивши його відносно a , отримаємо:

$$a_{cp} = \frac{TA_{\Delta} k_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} (0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D)^2 k_j^2}} \quad (2.190)$$

Спосіб пробних розрахунків полягає в тому, що допуски на складові розміри призначають економічно доцільними для умов майбутнього виду виробництва із врахуванням конструктивних вимог досвіду експлуатації наявних подібних механізмів і перевірених для даного виробництва значень коефіцієнтів k_{Δ} , k_j . Для підвищення точності, надійності і забезпечення функціональної взаємозамінності машин допуски і граничні відхилення замикаючого і складових розмірів відповідальних частин машин слід коректувати в бік

посилювання з метою створення запасу на знос. Правильність такого розрахунку розмірного ланцюга перевіряють за формулою (2.184). Якщо рівність не виконується, допуски, а інколи і номінальні значення складових розмірів знов коректують.

Спосіб рівного впливу застосовують при вирішенні плоских і просторових розмірних ланцюгів. Він заснований на тому, що допустиме відхилення кожного складального розміру повинне викликати однакову зміну початкового замикаючого розміру.

2.12.5 Метод групової взаємозамінності. Селективне збирання

Суть методу *групової взаємозамінності* полягає у виготовленні деталей з порівняно широкими технологічно здійсненими допусками, які вибираються з відповідних стандартів, сортуванню деталей на рівне число груп з вузькими груповими допусками і збиранні їх (після комплектування) по однойменних групах. Таку збірку називають *селективною*.

Метод групової взаємозамінності застосовують, коли середня точність розмірів ланцюга дуже висока й економічно не доцільна.

При селективному збиранні (у посадках із зазором і натягом) найбільші зазори і натяги зменшуються, а найменші збільшуються, наближаючись із збільшенням числа груп сортування до середнього значення зазору або натягу для даної посадки, що робить з'єднання стабільнішими і довговічнішими (рисунок 2.109). У перехідних посадках найбільші натяги і зазори зменшуються, наближаючись із збільшенням числа груп сортування до значення натягу або зазору, яке відповідає серединам полів допусків деталей.

Для встановлення числа груп сортування n деталей необхідно знати необхідні граничні значення групових зазорів або натягів, які знаходять з умови забезпечення найбільшої довговічності з'єднання або значення групового допуску TD^{Gr} або Td^{Gr} , визначуване економічною точністю збирання і сортування деталей, а також можливою похибкою їх форми. Відхилення форми не повинні перевищувати групового допуску, інакше одна і та ж деталь може потрапити в різні (найближчі) групи залежно від того, в якому перетині вона виміряна при сортуванні.

Розглянемо випадок визначення числа n груп, коли в початковій посадці $TD = Td$. Для цього випадку характерно, що груповий зазор або натяг залишаються постійними при переході від однієї групи до іншої (рисунок 2.109, а). При збиранні деталей для підвищення довговічності рухомих з'єднань необхідно створювати найменший допустимий зазор для підвищення працездатності з'єднань з натягом — найбільший допустимий натяг. Число n груп підраховують за такими формулами:

при заданому S_{\min}^{Gr} (для рухомої посадки)

$$S_{\min}^{Gr} = S_{\min} + Td - Td / n; \quad (2.191)$$

при заданому N_{\max}^{Gr} (для посадки з натягом)

$$N_{\max}^{Gr} = N_{\max} - TD + TD / n \quad (2.192)$$

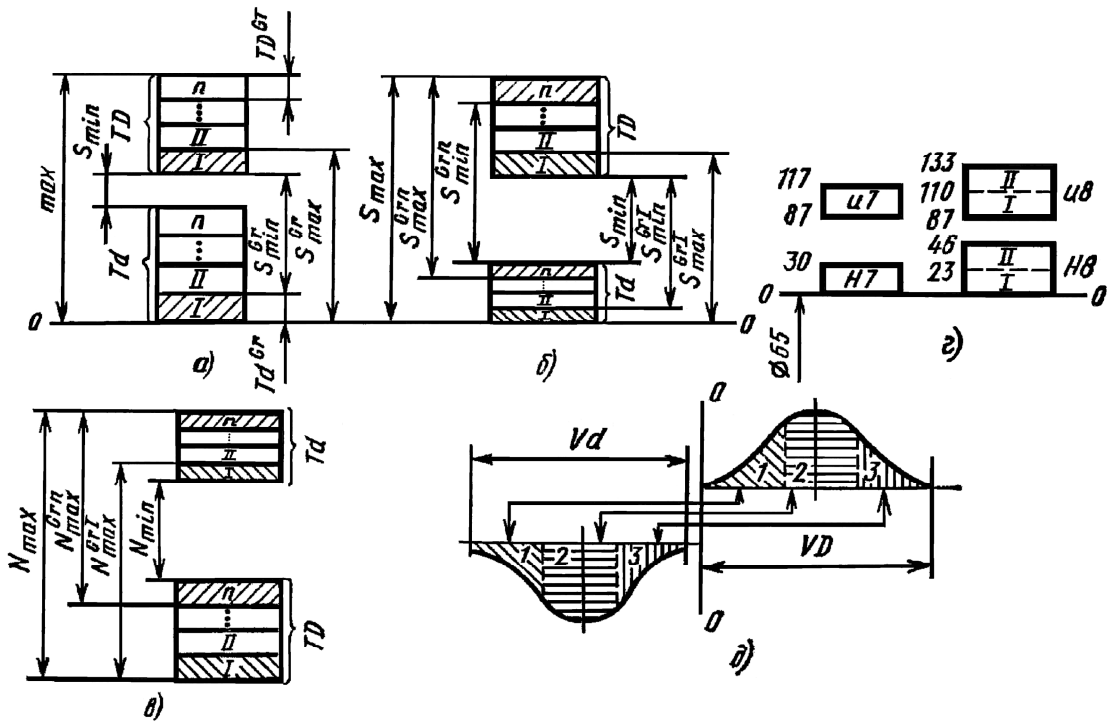
При заданому груповому допуску TD^{Gr} або Td^{Gr} $TD/n = TD^{Gr}$; $n = TD/TD^{Gr}$; $Td/n = Td^{Gr}$; $n = Td/Td^{Gr}$. При $TD = Td$

$$n = TD/TD^{Gr} = Td/Td^{Gr}. \quad (2.193)$$

При $TD > Td$ груповий зазор (або натяг) при переході від однієї групи до іншої не залишається постійним (рисунок 2.109, б, в); отже, однорідність з'єднань не забезпечується, тому селективне збирання доцільно застосовувати лише при $TD = Td$.

При великому числі груп сортування груповий допуск незначно відрізняється від допуску при меншому числі груп, а організація контролю і складність збирання значно зростають. Практично $n_{\max} = 4 \dots 5$, лише в підшипниковій промисловості при сортуванні тіл кочення $n \geq 10$.

Приклад. За конструктивними вимогами для номінального діаметра 65 мм потрібна посадка з найменшим натягом 57 мкм і найбільшим 117 мкм. Цим вимогам відповідає посадка $H7/u7$ (рисунок 2.109, г), але для даного виробництва вона технологічно важко здійснювана. Можна підібрати посадку $H8/u8$, яка при розбитті допуску на дві групи і збирання деталей однойменних груп забезпечує натяг у прийнятних межах 64 — 110 мкм у кожній групі при розширенні допусків на виготовлення приблизно на 50%.



а – при $TD = Td$; б – при $TD > Td$ (а і б – посадки із зазором); в – при $TD > Td$; г – при $TD = Td$ (в і г – посадки з натягом); д – з урахуванням кривих розподілу

Рисунок 2.109 – Схеми сортування деталей на групи

Селективне збирання застосовують не лише в з'єднаннях гладких деталей циліндричної форми, але й складніших за формою (наприклад нарізних). Селективне збирання дозволяє в n раз підвищити точність збирання (точність з'єднання) без зменшення допусків на виготовлення деталей або забезпечити задану точність збирання (точність з'єднання) при розширенні допусків до економічно доцільних величин.

У той же час селективне збирання має недоліки: ускладнюється контроль (потрібні більший штат контролерів, точніші вимірювальні засоби, контрольно-сортувальні автомати); підвищується трудомісткість процесу збирання (в результаті створення сортувальних груп); можливе збільшення незакінченого виробництва унаслідок різного числа деталей у парних групах.

Селективне збирання забезпечує неповну групову взаємозамінність, зважаючи на що, цей метод використовують, як правило, в умовах заводу-виробника при забезпеченні внутрішньої взаємозамінності. Винятком є, наприклад, поршні, поршневі пальці до двигунів внутрішнього згорання і деякі інші запасні частини.

Використання селективного збирання доцільне в масовому і багатосерійному виробництвах для з'єднань високої точності, коли додаткові витрати на сортування, маркування, збирання і зберігання деталей по групах окупаються високою якістю виробів. При виробництві підшипників кочення і збиранні відповідальних нарізних з'єднань з натягом селективне збирання є єдиним економічно доцільним методом забезпечення необхідної точності.

Для скорочення обсягів незакінченого виробництва, що утворюється при селективному збиранні, будують емпіричні криві розподілу розмірів з'єднуваних деталей. Якщо зміщення центрів групування і криві розподілу розмірів з'єднуваних деталей однакові і відповідають, наприклад, закону Гауса, число деталей в однойменних групах однаково. Отже, лише при ідентичності кривих розподілу збирання деталей з однойменних груп (рисунок 2.109,д) усуває утворення незакінченого виробництва.

Інколи ділення допуску, вираженого в одиницях довжини, на рівні частини замінюють діленням на частини, границі яких виражаються в долях σ . Якщо друга група має сортувальні границі $\pm \sigma$, то відносне число деталей першої групи $\Phi(3) - \Phi(1) = 0,5 - 0,341 = 0,1587 = 15,87\%$. Відносне число деталей другої групи $2\Phi(1) = 2 \cdot 0,3413 = 68,26\%$. Відносне число деталей третьої групи, як і першої, $\Phi(3) -$

$\Phi(1) = 15,87\%$. Число з'єднань, складених з деталей другої групи, приблизно в 4 рази більше від числа з'єднань, складених з першої або третьої групи.

2.12.6 Метод регулювання

Під *методом регулювання* розуміють розрахунок розмірних ланцюгів, при якому необхідна точність замикаючої ланки досягається навмисною зміною без видалення матеріалу (регулюванням) одного із заздалегідь вибраних складових розмірів, що називається *компенсуючим* (рисунок 2.110). Роль компенсатора, як правило, виконує спеціальна ланка у вигляді прокладки, регульованого упору, клину і інш. При цьому решту всіх розмірів ланцюга деталі обробляють за розширеними допусками, економічно прийнятними для даних виробничих умов.

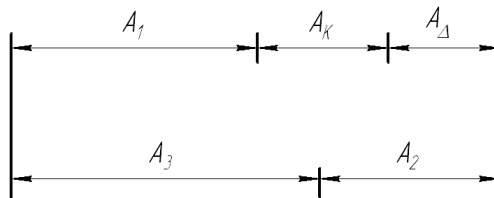


Рисунок 2.110 – Розмірний ланцюг з компенсуючою ланкою (A_K)

Номінальний розмір компенсуючої ланки K відповідно до виразу (2.146)

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n A_{j \text{ зб}} - \sum_{j=1}^p A_{j \text{ зм}} \pm K \quad (2.194)$$

Значення K беруть із знаком плюс, якщо розмір є збільшуючим, інакше — зі знаком мінус. Коли K є збільшуючим розміром, відповідно до формул (2.147), (2.148), (2.151) і (2.152) можна записати:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n A_{j_{3\bar{0}}}^{\max} + K^{\min} - \sum_{j=1}^p A_{j_{3M}}^{\min}; \quad (2.195)$$

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n A_{j_{3\bar{0}}}^{\min} + K^{\max} - \sum_{j=1}^p A_{j_{3M}}^{\max}; \quad (2.196)$$

$$Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Es(A_j)_{3\bar{0}} - \sum_{j=1}^p Ei(A_j)_{3M} + Ei(K); \quad (2.197)$$

$$Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Ei(A_j)_{3\bar{0}} - \sum_{j=1}^p Es(A_j)_{3M} + Es(K). \quad (2.198)$$

Коли K – зменшуючий розмір, то

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n A_{j_{3\bar{0}}}^{\max} - K^{\max} - \sum_{j=1}^p A_{j_{3M}}^{\min} \quad (2.199)$$

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n A_{j_{3\bar{0}}}^{\min} - K^{\max} - \sum_{j=1}^p A_{j_{3M}}^{\max} \quad (2.200)$$

$$Es(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Es(A_j)_{3\bar{0}} - \sum_{j=1}^p Ei(A_j)_{3M} - Es(K) \quad (2.201)$$

$$Ei(A_{\Delta}) = \sum_{i=1}^n Ei(A_j)_{3\bar{0}} - \sum_{j=1}^p Es(A_j)_{3M} - Ei(K) \quad (2.202)$$

Віднімаючи почленно рівняння (2.199) з (2.200), рівняння (2.201) з (2.202) з врахуванням рівності $n + p = m - 1$ в обох випадках отримаємо:

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j - V_K, \quad (2.203)$$

де TA_{Δ} — заданий допуск замикаючого розміру, визначений виходячи з експлуатаційних вимог; TA_j — прийняті розширені технологічно здійсненні допуски складових розмірів; V_K — найбільше можливе розрахункове відхилення, що виходить за межі поля допуску замикаючої ланки, яка підлягає компенсації.

У цьому випадку має бути виконана умова

$$V_K \geq \sum_{j=1}^{m-1} TA_j - TA_{\Delta} . \quad (2.204)$$

Для ланцюгів, що мають розміри, змінні під час експлуатації машин (в результаті зносу, температурних і силових деформацій деталей), при визначенні відхилення V_K слід враховувати очікувану зміну складових розмірів.

Замикаючий розмір змінюють (регулюють) за допомогою компенсаторів. Для компенсації похибок лінійних, діаметральних і кутових розмірів, а також відхилень від співвісної та інших похибок застосовують нерухомі і рухомі компенсатори різних видів. Нерухомі компенсатори найчастіше виконують у вигляді проміжних кілець, набору прокладок та інших подібних змінних деталей (рисунк 2.111).

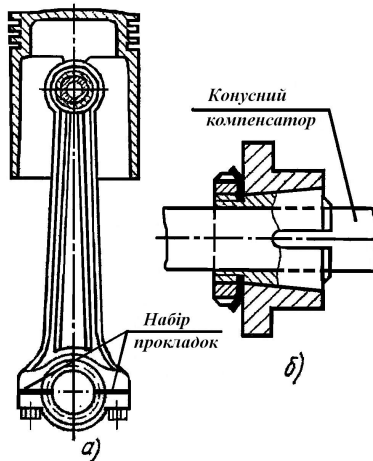


Рисунок 2.111 – Вузли з нерухомим (а) і рухомих (б) компенсаторами

Товщина кожної змінної прокладки має бути менше допуску початкового розміру, тобто $s < TA_{\Delta}$. Інакше після установки прокладки може бути отримано початковий розмір, що перевищує найбільше допустиме значення. Сумарна товщина всіх прокладок

$$Ns = V_K, \quad (2.205)$$

де N — число прокладок.

Тоді

$$s = (V_K / N) < TA_{\Delta} \quad (2.206)$$

або

$$N \geq (V_K / TA_{\Delta}). \quad (2.207)$$

Як правило, приймають

$$N = (V_K / TA_{\Delta}) + 1 \quad (2.208)$$

Потім визначають

$$s = V_K / N. \quad (2.209)$$

Формулу (2.208) застосовують, коли допуск T_K на виготовлення компенсатора малий порівняно з допуском TA_{Δ} . У інших випадках знаменником дробу у формулі (2.208) має бути різниця $TA_{\Delta} - V_K$.

Округлюючи значення s до найближчого меншого нормального розміру, отримують остаточне число змінних прокладок

$$N = (V_K / s). \quad (2.210)$$

Залежно від різниці між отримуваним при збиранні і необхідним замикаючим розміром встановлюють необхідне число прокладок.

Метод регулювання, який широко застосовують, дозволяє досягати високої точності механізму і підтримувати її під час експлуатації при розширених допусках усіх розмірів ланцюга. Особливого значення цей метод набуває при вирішенні розмірних ланцюгів, у яких є розміри, змінні під час експлуатації.

2.12.7 Метод припасовування

При цьому методі задана точність замикаючого розміру досягається додатковою обробкою при збиранні деталі за одним із заздалегідь намічених складових розмірів ланцюга. Тут деталі за всіма розмірами, що входять у ланцюг, виготовляють з допусками, економічно прийнятними для даних умов виробництва. Щоб здійснювати припасовування за заздалегідь вибраним розміром, необхідно за цим розміром залишати припуск, достатній для компенсації замикаючого розміру. Цей припуск має бути найменшим для скорочення обсягу припасувальних робіт.

Спосіб припасування можна застосовувати лише в одиничному і дрібносерійному виробництві, коли не можна використовувати інші способи забезпечення необхідної точності. У одиничному і дрібносерійному виробництві застосовують також спосіб спільної обробки деталей у заздалегідь зібраному вигляді або встановлених в одному пристосуванні та інші способи.

Значення технологічного компенсатора визначається:

$$T'K \geq T'A_{\Delta} - TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} TA_i - TA_{\Delta} \quad (2.211)$$

Перевагою методу припасовування є можливість досягнення високої точності замикаючого розміру при економічно прийнятних величинах допусків решти ланок.

До недоліків методу припасовування можна віднести:

- величину припуску, що знімається, можна встановити лише після попереднього збирання деталей ланцюга;
- необхідні трудомістки припасувальні роботи, виконувані висококваліфікованими робітниками;
- збільшується трудомісткість і цикл збирання;
- виникають труднощі при заміні деталей, що швидко зношуються, і інш.

2.12.8 Розрахунок плоских і просторових розмірних ланцюгів

Плоскі і просторові розмірні ланцюги розраховують тими ж методами, що й лінійні. Необхідно лише привести їх до вигляду лінійних розмірних ланцюгів. Це досягається шляхом проектування розмірів плоского ланцюга на один напрям, як правило, що збігається з напрямом замикаючого розміру, а просторовому ланцюгу — на дві або три взаємно перпендикулярні осі.

Як приклад, розглянемо плоский розмірний ланцюг із замикаючим розміром A_Δ , що визначає максимальне подовжнє переміщення штовхача (малюнок 2.112, а, б). Приведемо цей ланцюг до лінійного (рисунок 2.112, в), в якому $A'_3 = A_3 \cos a$.

За формулами 2.154, 2.180, 2.184 визначимо допуск замикаючого розміру:

методом розрахунку на максимум-мінімум

$$TA_\Delta = \sum_{j=1}^{m-1} \left| \frac{\partial A_\Delta}{\partial A_j} \right| TA_j; \quad (2.212)$$

теоретико-імовірнісним методом

$$TA_\Delta = \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \left(\frac{\partial A_\Delta}{\partial A_j} \right)^2 TA_j^2 k_j^2}, \quad (2.213)$$

де $\partial A_\Delta / \partial A_j$ — власна похідна функція замикаючого розміру по j -му складовому розміру; її називають також передавальним відношенням ξ .

Передавальні відношення характеризують ступінь і характер впливу похибок розмірів складових ланок на замикаючу. Для ланцюгів з паралельними ланками всі передавальні відношення дорівнюють одиниці (для збільшувальних розмірів) або мінус одиниця (для зменшувальних).

Визначимо допуск замикаючого розміру x плоского розмірного ланцюга (рисунок 2.113). Номінальні розміри і відхилення складових

розмірів а також кути їх нахилу задані. Кути β і γ допусками не обмежені.

Допуск замикаючого розміру x за формулою:

$$Tx = (\partial f / \partial A_1)TA_1 + (\partial f / \partial A_2)TA_2, \quad (2.214)$$

де TA_1 і TA_2 — допуски складових розмірів.

Передавальні відношення:

$$\partial f / \partial A_1 = \cos \beta; \quad \partial f / \partial A_2 = \cos \gamma.$$

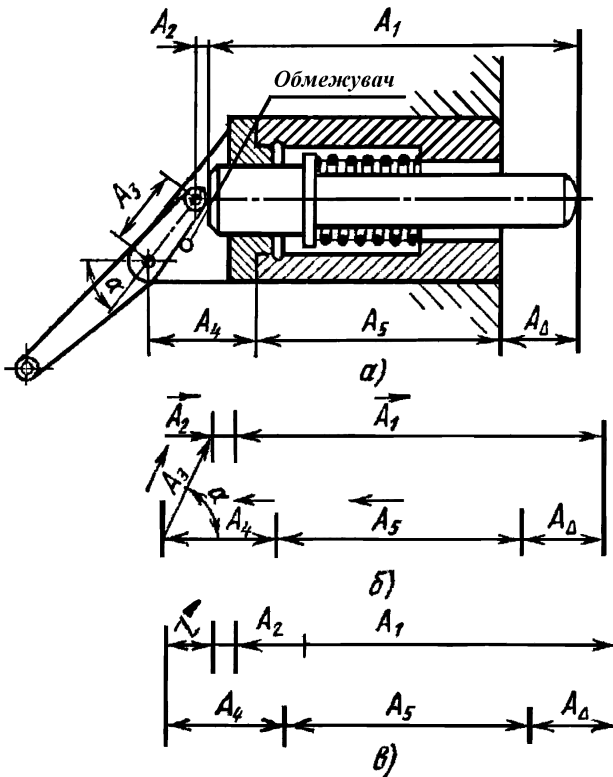


Рисунок 2.112 – Ескіз вузла (а), плоский (б) і лінійний (в) розмірні ланцюги

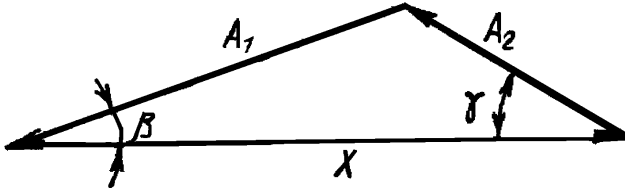


Рисунок 2.113 – Плоский розмірний ланцюг

Номінальний розмір

$$x = f(A_1, A_2) = A_1 \cos \beta + A_2 \cos \gamma . \quad (2.215)$$

Тригонометричні функції кутів умовно вважаємо постійними, оскільки похибки сторін трикутника незначні. Підставивши знайдені значення передавальних відношень у формулу (2.214), отримаємо допуск замикаючого розміру:

$$Tx = TA_1 \cos \beta + TA_2 \cos \gamma . \quad (2.216)$$

При розрахунку ланцюга теоретико-імовірнісним методом допуск замикаючого розміру:

$$T_x = \sqrt{k_1^2 TA_1^2 \cos^2 \beta + k_2^2 TA_2^2 \cos^2 \gamma} \quad (2.217)$$

де k_1 і k_2 — коефіцієнти відносного розсіювання відхилень складових розмірів.

Розрахунок розмірних ланцюгів дозволяє:

- встановити зв'язок між розмірами деталей машин і уточнити номінальні значення і допуски взаємозв'язаних розмірів, виходячи з експлуатаційних вимог і економічної точності оброблюваних деталей і збирання машин;
- виявляти шляхи збереження точності машини в процесі експлуатації, а також визначити, який вид взаємозамінності (повної або обмеженої) буде найбільш рентабельним;
- добитися правильнішої простановки розмірів на робочому кресленні;

- визначати операційні допуски і перераховувати конструкторські розміри на технологічні (в разі розходження технологічних баз із конструкторськими).

Розрахунок розмірів ланцюгів і їх аналіз – обов'язковий етап конструювання машин, який сприяє підвищенню якості, забезпеченню взаємозамінності і зниженню трудомісткості їх виготовлення.

Контрольні питання до розділу 2.12

1. Що називається розмірним ланцюгом?
2. Яку ланку розмірного ланцюга називають замикаючою?
3. Назвіть методи розрахунку розмірних ланцюгів.
4. Яку мету ставлять при вирішенні прямої та оберненої задачі?
5. Чому дорівнює допуск замикаючої ланки, розрахований методом повної взаємозамінності?
6. Чому дорівнює допуск замикаючої ланки розрахований теоретико-імовірностним методом?
7. В яких випадках використовується метод групової взаємозамінності?
8. В яких випадках використовуються методи регулювання та припасування для розрахунку розмірних ланцюгів?

2.13 Кутові розміри і гладкі кінчні з'єднання

2.13.1 Нормальні ряди і розміри кутів

Згідно з ГОСТ 8908-81, ДСТУ 2499-94 для досягнення взаємозамінності встановлені ряди нормальних кутів і конусів.

Кути, які рекомендуються при проектуванні, можна розділити на три групи:

- нормальні кути спільного призначення, в які включено три ряди нормальних значень кутів від 0 до 360^0 і нахили від 1 : 500 до 1 : 10 (з кутами, що їм відповідають);

- нормальні кути спеціального призначення, які застосовуються в стандартизованих і спеціальних виробках;

- спеціальні кути, розміри яких зв'язані розрахунковими залежностями з іншими прийнятими розмірами і які не можна округлити до нормальних кутів. Так, кут підйому спіралі черв'ячної фрези залежить від діаметра фрези і кроку, тобто є похідним розміром. До похідних (розрахункових) значень кутів відносять і кути конусів інструментів, що мають нормальну конусність, а не нормальні кути. Такі кутові розміри можуть відрізнятися від нормальних.

2.13.2 Допуски кутових розмірів

Система допусків кутів розповсюджується на кути конусів і призматичних елементів деталей з довжиною меншої сторони кута до 2500 мм.

Для опису конічних поверхонь у стандартах прийняті такі терміни і позначення (рисунок 2.114.): 1 - вісь, 2 - вершина, 3 – твірна, 4 – діаметр малої основи – d , 5 - конічна поверхня, 6 – діаметр у заданому поперечному перерізі - D_s , 7 – діаметр великої основи - D (основна площина, в якій задається номінальний діаметр конуса), L - довжина конуса, L_s – осьова відстань від основи до заданого поперечного перерізу, α - кут конуса $\alpha/2$ - кут нахилу (кут між твірною і віссю конуса), C – конусність, відношення різниці діаметрів двох поперечних перерізів до відстані між ними

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \operatorname{tg} \alpha / 2 \quad (2.218)$$

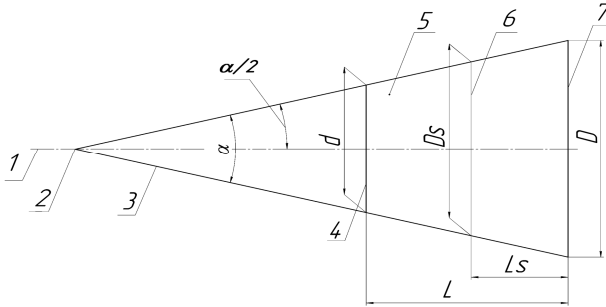
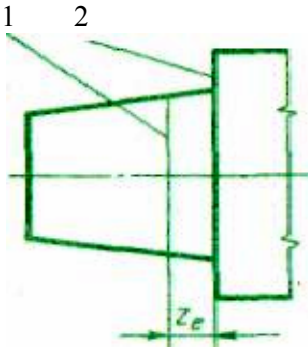
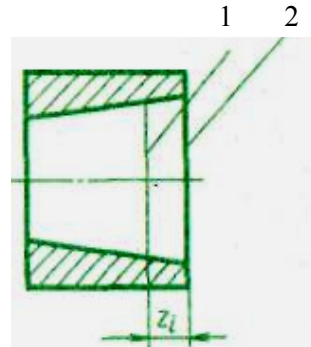


Рисунок 2.114 - Параметри конуса

Базова площина – площина перпендикулярна осі конуса, яка служить для визначення осьового положення основної площини або осьового положення даного конуса щодо конуса, з яким він з'єднується (рисунок 2.115). В окремому випадку базова і основна площини можуть збігатися.



Зовнішній конус



Внутрішній конус

1 – основна площина, 2 – базова площина

Рисунок 2.115 – Відстань площин конусів

Відстань площин конуса - осьова відстань (Z_e , Z_i) між основною і базовою площиною конуса (рисунок 2.115). Осьову відстань між

базовими площинами конусів називають базовою відстанню з'єднання ZP .

Взаємозв'язок між розмірами D , d , α і L враховують при призначенні допусків.

Для кутів у ГОСТ 8908 – 81 встановлено 17 ступенів точності, що позначаються $AT_1 AT_2 \dots, AT_{17}$. Букви AT позначають допуск кута, тобто різницю між найбільшим і найменшим граничними кутами. Допуск кута AT при переході від одного ступеня до іншого змінюється за геометричною прогресією з $\varphi = 1,6$.

Для кожного ступеня встановлені:

- допуск кута AT_α (рисунок 2.116, а) (на кресленнях рекомендується вказувати округлене значення допуску кута AT'_α у градусах, хвилинах, секундах).
- допуск кута AT_h , виражений відрізком на перпендикулярі до сторони кута, що є протилежним куту AT_α на відстані L_1 від вершини цього кута (рисунок 2.116, б).

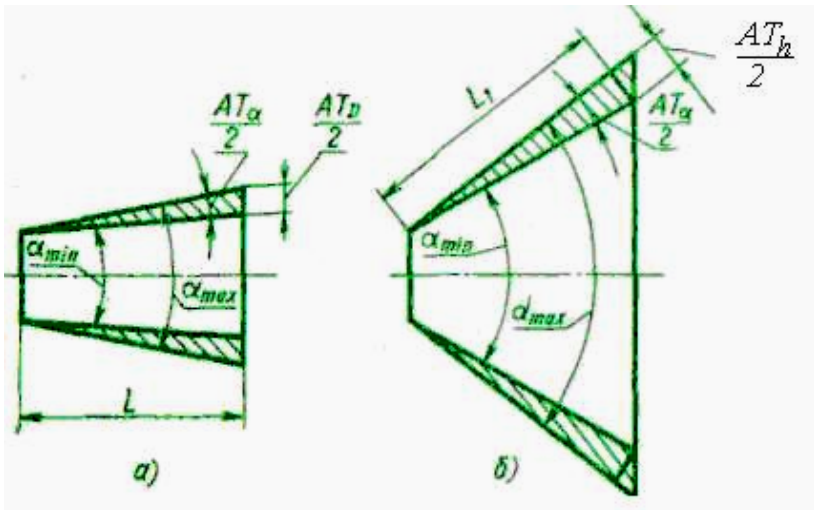


Рисунок. 2.114 - Розташування полів допусків кутів конусів

Для конусів, які мають конусність не більше 1 : 3, приймають $L_1 = L$ і призначають допуски виду AT_D ; значення $AT_D \sim AT_h$ (різниця не перевищує 2%).

Для конусів, які мають конусність більше 1 : 3.

$$AT_D = \frac{AT_h}{\cos \alpha / 2}, \quad (2.219)$$

де α — номінальний кут конуса.

Значення AT_h і AT_D вказані для крайніх значень інтервалів довжин L або L_l .

Допуски кутів призматичних елементів деталей потрібно призначати залежно від номінальної довжини L_l меншої сторони. Допуски кутів можуть бути розміщені в плюс (+ AT), у мінус (- AT) або симетрично щодо номінального кута.

2.13.3 Система допусків і посадок конічних з'єднань

Стандартами встановлено два способи нормування допуску діаметра конуса.

За першим способом встановлюють допуск діаметра T_D , однаковий у будь-якому поперечному перетині конуса, який і визначає два граничні конуси, між якими повинні знаходитися всі точки поверхні дійсного конуса. Допуск T_D обмежує також відхилення кута конуса і відхилення форми конуса, якщо відхилення не обмежені меншими допусками.

За другим способом установлюють допуск T_{D_s} лише в заданому перетині конуса. Цей допуск не обмежує відхилення кута і форми конуса. Допуск форми FT є сумою допусків круглості поперечного перетину конуса і прямолінійності його твірних.

ГОСТ 25307 – 82 встановлює посадки із зазором, з натягом і перехідні. За способом фіксації взаємного осьового розташування конусів, що з'єднуються, посадки розділяються на посадки з фіксацією шляхом поєднання конструктивних елементів конусів (базових площин); посадки з фіксацією по заданому осьовому зсуву конусів і посадки з фіксацією по заданій силі запресування (посадки з натягом). Перші два типи посадок потрібно призначати в системі

отвору з полями допусків конусів однакового квалітету. Рухомі посадки застосовують у вузлах, де необхідно регулювати зазор між деталями (наприклад з'єднання конусної шийки шпинделя верстата з конусними вкладишами підшипника ковзання). До рухомих з'єднань відносять також з'єднання, які забезпечують герметичність і роз'єднання одного простору від іншого як у спокої, так і при взаємному переміщенні спряжених деталей (наприклад арматурні крани).

Нерухомі конічні з'єднання можуть бути отримані шляхом застосування осьової сили, що створює відповідний натяг, необхідний при переданні крутного моменту (наприклад з'єднання конусів різального інструменту і шпинделя верстата). Під впливом осьової сили відбувається самоцентрування деталей. Конусні з'єднання забезпечують легше порівняно з циліндричними з'єднаннями розбирання, дозволяють регулювати натяг у процесі роботи. Для цього при збиранні конусних з'єднань залишають можливість при необхідності взаємно переміщувати конуси в осьовому напрямку і, таким чином, компенсувати знос у рухомих з'єднаннях або забезпечувати достатню величину затягування в нерухомих.

Для отримання різних посадок ГОСТ 25307 - 82 встановлює такі основні відхилення: $d, e, f, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z$ для зовнішніх конусів та H, Js і N — для внутрішніх конусів. Ці основні відхилення у поєднанні з 4—12-м квалітетами утворюють поля допусків.

2.13.4 Система допусків інструментальних конусів

Для метричних конусів і конусів Морзе (ГОСТ 2848 — 75) встановлено п'ять ступенів точності: AT_4, AT_5, \dots, AT_8 . Для кожного ступеня встановлені граничні відхилення кута конуса, граничні відхилення від прямолінійності твірної і від круглості. Відхилення кута від номінального розміру розташовують у плюс для зовнішніх і в мінус для внутрішніх конусів. Відхилення по ступенях точності AT_4 і AT_5 вказані лише для зовнішніх конусів. Для внутрішніх конусів ці ступені залишаються перспективними. За абсолютною величиною граничні відхилення кута конуса наближаються до вимог для конічних калібрів.

Крім того, встановлені допуски на довжину конусів, розміри лапок і вікон, залежний допуск симетричності вікна, на зсув торця внутрішнього конуса щодо площини діаметра великої основи. Приклад позначення конуса Морзе 3, ступені точності AT_8 : Морзе 3 AT_8 ГОСТ 2847-75.

Контрольні питання до розділу 2.13

1. За якими ступенями точності виготовляють кути?
2. Що таке базова площина?
3. Як позначаються поля допусків кутів?
4. Як формуються поля допусків діаметрів конусів?
5. Які основні відхилення та квалітети точності використовуються для зовнішніх та внутрішніх конусів?
6. Які ступені точності використовуються при виготовленні інструментальних конусів?

3 МЕТРОЛОГІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Державний стандарт України ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення» визначає *метрологію* як науку про вимірювання, методи та засоби забезпечення єдності вимірювань та способи досягнення необхідної точності. Під єдністю вимірювань розуміють такий їх стан, при якому результати вимірювань виражаються в узаконених одиницях, а імовірність похибок вимірювань відома.

Метрологія розвивається як єдина наука, що охоплює філософські питання вимірювань і вирішує такі основні завдання: створення еталонів та мір, вимірювальних перетворень, методів оцінювання точності результатів вимірювань тощо.

Предметом метрології є отримання кількісної та якісної інформації про властивість фізичних об'єктів та процесів, встановлення та застосування наукових та організаційних основ, правил та норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності.

Методи метрології – сукупність фізичних та математичних методів, що використовуються для одержання вимірюваної інформації із заданими точністю і достовірністю

Засоби метрології – це сукупність засобів вимірювальної техніки і засобів контролю, які вдосконалюються та розвиваються на основі об'єктивних законів.

Для забезпечення високого рівня вимірювань не досить мати теоретичну базу та засоби вимірювальної техніки, необхідно також уміти правильно користуватися ними. Тому метрологія виступає у двох аспектах – науково-технічному і законодавчому.

Наукова метрологія займається вивченням проблем вимірювання фізичних величин, елементною базою засобів вимірювання, аналізом похибок вимірювань. Законодавча метрологія встановлює одиниці фізичних величин і правила їх використання, термінологію в метрології, розробляє і впроваджує вимоги, направлені на досягнення єдності вимірювань.

Необхідно відзначити взаємний зв'язок метрології і стандартизації. Стандартизація – це діяльність, що полягає у розробленні та встановленні вимог, правил, норм чи характеристик з

метою досягнення оптимальної узгодженості в певній галузі, результатом чого є підвищення ступеня відповідності продукції її функціональному призначенню. Стандарти встановлюють відповідні вимоги до матеріалів, виробів, технічної і технологічної документації, методів досліджень тощо.

Взаємозв'язок метрології і стандартизації проявляється в тому, що вимірювання, з одного боку, регулюються різними стандартами (на засоби виміральної техніки, методики і інш.), а з іншого боку, стандарти забезпечуються методами та засобами контролю їх виконання. В Україні метрологія і стандартизація об'єднані в єдину державну службу, якою є Державний комітет України зі стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України).

3.1 Короткі відомості з історії розвитку вимірювання і метрології

Вимірювання мають давнє походження і відносяться до витоків виникнення матеріальної культури людства. Коли людина навчилася виготовляти знаряддя праці, користуватися ними і впливати на природу, що оточує її, вона стала проводити вимірювання. У найбільш давніх пам'ятниках людської культури є зазначення про вимірювання, виконувані людиною. Першими вимірюваннями були: вимірювання часу, площ, відстаней і маси. Пізніше, у зв'язку зі зростанням будівельної техніки, розвинулися вимірювання об'ємів, кутів різних геометричних фігур і тіл.

Вимірювання були досить примітивні і мали на меті визначити, яка з двох або декількох величин більша і яка менша, проводилися на око, на мускульне відчуття, на тривалість ходіння. Потім вимірювання почали переслідувати мету знайти, у скільки разів одна величина більша або менша за іншу. На цьому етапі людина зіставляла і порівнювала спостережувані нею предмети і величини з розмірами власного тіла. Перші одиниці довжини вона ототожнювала з частинами свого тіла: довжина ліктя, ступні, відстань між кінцями витягнутих у сторони рук. Об'єм вимірювався жменю або оберемком і інш.

Найбільш широкого поширення одиниці і міри набули в найдавніших культурних країнах: Китаї, Вавилонії, Єгипті. У Вавилонії було прийнято, що доба містить 24 години, 1 година — 60 хвилин і одна хвилинка — 60 секунд, міра довжини - лікоть, міра маси – талант. Пізніше ці заходи перейшли до Греції, Риму, а потім у Європу, де набули подальшого розвитку.

Найпоширенішими давніми мірами довжини, які згадуються в староруських літописах, були лікоть і сажень. Лікоть — довжина «від лікта до переднього суглоба середнього перста» був рівний приблизно 44,5 см. Сажень дорівнював трьом ліктям, надалі була прирівняна трьом аршинам. Аршин вперше згадується в царських грамотах XVI ст. і прирівняний до 28 англійських дюймів. Для вимірювання великих відстаней застосовувалася верста, яка згадується вперше в актах XI ст. Одиницею вимірювання земельної площі була десятина.

Найдавнішими мірами маси були гривня і золотник. Міри маси були тісно пов'язані з грошовими одиницями. До XII ст. сплата за товари проводилася шматками срібла певної маси, на якому робилися надруби, щоб їх було легко розламувати на частини. Такі шматки срібла називалися гривнами, маса їх була і одиниця маси. Від відламаних рубаних частин гривни пішла згодом назва грошової одиниці рубель.

Давні російські міри поступово удосконалювалися, їх розміри уточнювалися. Одні міри виходили з ужитку інші, навпаки, узаконювалися різними державними актами («грамотами» Івана Грозного, «укладеннями» царя Олексія Михайловича, «наказами» і «указами» Петра I та іншими).

Вільний вибір мір і одиниць вимірювання призводив до великої різноманітності їх не лише в окремих країнах, але навіть в областях і містах однієї і тієї ж країни. Це створювало великі незручності і труднощі, особливо в міжнародних стосунках.

У багатьох державах робилися спроби упорядкувати міри і встановити їх єдність.

У 1736г. була створена Комісія з мір і ваг, яка займалася створенням зразків російських мір. Нею був установлений розмір російського фунта, який пізніше був здійснений у вигляді зразка, що отримав назву бронзового позолоченого фунта 1747 р. У 1797 р. був виданий закон «Об учреждении повсеместно в Российской империи верных весов, питейных и хлебных мер».

У 1827 р. була створена комісія, якій було доручено розробити систему російських зразкових мір і ваг. Розроблена комісією система була узаконена 11 жовтня 1835 р. наказом «О системе российских мер и весов». Вона передбачала такі основні російські міри:

- 1) сажень, рівний 7 англійським футам;
- 2) фунт, рівний за масою бронзовому позолоченому фунту 1747 р. і одночасно масі води в об'ємі 25,02 куб. дюйма;
- 3) міра рідких тіл — відро, рівне об'єму 30 фунтів води, і міра сипучих тіл — четверик, рівний об'єму 64 фунтів води.

Цей закон установлював залежності між мірами маси і об'єму.

Формуванню громадської думки на користь метричної системи сприяла Всесвітня Паризька виставка 1867 р., на якій була влаштована вітрина зі зразками мір всіх країн. На виставці було організовано Міжнародний комітет мір, ваг і монет, на засіданні якого російський академік Б. С. Якобі у своїй доповіді сформулював усі переваги метричної системи.

1 березня 1875 р. була скликана дипломатична конференція з питання створення Міжнародного бюро мір і ваг, на якій були присутні представники 20 держав.

До 1889 р. були закінчені роботи з виготовлення зразків метра і кілограма. У цьому ж році в Парижі зібралася I Генеральна конференція з мір і ваг, що затвердила як міжнародні прототипи знов виготовлені зразки, розміри яких збігалися з розмірами архівних зразків.

Зразки метра були виготовлені з бруска платиноіридієвого сплаву (90% платини і 10% іридію) і мали поперечні перетини у формі букви Х, вписаної у квадрат із стороною 20 мм. На обох кінцях бруска на відполірованих ділянках на відстані 0,5 мм один від одного нанесено три штрихи.

Перпендикулярно до цих штрихів, уздовж осі, нанесено два штрихи з відстанню між ними 0,2 мм. Поверхні, на яких нанесені штрихи, збігаються з нейтральною площиною бруска. Х-подібна форма чинить великий опір прогинанню; при можливому вигині бруска відстань між штрихами, розташованими в нейтральній площині, піддається найменшій зміні. Зразок метра, позначений готичною буквою Х, був визнаний міжнародним прототипом метра. Метр був прийнятий рівним відстані між серединами середніх штрихів при температурі танучого льоду.

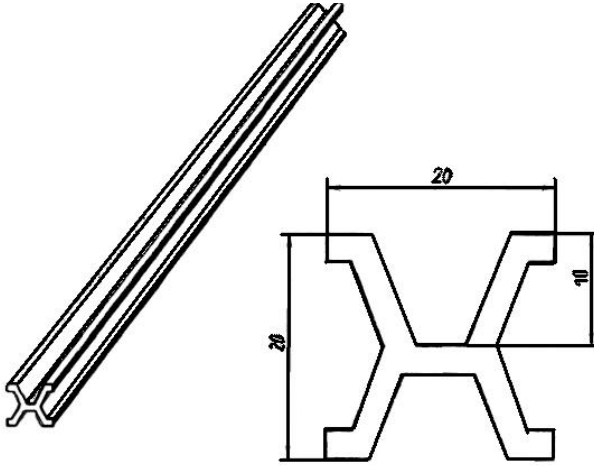


Рисунок 3.1 - Еталон метра

Міжнародним прототипом кілограма визнано платиноіридієвий циліндр, висота і діаметр прототипу якого рівні 39 мм. Подібних зразків метра було виготовлено 34, а кілограма - 43. Після встановлення міжнародних прототипів метра і кілограма Генеральна конференція розподілила решту зразків між державами, що підписали метричну конвенцію. Росія отримала два метри (№ 11 і № 28) і два кілограми (№ 12 і № 26).

Подальше уточнення розмірів російських мір було виконано Д.І. Менделєєвим. З 1893 по 1899 рр. він відновив «прототипи» російських мір, причому розмір їх виразив через метричні міри. В результаті його роботи 4 червня 1899 р. було затверджено «Положення про міри і ваги», яке встановлювало систему російських мір. В основу цієї системи були покладені:

одиниця маси — фунт, рівний 0,40951241 кг

одиниця довжини — аршин, рівний 0,711200 м.

Насамкінець наведемо співвідношення між російськими і метричними мірами:

1 аршин = 16 вершкам = 28 дюймам = 0,71120 м; (1 дюйм = 25,4 мм);

1 сажень = 3 аршинам = 7 футам == 2,1336 м;

1 верста = 500 сажням = 1,0668 км.;

1 десятина = 2400 кв. сажням = 10925 м² (1,0925 га);

1 чверть = 8 четверикам = 209,9 дм³ (209,9 л);

1 пуд = 40 фунтам = 16,38 кг;

1 фунт = 409,5 г;

1 золотник = 4,266

Проте «Положенням о мерах и весах» 1899 р. метричні міри дозволялося застосовувати нарівні з основними російськими мірами в торгівлі та інших операціях лише за розпорядженням міністра, приватні особи мали право не користуватися метричними мірами.

Метричні міри були введені як обов'язкові лише декретом Ради Народних Комісарів РРФСР від 14 вересня 1918 р. За зразки основних одиниць були прийняті копія міжнародного метра № 28 і копія міжнародного кілограма № 12. З 1 січня 1922 р. декретом заборонялося виготовлення російських мір і гир, а з 1 січня 1923 р. - їх продаж. З 1 січня 1924 р. заборонялось вживання будь-яких мір і ваг, окрім метричних.

Швидке відновлення народного господарства вимагало впорядкування метрологічної служби. На всій території Союзу вводилася обов'язкова перевірка на всі види вимірювання і вимірювальних приладів. Всесоюзному Комітету із стандартизації була передана Головна Палата мір і ваг зі всіма прилеглими до неї установами, що знаходилися при ній, а комітетам зі стандартизації союзних республік - республіканські палати.

Таким чином, метрологія і стандартизація зближували і розглядалися як два основні початки раціоналізації виробництва і освоєння передової техніки. Розширилося коло питань, охоплених діяльністю Головної Палати мір і ваг, яка була перейменована у Всесоюзний інститут метрології і стандартизації.

У 1956 р. була створена Міжнародна організація з законодавчої метрології, основним завданням якої є вирішення в міжнародному плані технічних і адміністративних проблем, що виникають у зв'язку з використанням вимірювальних приладів.

Вимірювання пронизують всі сфери інженерної праці, а вимірювальна інформація є основою для ухвалення не лише технічних, але й управлінських рішень. Результат вимірювання заслуговує на увагу за умови забезпечення необхідної точності і можливості оцінки похибки. Рівень точності, до якого треба прагнути, повинен визначатися критеріями як технічної, так і економічної

доцільності. Підвищення точності вимірювання в два рази здорожчує саме вимірювання у декілька разів. У той же час зниження точності може призвести до браку продукції, порушення екології або здоров'я людей.

3.2 Міжнародна система одиниць

Одиниця фізичної величини згідно з ДСТУ 2681-94 – це певний розмір даної величини, прийнятий за угодою Генеральної конференції з мір та ваги для кількісного відображення однорідних з нею величин. У природі фізичні величини пов'язані між собою залежностями, які виражають одні величини через інші і називаються рівняннями зв'язку між величинами. Сукупність пов'язаних такими залежностями величин, серед яких одні умовно називаються незалежними, а інші виражаються через них, називають *системою величин*.

Вибір основних величин і розмірів їх одиниць під час побудови системи теоретично дозвільний, але він продиктований певними вимогами практики, а саме:

- кількість основних величин має бути обмеженою;
- за основні мають бути вибрані величини, одиниці яких легко відтворити з високою точністю;
- розміри основних одиниць мають бути такі, щоб на практиці значення всіх величин системи не виражались ні надто малими, ні надто великими числами;
- похідні одиниці мають бути когерентні, тобто входить в рівняння, що пов'язують їх з іншими одиницями системи.

Одиниці цієї системи, які не належать ні до основних, ні до похідних, називаються додатковими (радіан – рад, стерадіан –ср), а одиниці що не входять в цю систему, є позасистемними (літр – л, тонна – т, градус – °)

Визначення основних одиниць через фундаментальні фізичні константи (ідеї М. Планка) сьогодні втілені в означені та відтворені основних одиниць: *метр* - на швидкості світла у вакуумі, *секунда* - на частоті квантового переходу атомів цезію-133, *кельвін*-на використанні реперних точок постійної температури (потрійна точка

води-273,16 К, точка твердіння цинку-692,73 К, точка твердіння золота-1337.58 К), *кандела* - на використанні фундаментальних властивостей світлового випромінювання абсолютно чорного тіла, *моль* - на числі Авогадро. Проблемою метрології залишається відтворення кілограма, яке до цього часу проводиться за допомогою платино-ірідієвих гир, маса яких постійно змінюється внаслідок фізико-хімічних процесів. Державний первинний еталон одиниці маси забезпечує абсолютне середньоквадратичне відхилення $\leq 8 \cdot 10^3$ мг.

3.3 Державний метрологічний нагляд

Державний метрологічний нагляд - це діяльність спеціально уповноважених органів державної метрологічної служби з метою перевірки дотримання метрологічних норм та правил. Аналогічна діяльність на підприємствах (організаціях) здійснюється акредитованими метрологічними службами цих підприємств.

Система метрологічного нагляду - це комплекс правил, положень і вимог технічного, економічного і правового характеру, що визначають організацію і порядок здійснення робіт з перевіряння, метрологічної ревізії та експертизи засобів вимірювальної техніки.

Перевірку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) здійснюють для визначення похибок цих засобів та встановлення їх придатності для застосування за призначенням. Державна перевірка здійснюється органами державної метрологічної служби (або за їх дорученням) засобів вимірювальної техніки, які використовуються в сферах, що підлягають державному метрологічному нагляду. Перевірка ЗВТ, що не підлягають державній перевірці, здійснюється акредитованими метрологічними службами підприємств.

Передбачено первинну, періодичну, позачергову, інспекційну та експертну перевірки. Первинна перевірка ЗВТ проводиться при їх випуску із виробництва або після ремонту, а також при імпорті партіями. Періодичній перевірці підлягають засоби вимірювальної техніки, що знаходяться в експлуатації через відповідні проміжки часу, міжперевірочні інтервали, що встановлюються з розрахунком забезпечення справності засобів вимірювань на період між

перевірками. Позачергова перевірка проводиться при пошкодженні клейма чи пломби, втраті документів про періодичну перевірку, при введенні в експлуатацію засобів вимірювань, що імпортуються, а також в інших випадках, коли необхідно впевнитися у справності засобів вимірювань.

Експертна перевірка виконується у випадку виникнення спірних питань стосовно метрологічних характеристик, придатності та правильності використання ЗВТ. Інспекційна перевірка проводиться при метрологічній ревізії, яку виконують, здійснюючи державний нагляд. Метрологічна ревізія засобів вимірювань здійснюється на підприємствах, що їх виготовляють, ремонтують чи експлуатують, і в організаціях, які їх зберігають та продають. Мета ревізії - удосконалення парку засобів вимірювань і підвищення ефективності метрологічного забезпечення виробництва. Під час ревізії контролюють наявність і правильність технічної документації на засоби вимірювань і на контрольно-вимірювальні операції, технічний рівень і правильність експлуатації, якість засобів вимірювань тощо. На підставі результатів метрологічної ревізії органи метрологічної служби вживають заходів щодо усунення виявлених недоліків, вносять пропозиції відносно удосконалення метрологічного забезпечення.

Метрологічна експертиза здійснюється при виникненні спірних питань щодо оцінки стану засобів вимірювань, методів і засобів перевірки та правильності їх застосування.

Всі засоби вимірювань підлягають обов'язковій державній чи відомчій перевірці. Винятком є індикатори, які призначені для спостережень за зміною фізичних величин без оцінки їх значень з нормованою точністю, а також навчальні засоби вимірювань.

Перевірку засобів вимірювань можуть проводити тільки органи метрологічної служби, що мають відповідний на це дозвіл. Такий дозвіл видається їм, якщо вони мають умови, необхідні для забезпечення належної якості перевірки, - засоби, кадри, нормативні документи, приміщення. До виконання повірки засобів вимірювань допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання і здали екзамен у навчальних закладах Держстандарту. Державну перевірку можуть виконувати тільки особи, які мають кваліфікацію державного верифікатора.

Основні операції перевірки засобів вимірювальної техніки полягають у визначенні похибок та встановленні їх придатності до застосування. Перелік характеристик і ознак, які контролюються при перевірці, регламентується нормативно-технічними документами на засоби вимірювання, зокрема технічними умовами.

Результати перевірки оформляють протоколом, до якого вносять формальні дані (назва, тип, завод-виробник, рік випуску, номер) і номінальні характеристики засобу вимірювань, а також умови проведення перевірки (температура, тиск, вологість), результати вимірювань при перевірці, висновки про придатність чи непридатність засобу вимірювань для застосування його за призначенням. Засоби вимірювань, які не задовольняють вимоги технічних умов хоч би за однією з ознак, що підлягають контролю, визнаються непридатними для застосування.

3.4 Основні відомості про вимірювання фізичних величин

Фізична величина визначена як властивість, спільна в якісному співвідношенні для безлічі об'єктів, фізичних систем, їх станів і процесів, що відбуваються в них, але індивідуальна в кількісному відношенні для кожного з них. Можливість фізичної реалізації одиниці є визначальною ознакою поняття «Фізична величина» і дозволяє визначити її «розмір» (довжина конкретного предмета, опір конкретного провідника). Розмір фізичної величини існує об'єктивно, незалежно від того, знаємо ми його чи не знаємо. Значення фізичної величини - оцінка фізичної величини в прийнятих для виміру даної величини одиницях. У теорію вимірювання вводяться поняття дійсного вимірюного і дійсного значення фізичної величини.

Знаходження дійсного значення вимірюваної фізичної величини є центральною проблемою метрології. Стандарт визначає дійсне значення як значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображало б у якісному і кількісному відношеннях відповідну властивість об'єкту. Одним із постулатів метрології є положення про те, що дійсне значення фізичної величини існує, проте визначити його шляхом вимірювання неможливо.

У практиці вимірювання оперують поняттям дійсного значення фізичної величини, знайденого експериментальним шляхом, який настільки наближається до достовірного, що для даної мети може бути використаним замість нього. Під вимірним значенням вважається значення величини, відраховане по відліковому пристрою засобу виміру.

Вимірювана фізична величина - фізична величина, яка підлягає вимірюванню відповідно до поставленого вимірювального завдання.

Впливова фізична величина - фізична величина, що безпосередньо не вимірюється засобом вимірювання, але впливає на нього або на об'єкт вимірювання таким чином, що це призводить до викривлення результату вимірювання.

Постійна величина - фізична величина, розмір якої за умовами вимірювального завдання можна вважати таким, що не змінюється за час, який перевищує тривалість вимірювання.

Змінна величина - фізична величина, що змінюється за розміром у процесі вимірювання.

3.4.1 Вимірювання фізичних величин

Вимірювання - знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Вимірювати можна лише властивості реально існуючих об'єктів пізнання, відбивані фізичними величинами. Вимірювання ґрунтується на експериментальних процедурах. Жодні теоретичні міркування або розрахунки самі по собі не можуть класифікуватися, як вимірювання. Будь-яке вимірювання як пізнавальний процес полягає в порівнянні шляхом фізичного експерименту даної величини з деяким її значенням, прийнятим за одиницю порівняння, тобто з мірою.

Такий підхід вироблений практикою вимірювань, що обчислюється сотнями років. Л.Ейлер стверджував: «Неможливо визначити або виміряти одну величину інакше, як прийнявши за відому іншу величину цього ж роду і вказавши співвідношення, в якому вони знаходяться».

Для вимірювання фізичної величини необхідно встановити розмір її градації і фізично реалізувати її у вигляді міри або шкали для здобуття кількісної оцінки.

Розрізняють чотири типи шкал: шкала найменувань, шкала порядку, шкала інтервалів і шкала відношень.

Шкала найменувань заснована на присвоєнні об'єкту цифр (знаків), що відіграють роль простих імен: це присвоєння служить для нумерації предметів лише з метою їх ідентифікації або для нумерації класів. Таке присвоєння цифр виконує на практиці ту ж функцію, що і найменування. Тому з цифрами, які використовуються лише як специфічні імена, не можна проводити жодних арифметичних дій. Якщо, наприклад, один із розмірів позначений A_1 , а інший A_3 , то з цього не можна робити висновок, що їх значення відрізняються втричі, а можна лише констатувати, що обидва вони відносяться до класу розмірів.

Шкала порядку передбачає впорядкування об'єктів відносно якоїсь певної їх властивості, тобто розташування їх у порядку зменшення або зростання даної властивості. Отриманий при цьому впорядкований ряд називають ранжированим рядом, а саму процедуру ранжируванням.

За шкалою порядку порівнюються між собою однорідні об'єкти, в яких значення властивостей, що цікавлять, невідомі. Тому ранжирований ряд може дати відповідь на питання: «що більше (менше)» або «що краще (гірше)». Докладнішу інформацію - на скільки більше або менше, у скільки разів краще або гірше, шкала порядку дати не може.

Результати оцінювання за шкалою порядку також не можуть піддавати жодним арифметичним діям. Проте невелике, здавалося б, удосконалення шкали порядку дозволило застосувати її для числового оцінювання величин у тих випадках, коли відсутня одиниця величини. Для цього, розташувавши об'єкти в порядку зростання (зменшення) тієї або іншої властивості, деякі точки ранжированого ряду фіксують як репери. Сукупність точок реперів утворює якісь «сходи» — шкалу можливих проявів відповідної властивості. Точкам реперів можуть відповідати цифри, названі балами і, таким чином, з'являється можливість оцінювання даної властивості в балах, за натуральною шкалою. Так, для виміру швидкості вітру в 1805 р. Бофортом була

запропонована натуральна шкала швидкості вітру в «балах Бофорта» (таблиця 3.1).

З розвитком методів і засобів вимірювання фізичних величин умовним балам натуральної шкали ставляться у відповідність числові значення в прийнятих для даної величини одиницях. Так, шкала Бофорта використовувалася до 1964 р., коли міжнародною угодою був прийнятий її перерахунок у швидкість вітру, вимірювану в метрах у секунду.

Таблиця 3.1 – натуральна шкала Бофорта

Бали	Назва	Дія	Швидкість, м/с
0	Штиль	Дим йде вертикально	0-0,9
1	Тихий	Дим йде злегка похило	0,9-2,4
2	Легкий	Відчувається особою, шелестить листя	2,4-4,4
-----	-----	-----	-----
11	Жорстокий шторм	Великі руйнування	30,5-34,8
12	Ураган	Спустошлива дія	34,8-39,2

За натуральними шкалами до цих пір оцінюються інтенсивність землетрусів, морське хвилювання, твердість мінералів і деякі інші величини.

Основним недоліком натуральних шкал є повна відсутність упевненості в тому, що інтервали між вибраними точками реперів є рівновеликими, а отже, в такій шкалі неможливо вичленувати одиницю величини і оцінити похибки отриманої оцінки.

Шкала інтервалів відрізняється від натуральної тим, що для її побудови спочатку встановлюють одиницю фізичної величини. На шкалі інтервалів відкладається різниця значень фізичної величини, самі ж значення залишаються невідомими.

Прикладами шкал інтервалів є шкали температур. На температурній шкалі Цельсія початком відліку різниці температур вважається температура танення льоду, а інтервал між температурою танення льоду і температурою кипіння води розділений на 100 рівних

інтервалів - градусів. Шкала Цельсія поширюється як у бік додатніх, так і від'ємних інтервалів.

Ділення шкали інтервалів на рівні частини, градації, встановлює одиницю фізичної величини, що дозволяє не лише виразити результат вимірювання в числовій мірі, але й оцінити похибки вимірювання.

Результати вимірювання за шкалою інтервалів можна складати один з одним і віднімати один від одного, тобто визначати, наскільки одне значення фізичної величини більше або менше іншого. Визначити за шкалою інтервалів, у скільки разів одне значення величини більше або менше іншого, неможливо.

Шкала відношень є інтервальною шкалою з природним початком. Якщо, наприклад, за початок температурної шкали прийняти абсолютний нуль (нижчої температури в природі бути не може), то за такою шкалою вже можна відлічувати абсолютне значення температури і визначати не лише, на скільки температура одного тіла більша від температури іншого, але і в скільки разів більша або менша.

Шкала відношень є найдосконалішою, найбільш інформативною. Результати вимірювання за шкалою відношення можна складати між собою, віднімати, перемножувати або ділити.

Вимірювана інформація, що виникає при взаємодії засобу вимірювання з об'єктом вимірювання, перетворюється так, щоб у результаті отримати результат вимірювання у вигляді іменованого числа в явному вигляді. Проте в техніці широко поширені інформаційні структури і процеси, в яких вимірювана інформація необхідна і використовується у формі сигналу вимірюваної інформації (наприклад, електричного) і є початковою для вирішення завдань, кінцевою метою яких є не здобуття оцінки значення фізичної величини в прийнятих одиницях, а формування на основі обробки і аналізу цього сигналу конкретних думок, логічних висновків про об'єкт (типу «придатний — непридатний», «справний — несправний», «більше — менше»). До таких завдань належать контроль якості, діагностування технічного стану систем і машин, управління технологічними процесами і інш. Процеси здобуття вимірювальної інформації у формі сигналу вимірювальної інформації також відносять до вимірювань за умови, що ця інформація отримана за допомогою технічних засобів шляхом порівняння вимірюваної фізичної величини з її одиницею.

3.4.2 Методи вимірювання

За способом знаходження шуканого значення вимірюваної величини розрізняють прямі, непрямі, спільні і сукупні вимірювання.

Пряме вимірювання - при якому значення величини знаходять безпосередньо за свідченнями засобів вимірювання.

Непряме вимірювання - при якому значення величини знаходять розрахунком за відомими залежностями їх від декількох величин аргументів, що вимірюються прямо. Іншими словами, шукане значення фізичної величини розраховують за формулою, а значення величин, що входять у формулу, отримують вимірюванням.

Спільні вимірювання - одночасні вимірювання двох або декількох різнорідних величин для встановлення залежності між ними (ряд одночасних, прямих вимірювань електричного опору провідника і його температури для встановлення залежності опору від температури).

Сукупні вимірювання — одночасне вимірювання декількох однойменних величин, при яких значення величин знаходять вирішенням системи рівнянь, що отримуються при прямих вимірюваннях різних поєднань цих величин (знаходження значень маси окремих гир набору по відомому значенню маси однієї з гир).

Прості вимірювання – отримані за допомогою однократного відліку значень фізичної величини.

Статистичні виміри - отримані за допомогою багатократного відліку значень з подальшою статистичною обробкою їх результатів.

При вимірюванні значення фізичної величини знаходиться за допомогою зіставлення її з мірою, що матеріалізує одиницю цієї величини. Залежно від способу використання міри розрізняють методи безпосередньої оцінки і методи порівняння.

При вимірюванні *методом безпосередньої оцінки* значення величини визначають безпосередньо по відліковому пристрою засобу вимірювання, який проградуєований у відповідних одиницях.

При вимірюванні *методом порівняння* з мірою вимірювану величину порівнюють з величиною, відтворюваною мірою (наприклад, порівняння маси на вагах важелів). Відмінною рисою методів порівняння є безпосередня участь міри у процедурі вимірювання або наявність пристрою порівняння.

Метод порівняння з мірою має декілька різновидів: нульовий метод, диференційний метод, метод заміщення і метод збігу.

Нульовий метод - метод порівняння з мірою, в якому результуючий ефект дії вимірюваної величини і зустрічної дії міри на пристрої порівняння зводять до нуля (лабораторні ваги).

Диференційний метод - різниця між вимірюваною величиною і величиною, відтвореною мірою, відлічується за шкалою приладу.

Метод заміщення - метод порівняння з мірою, в якому вимірювану величину заміщають відомою величиною, відтворюваною мірою.

Метод збігу - різниця між вимірюваною величиною і величиною відтворюваною мірою вимірюють, використовуючи збіги відміток шкал або періодичних сигналів (збіг відміток на основній і ноніусній шкалах; вимірювання за допомогою стробоскопа).

3.4.3 Засоби вимірювань

Засобами вимірювань називають технічні пристрої, які мають нормовані метрологічні характеристики і беруть участь у вимірюваннях. За конструктивним виконанням і формою подання вимірюваної інформації засобу вимірювань розділяються на вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні системи, вимірювальні перетворювачі.

Міра — засіб вимірювання, призначений для відтворення одного або декількох фіксованих значень фізичної величини (міра маси - гиря, міра індуктивності - зразкова котушка індуктивності, багатозначна міра індуктивності - магазин індуктивностей).

Вимірювальний прилад — засіб вимірювань, призначений для відтворення сигналу вимірюваної інформації у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Залежно від форми подання інформації розрізняють аналогові і цифрові прилади. *Аналоговим* називають вимірювальний прилад, свідчення якого є безперервною функцією вимірюваної величини, наприклад стрілочний вольтметр, ртутно-скляний термометр. У *цифровому* приладі здійснюється перетворення аналогового сигналу вимірювальної

інформації в цифровий код, і результат вимірювання відбивається на цифровому табло.

Вимірювальна установка — сукупність функціонально об'єднаних засобів вимірювань і допоміжних пристроїв, призначена для відтворення сигналу вимірювальної інформації у формі, зручній для безпосереднього сприйняття спостерігачем і розташована в одному місці.

Вимірювальна система — сукупність засобів вимірювань і допоміжних пристроїв, сполучених між собою каналами зв'язку, призначена для відтворення сигналів вимірювальної інформації у формі, зручній для автоматичної обробки, передавання і (або) використання в системах управління, контролю, діагностування і інш.

Вимірювальний перетворювач — засіб вимірювань, призначений для перетворення сигналів вимірювальної інформації у форму, доцільну для передавання, обробки або зберігання. Вимірювальна інформація на виході вимірювального перетворювача, як правило, недоступна для безпосереднього сприйняття спостерігачем. Вимірювальні перетворювачі дуже різноманітні, проте всі вони мають нормовані метрологічні характеристики. Так, до вимірювальних перетворювачів відносяться термопари, вимірювальні трансформатори струму і напруги, вимірювальні підсилювачі і ін.

3.4.4 Похибки вимірювань

Будь-які вимірювання направлені на здобуття результату, тобто оцінки дійсного значення фізичної величини в прийнятих одиницях. Внаслідок недосконалості засобів і методів вимірювань, дії зовнішніх чинників і багатьох інших причин результат кожного вимірювання неминуче має похибку.

Похибка вимірювання є кількісною характеристикою вимірювань і визначається як різниця між виміряним і дійсним значеннями вимірюваної величини. Оскільки дійсне значення вимірюваної величини невідоме, то на практиці воно замінюється на дійсне значення вимірюваної величини і похибка розраховується як різниця між виміряним і дійсним значеннями.

Похибка, отримана таким чином, має розмірність вимірюваної величини і називається *абсолютною похибкою*. Використовується також поняття відносної похибки, вираженої в долях вимірюваної величини. *Відносні похибки* і виражають прийнятими в системі СІ відносними величинами: безрозмірним числом, у відсотках і ін. Перевагу слід надавати вираженню погрішності вимірювань у формі відносної похибки як найбільш інформаційної, що дає можливість об'єктивно зіставляти результати і оцінювати якість вимірювань, виконаних у різний час або різними експериментаторами.

Наприклад, вимірявши довжину стрижня 1000 мм з похибкою 10 мм (тобто з відносною погрішністю 0,01 або 1%) і відстань 1 км. з такою ж абсолютною похибкою 10 мм (тобто з відносною похибкою $1 \cdot 10^{-5}$ або $1 \cdot 10^{-3} \%$), ми приходимо до висновку, що хоча абсолютна похибка вимірювання в обох випадках однакова, перший вимір є досить грубим, а другий виконано з високою точністю.

Позитивною характеристикою якості вимірювань є точність виміру. Точність і похибка зв'язані оберненою залежністю - вимір тим більше точний, чим менша його похибка. Кількісна точність виражається числом, рівним оберненому значенню відносної похибки. Так, якщо похибка вимірювання складає $2 \cdot 10^{-5}$, то точність його $5 \cdot 10^{-4}$.

В основі сучасних підходів до оцінювання похибок лежать принципи дослідження і оцінки похибки за допомогою певної моделі (систематична, випадкова, методична, інструментальна і ін.). На вибраній моделі визначають характеристики, придатні для кількісного вираження тих або інших її властивостей. Завданням обробки даних при вимірюваннях є знаходження оцінок цих характеристик. Необхідно пам'ятати, що похибки вимірювань визначають лише зону імовірності, тобто дають уявлення про те, якого порядку цифри в числовому значенні результату є сумнівними. Характеристики похибки (показники точності) оцінюють приблизно. Точність оцінок узгоджується з метою вимірювання. Залежно від поставленого завдання похибка виміру може оцінюватися з різною точністю.

Розрізняють вимірювання з «точним» (з найвищою досяжною точністю), наближеним і попереднім оцінюванням похибок.

При *вимірюваннях з «точним» оцінюванням* похибки враховуються індивідуальні метрологічні властивості і характеристики кожного з використаних засобів вимірювання,

аналізується метод вимірювань, контролюються умови вимірювання з метою обліку їх впливу на результат вимірювання.

При *вимірюваннях з наближеним оцінюванням* похибок враховують лише нормативні, типові метрологічні характеристики засобів вимірювань і оцінюють вплив на результат вимірювання лише відхилень умов вимірювання від нормальних.

Вимірювання з попереднім оцінюванням похибок виконується за типовими методиками виконання вимірювань, регламентованих нормативно-технічною документацією, в яких вказуються методи і умови вимірювань, типи і похибки використовуваних засобів вимірювань і, на основі цих даних, заздалегідь оцінена і вказана в методиці можлива похибка результату. В інженерній практиці, як правило, мають справу з наближеним і попереднім оцінюванням похибок технічних вимірювань. Для технічних вимірювань допустимою вважається похибка 15...20%.

Похибка результату кожного конкретного виміру складається з багатьох складових, зобов'язаних своїм походженням різним чинникам і джерелам. Обов'язковими складовими будь-якого виміру є: засіб вимірювання, метод вимірювання і людина, яка проводить вимірювання. Недосконалість кожного з цих компонентів призводить до появи своєї складової в похибці результату. Відповідно до цього, за джерелом виникнення розрізняють *інструментальні, методичні і особисті* похибки. Традиційний аналітичний підхід до оцінювання похибок результату полягає у виділенні цих складових, вивченні їх окремо і подальшому підсумуванні. Знаючи властивості і оцінивши кількісні характеристики складових похибок, можна правильно врахувати їх при оцінюванні похибок результату або, якщо це можливо, ввести поправки в результат вимірювань. Виділивши і оцінивши окремі складові похибок, інколи виявляється можливим так організувати вимірювання, щоб ці складові не впливали на результат. Природно, що класифікувати похибки можна за багатьма ознаками. В цілях одноманітності підходу до аналізу і оцінювання похибок у метрології прийнята наступна класифікація.

Систематичною похибкою вимірювання називають похибку, яка при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах залишається постійною або закономірно змінюється. Джерелом систематичної похибки може послужити: експериментатор, метод вимірювань або засоби вимірювання (знос інструменту, збій в

строюванні шкали ноніуса, коливання температури навколишнього повітря і викликана цим зміна коефіцієнта тертя в рухомих вузлах вимірювального приладу, вплив електричних і магнітних перешкод і інш). Оцінювання систематичних складових являє собою досить важке метрологічне завдання. Важливість його визначається тим, що знання систематичної похибки дозволяє внести відповідну поправку до результату вимірювання і тим самим підвищити його точність. Утруднення полягає в складності виявлення систематичної похибки, оскільки вона не може бути виявлена шляхом повторних вимірювань (спостережень). Насправді, будучи постійною за величиною для цієї групи спостережень, систематична похибка ніяк візуально не виявиться при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини і, отже, експериментаторові важко відповісти на питання - чи є систематична похибка в спостережуваних результатах. Таким чином, проблема виявлення систематичних похибок є чи не головною в боротьбі з ними. Постійні інструментальні систематичні похибки, як правило, виявляють за допомогою перевірки засобу вимірювань або методом заміщення вимірюваної величини еталоном.

Випадковою похибкою вимірювання називають похибку, яка при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини в одних і тих же умовах змінюється нерегулярно, непередбачувано за знаком і (або) величиною.

Для кількісної оцінки випадкових похибок і встановлення їх границь можуть використовуватися: інтервальна оцінка граничної похибки, числові характеристики закону розподілу. Вибір конкретної оцінки визначається необхідною повнотою знань про похибку, призначенням вимірювань і характером використання їх результатів. Комплекси оцінок показників точності встановлені стандартами.

Більш універсальними і інформативними є квантильні оцінки. Площа під всією кривою щільності розподілу похибок відображає імовірність всіх можливих значень похибок і за умовами нормування дорівнює одиниці. Цю площу можна розділити вертикальними лініями на частини. Абсциси таких ліній називаються *квантилями*. Так, на рисунку 3.2 Δx_1 є 25 %-а квантиль, оскільки площа під кривою $f(\Delta x)$ зліва від її становить 25% всієї площі. Абсциса Δx_2 відповідає 75 %-вий квантилі. Між Δx_1 і Δx_2 розміщено 50% всіх можливих значень похибок, а останні лежать поза цим інтервалом.

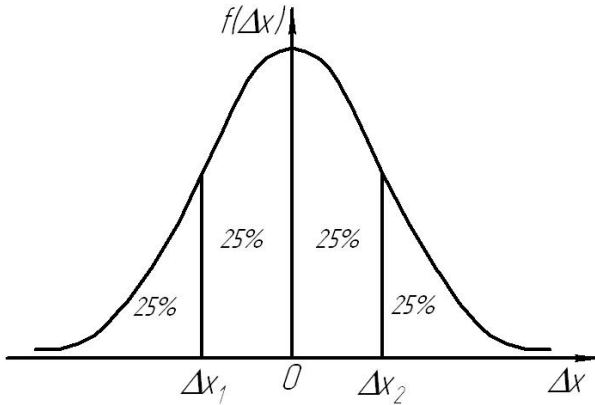


Рисунок 3.2 - Квантильні оцінки

Квантильна оцінка похибки представляється інтервалом від $-\Delta x(P)$ до $+\Delta x(P)$, на якому із заданою імовірністю P зустрічаються $P-100\%$ всіх можливих значень випадкової похибки. Інтервал з границями $\pm\Delta x(P)$ називається *довірчим інтервалом* випадкової похибки, а відповідна йому імовірність - *довірчою імовірністю*. Прийнято границі довірчого інтервалу (довірчі границі) вказувати симетричними щодо результату вимірювання. Довірчі границі випадкової похибки $\Delta x(P)$, відповідні довірчій імовірності P , знаходять за формулою:

$$\Delta x(P) = t\sigma \quad (3.1)$$

де t - коефіцієнт, залежний від P і закону розподілу.

У практиці вимірювань зустрічаються різні закони розподілу, проте найчастіше мають справу з нормальним і рівномірним розподілом щільності імовірності. Нормальний розподіл випадкових похибок виникає, коли на результат вимірювання діє безліч випадкових збурень, жодне з яких не є переважаючим. При нормальному розподілі похибок прийнятий довірчий інтервал оцінки випадкової похибки з границями $\pm 3\sigma$ і довірчою імовірністю $P = 0,997$. Похибки, які виходять за ці границі, класифікують як грубі або промахи.

За умовами виникнення похибки розділяють на основні, які обумовлені в нормативно-технічній документації, і додаткові, обумовлені виходом значень впливаючих величин за допустимі межі. Для оцінювання впливу додаткових похибок на засіб вимірювань, як правило, вказують норми зміни показів при виході умов вимірювання за межі нормальних.

У засобів вимірювання часто можна виділити складові похибки, не залежні від значення вимірюваної величини і похибки, що змінюються пропорційно вимірюваній величині. Такі складові називають, відповідно, адитивними і мультиплікативними похибками. *Адитивною*, наприклад, є систематична похибка, викликана неточною установкою нуля в стрілочному приладі з рівномірною шкалою; *мультиплікативною* — похибка вимірювання відрізків часу відстаючими або такими, що квапляться, годинниками. Ця похибка зростатиме за абсолютною величиною.

Високий рівень технічних вимірювань на машинобудівних підприємствах є неодмінною умовою забезпечення якості і взаємозамінності виробів. Контроль геометричних параметрів виробів у машинобудуванні зводиться до вимірювання довжин і кутів. До вимірювальних засобів, призначених для перевірки цих величин, відносяться різні категорії і типи інструментів і приладів — від простих калібрів до складної контрольної апаратури.

Методи вимірювань, здійснювані за допомогою цих засобів, у виробничій практиці розділяють на абсолютний метод вимірювання, при якому проводиться відлік всієї вимірюваної величини (наприклад, за допомогою штангенциркуля), і відносний, або порівняльний метод, при якому відбувається відлік відхилень вимірюваної величини від еталону (наприклад, вимірювання за допомогою індикатора годинникового типу). Прилади, призначені в основному для відносних методів вимірювань, можна використовувати для абсолютних методів вимірювань у всіх тих випадках, коли значення вимірюваної величини не перевищує межі вимірювань за шкалою приладу. Так, наприклад, до абсолютних методів вимірювань відноситься перевірка малих діаметрів за допомогою індикатора, без попередньої установки його за кінцевими мірами довжини, а також перевірка відхилень від правильної геометричної форми (конусність, овальність, биття, огранка і ін.) за допомогою будь-яких важільних приладів.

Розрізняють також прямий метод і непрямий метод. При *прямому* методі безпосередньо визначають шукану величину або відхилення від неї за показами приладу; при *непрямому* методі шукана величина або відхилення від неї визначаються за результатами прямих вимірювань іншої величини, зв'язаної з шуканою певною залежністю (наприклад, вимірювання кута за допомогою синусної лінійки).

Необхідно також розмежувати контактні методи вимірювань і безконтактні. При *контактних* методах вимірювань розрізняють поверхневий контакт (наприклад, перевірка скоби мірною плиткою або отвору циліндричною пробкою), лінійний контакт (наприклад, перевірка вала скобою або перевірка циліндричної деталі на приладі з плоским циліндричним наконечником) і точковий контакт (наприклад, вимір отвору по штихмасу або перевірці циліндричної деталі на приладі з сферичним наконечником). До *безконтактних* методів вимірювань відносяться, зокрема, проєкційні методи вимірювань (за допомогою проєкторів і мікроскопів), а також *пневматичні* методи.

Особливе значення при виборі методів вимірювань має їх розподіл на комплексні і диференційовані методи. При *комплексному* методі вимірювань обмежуються граничні контури об'єктів, які перевіряються, і, таким чином, витримується сумарний допуск, що включає похибки всіх складових елементів. Цей метод вимірювань практично здійснюється за допомогою калібрів. Комплексний метод вимірювань може бути також здійснений за допомогою проєкторів, якщо контрольований об'єкт повністю проєктується на екран, де за задалегідь викресленому в збільшеному масштабі кресленню встановлюється, чи вписується дійсний контур у поле допуску на всій довжині з'єднання.

Диференційований метод вимірювань полягає у незалежній перевірці кожного елемента окремо.

З метрологічних показників вимірювальних засобів найбільше значення мають:

ціна ділення шкали приладу — значення вимірюваної величини, що відповідає одному діленню шкали;

інтервал ділення шкали або ділення шкали — відстань між осями або центрами рядом лежачих штрихів;

точність відліку — точність, досягнута при визначенні відліку на даному приладі;

межі вимірів за шкалою приладу і межі вимірів приладу в цілому, усередині яких покази підкоряються установленим нормам (наприклад, межі вимірювань за шкалою мініметра і межі вимірювань по габаритах стійки, в якій закріплена голівка мініметра);

поріг чутливості — найменша зміна значення вимірюваної величини, здатна викликати щонайменшу зміну показань приладу;

вимірювальне зусилля — зусилля, яке з'являється в процесі вимірювань при контакті вимірювальних поверхонь приладу або інструменту з контрольованим об'єктом;

похибка показів — різниця між показаннями приладу і дійсним значенням вимірюваної величини.

Спільна характеристика приведених вище показників зводиться до наступного.

Ціна ділення шкали m визначається передаточним відношенням приладу i і інтервалом ділення s :

$$i = \frac{s}{m}. \quad (3.2)$$

Прагнення зменшити ціну ділення шляхом зближення сусідніх штрихів шкали обмежується необхідною точністю відліку, яка тим вище (при ціні ділення і кваліфікації контролера), чим більше інтервал ділення. Це положення виправдовується лише у відомих межах, оскільки при дуже великій відстані між штрихами важко оцінка долі інтервалу ділення наочно. Оптимальна відстань між поряд розташованими штрихами шкали повинно знаходитись в межах 1 - 2,5 мм.

Межі вимірювання за шкалою приладу і приладу в цілому безпосередньо пов'язані з сферою його застосування. У збільшенні меж вимірювання за шкалою споживач зацікавлений навіть при найменшій ціні ділення, оскільки у виробничих умовах часто виникає необхідність в контролі виробів з порівняно великими допусками при жорстких відхиленнях від правильних геометричних форм. Наявність більшої межі вимірювання за шкалою дозволяє проводити вимірювання партії таких виробів без перестановки

приладу (наприклад, вимірювання ширини кілець шарикопідшипників з жорстким допуском на відхилення від паралельності при порівняно великому допуску на самий розмір кільця). Можливість збільшення межі вимірювання за шкалою важільних приладів обмежується пов'язаними з кінематикою приборів похибками, головним чином непропорційністю лінійних переміщень вимірювального стрижня і кутових переміщень індексу.

Поріг чутливості набуває виняткового значення при перевірці виробів на биття і на відхилення від паралельності, коли не арретують наконечник приладу. Для таких операцій контролю мають значення також і похибки зворотного ходу, які визначаються різницею між показами, отриманими при русі вимірювального наконечника в прямому і зворотному напрямках. Величина порогу чутливості, а також похибки зворотного ходу (якщо ця похибка виражається в суттєвих величинах) мають бути регламентовані незалежно від похибок показань приладу. Перевірку порогу чутливості і похибки зворотного ходу можна здійснювати за допомогою ексцентрика, переміщуваного наконечником вгору і вниз до спільного положення, відміченого на ексцентриці, або аналогічним способом за допомогою клину.

Необхідно розрізнити похибку власне вимірювального засобу і похибку методу вимірювання, здійснюваного за допомогою цього засобу.

Похибка методу вимірювання визначається сукупністю впливу таких основних чинників:

- похибка показань прилада;
- похибка мірних плиток (або зразків іншої форми), за якими встановлюється прилад;
- похибка, викликана відхиленням від нормальної температури;
- похибка, що викликається вимірювальним зусиллям прилада.

Плитки, за якими встановлюється прилад, можуть застосовуватися з урахуванням похибок по атестату (за розрядами) і без врахування похибок за атестатом (за класами точності). У обох випадках ці похибки, так само як і вибір різних розрядів і класів точності, залежать від допусків контролюємих об'єктів (регламентовані ОСТ 85000-39).

Похибка, пов'язана з відхиленням від нормальної температури, викликається: а) незакінченим вирівнюванням температур

контрольованого об'єкту і вимірювального засобу; б) різницею коефіцієнтів лінійного розширення контрольованого об'єкту і вимірювального засобу. Ця похибка може бути виражена формулою

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2), \quad (3.3)$$

де Δl — помилка виміру; l — номінальне значення вимірюваної величини; α_1 , — коефіцієнт лінійного розширення вимірюваного об'єкту; α_2 — коефіцієнт лінійного розширення вимірювального засобу; $\Delta t_1 = 20 - t_1$ — різниця між нормальною температурою і температурою вимірюваного об'єкту; $\Delta t_2 = 20 - t_2$ — різниця між нормальною температурою і температурою вимірювального засобу.

Різницю температур вимірюваного виробу і вимірювальних засобів можна зробити як завгодно малою, якщо витримати протягом певного часу виріб у приміщенні перевірного пункту. Час, необхідний для такого вирівнювання температур, може бути значно зменшений при використанні для цієї мети чавунних плит і емульсії. Так, для охолодження циліндричної пробки $\varnothing 50$ мм з 30 до 20°C потрібно 14 хв. витримання в емульсії, 28 хв. на чавунній плиті і 4 год. 15 хв. на дерев'яному столі. Різниця коефіцієнтів лінійного розширення практично досягається $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ при вимірюванні калібрів за кінцевими мірами і $\pm 4 \cdot 10^{-6}$ при вимірюванні сталевих виробів. При вимірюванні виробів з інших металів похибку визначають, виходячи з різниці середніх коефіцієнтів лінійного розширення сталі ($11,5 \cdot 10^{-6}$) і матеріалу виробу.

Похибка, пов'язана з вимірювальним зусиллям, викликається змін'яттям поверхонь нерівностей, пружними деформаціям стійок або скоб, в яких закріплені вимірювальні голівки, стискуванням вимірюваного об'єкту або сплющенням, що супроводжується деформаціями в місці контакту з вимірювальним наконечником. Найбільш істотні похибки від вимірювального зусилля, пов'язані з пружними деформаціями стійок і скоб, компенсуються ідентичними умовами установки і експлуатації приладу. Так, наприклад, деформація дуги мікрометра, пов'язана з вимірювальним зусиллям триціткі, не викликає безпосередньо похибки вимірювання виробу, оскільки ця деформація мала місце при установці мікрометра на нуль.

У процесі перевірки виробів деформації будуть позначатися на результатах вимірювань лише в залежності від коливання вимірювального зусилля. Цим пояснюється прагнення стабілізувати вимірювальне зусилля у всьому діапазоні вимірювань даного приладу.

При визначенні сумарної похибки методу вимірювання за окремими складових користуються правилами підсумовування випадкових похибок.

Якщо окремі складові сумарної похибки є незалежними і випадковими похибками і їх розсіювання характеризується величинами дисперсій $D(x_1)$, $D(x_2)$... $D(x_n)$, то середня квадратична похибка методу вимірювання $\sigma_{\text{сум}}$ визначиться з формул:

Дисперсія суми:

$$D(x_{\text{сум}}) = D(x_1) + D(x_2) + \dots + D(x_n); \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\text{сум}} = \sqrt{D(x_{\text{сум}})} = \sqrt{D(x_1) + D(x_2) + \dots + D(x_n)}. \quad (3.5)$$

Приймаючи для суми розподіл за нормальним законом, гранична похибка методу вимірювання

$$\Delta \lim_{\text{сум}} = 3\sigma_{\text{сум}}. \quad (3.6)$$

При розподілі похибок окремих складових за нормальним законом (що, як правило, відповідає практичним умовам у вимірювальній техніці) гранична похибка вимірювання визначається безпосередньо за формулою:

$$\Delta \lim_{\text{сум}} = \sqrt{\Delta \lim_1^2 + \Delta \lim_2^2 + \dots + \Delta \lim_n^2}, \quad (3.7)$$

де $\Delta \lim_1, \Delta \lim_2, \dots, \Delta \lim_n$ - граничні похибки складових.

Приклад. Потрібно визначити граничну похибку методу вимірювання калібра-пробки розміром 100 мм на горизонтальному оптиметрі по плитках 1-го класу точності при допустимому відхиленні від нормальної температури $\pm 3^\circ\text{C}$ (згідно додатку 2 до ОСТУ 85000-39).

Гарантований допуск на неточність виготовлення калібру за ОСТом 1202 становить $4\ \mu$.

Гранична похибка показів самого оптиметра становить згідно з дослідними даними

$$\Delta \lim_1 = 0,3\ \mu . \quad (3.8)$$

Гранична похибка, пов'язана з відхиленням від нормальної температури, приймаючи різницю коефіцієнтів лінійного розширення в блоків плиток і пробки рівною $2 \cdot 10^{-6}$, складе

$$\Delta \lim_2 = (3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 100) = 0,6\ \mu . \quad (3.9)$$

При цьому передбачаємо практично повне вирівнювання температур контролюваного об'єкту і вимірювального засобу.

Гранична похибка плиток 1-го класу точності згідно з ОСТом 83000-39 становить:

$$\Delta \lim_3 = 0,6\ \mu . \quad (3.10)$$

При цьому нехтуємо впливом проміжних (притиральних) шарів ($0,02 - 0,03\ \mu$), що можуть збільшити розмір блоку.

Оскільки приведені вище похибки є випадковими і незалежними і їх розподіл підлягає закону Гауса, сумарна похибка методу вимірювання складе

$$\Delta \lim_{\text{сум}} = \sqrt{(0,3)^2 + (0,6)^2 + (0,6)^2} = 0,9\ \mu \approx 1\ \mu \quad (3.11)$$

У таблиці 1 наведені величини граничних похибок найбільш поширених методів вимірювань довжин в машинобудуванні при перевірці виробів з інтервалами розмірів 1 - 10, 50 - 80 і 360 - 500 мм.

Таблиця 3.2 - Граничні похибки найбільш поширених методів вимірювання довжин

Найменування приладів і інструментів	Кінцеві міри		Інтервали розмірів в мм		
	розряд	клас точності	1-10	50-80	360-500
			Граничні похибки в μ		
Оптиметри горизонтальний і вертикальний, вимірювальні машини типу Цейсса і СИП (при вимірюванні зовнішніх розмірів)	3	0	0,35	0,6	1,8
	4	1	0,4	0,8	3,0
	5	2	0,7	1,3	4,5
Оптиметр горизонтальний, вимірювальна машина типу Цейсса (при вимірюванні внутрішніх розмірів)	3	0	-	1,1	-
	4	1	-	1,3	-
	5	2	-	1,8	-
Мініметр з ціною ділення 0,001 мм	3	0	0,5	0,8	1,8
	4	1	0,6	1,0	3,0
	5	2	0,7	1,4	4,5
	6	3	1,0	2	8
Мініметр з ціною ділення 0,002 мм	4	1	1,0	1,4	3,5
	5	2	1,2	1,8	5
	6	3	1,4	2,5	8

3.5 Вимірювання геометричних розмірів

Виготовлення виробів машинобудування, мікроелектроніки, оптоелектроніки і обчислювальної техніки пов'язане з обробкою матеріалів за заданими розмірами, формою і якістю поверхні. При цьому якість виробів контролюється засобами вимірювання геометричних величин. За прийнятою класифікацією, до техніки вимірювань геометричних величин відносять вимірювання довжин і кутів, відхилень розмірів, форми і розташування поверхонь, параметрів конусів, різей і зубчастих коліс.

Область лінійно-кутових вимірювань характеризується величезною кількістю вимірювальних завдань і об'єктів вимірювань. Так, вимірювання відхилень форми і розташування поверхонь включають вимірювання параметрів шорсткості, відхилень від паралельності, биття, відхилень від перпендикулярності, ексцентриситетів і інш. Велика кількість вимірювальних завдань виникає і при контролі якості конусів, різей і зубчастих коліс. Одне з головних місць у лінійно-кутових вимірюваннях займає вимірювання довжини. Діапазон лінійних розмірів, які потребують вимірювань, від доль мікрометра (при вимірюванні мікронерівностей поверхні) до десятків міліметрів (у електроніці) і метрів (у машинобудуванні).

Методи і засоби вимірювань геометричних величин поділяють на декілька груп, основними з яких є групи механічних і оптико-механічних приладів. Вибір засобів вимірювань виконується відповідно до державних стандартів (наприклад ГОСТ 8.051 – 81), які встановлюють допустимі похибки вимірювання залежно від граничних відхилень контрольованого параметру.

На результат вимірювання значною мірою впливають: температура навколишнього середовища, атмосферний тиск, вологість, вібрація і інш. Для запобігання додаткових похибок, що викликаються умовами вимірювання, державним стандартом встановлюються такі вимоги до проведення лінійних і кутових вимірювань:

- температура навколишнього середовища 20 °С;
- атмосферний тиск 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);
- відносна вологість навколишнього повітря 58 %;
- прискорення вільного падіння 9,8 м/с²;

- направлення лінії вимірювання лінійних розмірів до 160 мм зовнішніх поверхонь — вертикальне, в решті випадків — горизонтальне;

- відносна швидкість вимірювання кутів, рівна нулю.

Метрологи беруть участь у виборі вимірювальних засобів спільно з технологами виробництва і конструкторами виробу, розробляють інструкції щодо вибору засобів вимірювання і рекомендації з оснащення виробництва ними.

3.5.1 Механічні засоби вимірювання довжини

Розрізняють засоби лінійних і кутових вимірювань спільного призначення і вузькоспеціалізовані. До механічних засобів спільного призначення відносяться штангенінструменти, штрихові і кінцеві міри довжини, мікрометричні прилади і вимірювальні голівки.

Штриховими мірами довжини називаються міри, в яких розмір, виражений в одиницях довжини, визначається відстанню між осями двох відповідних штрихів. Штриховими мірами є вимірювальні лінійки, рулетки, брускові штрихові міри.

Брускові штрихові міри довжини – це металеві або скляні бруски різного перетину з нанесеними на них штрихами або шкалами. Ці міри застосовуються як для безпосереднього вимірювання лінійних розмірів, так і як шкали приладів і верстатів.

Основні типи, параметри і розміри брускових штрихових мір стандартизовані. Промисловістю випускаються міри брусків з номінальною довжиною 60...2000 мм. Відхилення, що допускаються, від номінальної довжини нормуються шістьма класами точності, з умовним позначенням цифрами від 0 до 5. Найменша ціна поділки мір брусків довжини 0,01 мм.

Плоско-паралельні кінцеві міри довжини (ПКМД) відтворюють одиницю довжини одного фіксованого розміру і виконуються у вигляді прямокутного паралелепіпеда зі сталі або твердого сплаву з двома взаємно паралельними вимірювальними поверхнями. Відстань між вимірювальними поверхнями визначена з високою точністю. Вимірювальні поверхні відрізняються від інших поверхонь міри малою шорсткістю, завдяки чому ПКМД мають здатність притиратися

вимірювальними поверхнями і щільно зчіплюватися з вимірювальною поверхнею іншої міри завдяки силам молекулярної взаємодії поверхонь.

ПКМД випускаються в наборах з кількістю мір різного номіналу від 10 до 112. Номінальні розміри мір стандартизовані, і завдяки притиранню мір можливо зібрати з них блок необхідної довжини (від 0,1 до 1000 мм).

Залежно від точності виготовлення, ПКМД відносять до класів точності 00; 01; 0; 1; 2; 3.

Перед притиранням вибрані для складання блоку міри очищають від мастила, промивають бензином і витирають насухо чистою серветкою. Після цього торкатися руками до вимірювальної поверхні не можна. Підготовлені таким чином міри притирають шляхом насунання однієї міри на іншу.

3.5.1.1 Штангенінструменти

Штангенінструменти — до них відносять засоби лінійних вимірювань, об'єднані спільним принципом відліку розмірів, що ґрунтується на використанні лінійного ноніуса. Залежно від призначення, розрізняють штангенциркулі, штангенглибиноміри, штангенрейсмуси.

Штангенцикуль — універсальний засіб вимірювання довжини, діаметрів валів і отворів, глибини отворів і відстаней між центрами отворів.

Штангенглибиномір призначений для вимірювань глибини отворів, пазів і інш.

Штангенрейсмус — засіб вимірювання висотних розмірів виробів.

Принцип побудови ноніуса полягає в поєднанні відповідних штрихів двох лінійних шкал, інтервали ділення яких відрізняються на певну величину. Штангенінструмент (рисунок 3.3) складається з штанги 1 з нерухомою вимірювальною губкою і рамки 2, що переміщується по штанзі, з іншою вимірювальною губкою. На штанзі нанесена шкала з ціною поділки 1 мм. На скосі рамки нанесена

допоміжна шкала 5, названа ноніусом, з ціною поділки 0,9 мм, по якій відлічуються дробові долі міліметра.

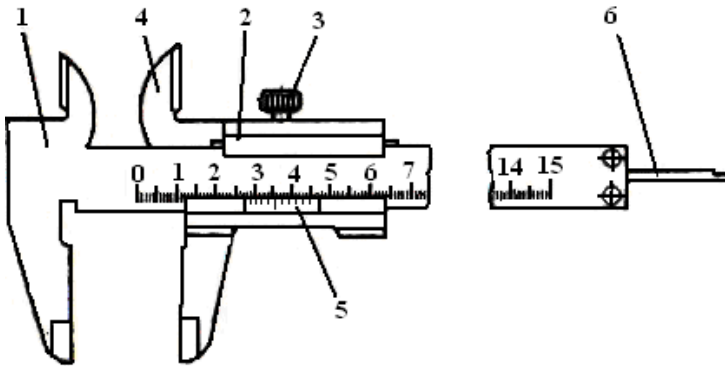


Рисунок 3.3 - Штангенциркуль

Для фіксації рамки на робочій частині штанги служить гвинт 3. Рамка жорстко пов'язана з лінійкою глибиноміра 6. Верхні губки 4 призначені для вимірювання внутрішніх розмірів, а нижні — зовнішніх.

При поєднанні нульової відмітки шкали ноніуса з нульовою відміткою шкали штанги перша за нульовою відмітка шкали ноніуса буде зміщена щодо першої відмітки шкали штанги на 0,1 мм, відповідно, друга відмітка шкали ноніуса буде зміщена на 0,2 мм, а десята на 1 мм, тобто остання відмітка шкали ноніуса точно співпадає з відміткою 0,9 мм на шкалі штанги.

При вимірюванні ціле число міліметрів, яке містить розмір деталі, визначається цілим числом інтервалів основної шкали, відрахованим нульовою поділкою шкали ноніуса. Дробова доля міліметра дорівнює порядковому номеру шкали ноніуса, який збігається з певним штрихом штанги, помноженому на величину підрахунку по ноніусу.

Так, виміряне значення на рисунку 3.3 буде рівне, $7 + 0,1 \cdot 1 = 7,1$ мм. Таким чином, за допомогою ноніуса можна провести відлік розміру з точністю до 0,1 мм. У штангенінструментах часто

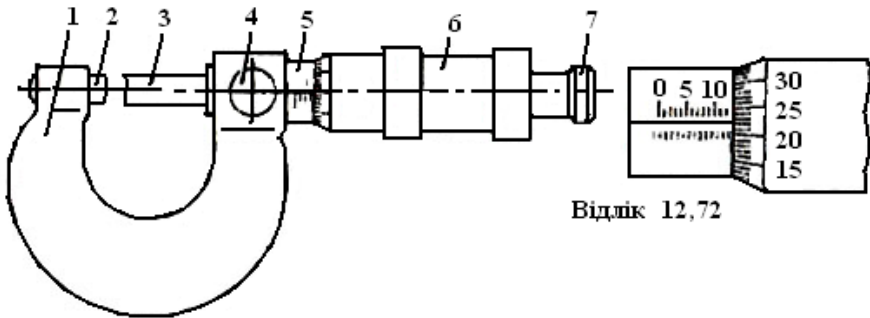
застосовується розтягнутий ноніус, що забезпечує відлік розміру до 0,05 мм.

У деяких сучасних моделях штангенінструментів замість ноніуса застосовуються індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

3.5.1.2 Мікрометричні інструменти

Мікрометричні інструменти (мікрометри, мікрометричні глибиноміри, мікрометричні нутроміри) є більш точними ніж штангенінструменти. Принцип дії мікрометричних інструментів ґрунтується на перетворенні обертального руху точного мікрометричного гвинта, встановленого в нерухому гайку, в його поступову ходу уздовж осі. Більшість мікрометричних інструментів мають гвинт із кроком 0,5 мм, тому поворот гвинта в гайці на 360° приводить до його переміщення уздовж осі на 0,5 мм.

Мікрометр (рисунок 3.4) складається зі скоби 1, з одного боку якої запресована нерухома п'ята 2, а з іншою укріплена мікрометрична голівка, що складається із стебла 5, барабана 6 у зборі з мікрогвинтом 3 і механізмом тріскачки 7.



Відлік 12,72

Рисунок 3.4 - Мікрометр

При обертанні барабана стебло здійснює поступальне переміщення до контакту з вимірюваним об'єктом. Механізм тріскачки забезпечує при цьому постійність вимірювального зусилля. Гвинт 4 фіксує положення мікрогвинта. Переміщення мікрогвинта відлічується за двома шкалами: однієї, нанесеної по довжині стебла, і другій, нанесеної по колу барабана. Поділki на стеблі нанесені через 0,5 мм, а кругова шкала барабана поділена на 50 поділок. Таким чином, одна поділка шкали барабана відповідає переміщенню мікрогвинта на $0,5/50 = 0,01$ мм.

Для мікрометричних приладів встановлено два класи точності (1 і 2). Похибки мікрометричних приладів залежать від їх діапазону вимірювань. Так, для мікрометрів з межами вимірювань 0...25 мм, класу точності 1 похибка приладу не більша $\pm 0,002$ мм, а у мікрометрів для вимірювань у діапазоні 400 - 500 мм не перевищує $\pm 0,005$ мм.

Для вимірювання лінійних розмірів прецизійних деталей мікроелектроніки і точного приладобудування випускається настільний мікрометр з цифровим електронним відліком, який забезпечує вимірювання розмірів у діапазоні 0... 10 мм з похибкою не більше $\pm 0,002$ мм.

3.5.1.3 Індикатори годинникового типу

Індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм є найбільш поширеними вимірювальними голівками. Вони призначені для роботи в цехових умовах при виконанні вимірювальних і контрольних операцій. Принцип дії індикатора ґрунтується на перетворенні за допомогою важільно-зубчастої передачі лінійних переміщень вимірювального стрижня в кутове переміщення стрілки. Лицьову сторону індикатора утворює велика кругова шкала, на якій нанесено 100 поділок з ціною кожної 0,01 мм і мала шкала з ціною поділки 1 мм. Передавальне відношення важільно-зубчастої передачі підібране таким чином, що переміщення вимірювального стрижня на 1 мм викликає поворот малої стрілки на одну поділку, а великої стрілки на 100 поділок (робить повний оберт).

Для підвищення точності підрахунку, при застосовуванні важільно-зубчастої передачі, зменшують діапазон вимірювання відрахункового механізму; на багатооберткових індикаторах до 1-2мм, на важільних скобах $\pm 0,08$ мм, на важільних мікрометрах $\pm 0,02$ мм, Вимірювальний механізм забезпечує ціну поділки 0,001 і 0,002 мм. і похибку вимірювання 0,4-1,2мкм.

Найвищу серед механічних засобів виміру геометричних розмірів точність забезпечують пружинні вимірювальні голівки, мікрокатори, мікатори і мінікатори. Ці голівки не містять кінематичних пар. Як передавальний механізм від вимірювального стрижня до стрілки використовується закручена в різні боки металева стрічка або пружина. Похибка цих приладів становить 1/2 - 1/5 частку поділки шкали.

Для закріплення індикаторів і вимірювальних голівок виготовляються допоміжні пристосування: стійки, штативи, кронштейни.

3.5.2. Оптико-механічні засоби вимірювання довжини

Оптико-механічними називають засоби вимірювання геометричних розмірів, дія яких ґрунтується на використанні законів геометричної оптики (вимірювальні мікроскопи, оптиметри) або явищ інтерференції когерентних пучків світла (інтерференційні мікроскопи, компаратори).

Поширеними приладами для лінійних і кутових вимірювань є вимірювальні проектори і вимірювальні мікроскопи.

Вимірювальні проектори призначені для проєкціювання тіньового зображення (контуру) виробів на екран і вимірювання їх лінійних і кутових розмірів шляхом безпосереднього порівняння тіньового зображення з кресленням (виконаному у відповідному масштабі) або викресленим контуром виробу. Випускаються проектори з декількома розмірами екранів (від 250х250 мм до 600х700 мм).

Стіл проектора, на якому встановлюється виріб, має можливість переміщатися в подовжньому, поперечному напрямках і по вертикалі. Переміщення столу відлічується за відповідними шкалами з ціною

поділки 0,01...0,002 мм. Похибка при вимірюванні довжин за допомогою проектора не перевищує $\pm(0,003...0,005)$ мм.

Деякі типи сучасних проекторів забезпечуються пристроями цифрового відліку переміщення вимірювального столу.

Вимірювальні мікроскопи призначені для вимірювання довжин і кутів різних деталей складної форми в прямокутній і полярній системах координат. Розрізняють декілька типів мікроскопів: малий мікроскоп інструментальний, великий мікроскоп інструментальний, а також універсальні мікроскопи. Незважаючи на конструктивні відмінності, принципова схема вимірювання у всіх мікроскопах спільна — візування різних точок деталі, яка переміщується для цього по взаємно перпендикулярних напрямках і вимірювання цих переміщень за допомогою мікрометричних або інших відлікових пристроїв. Для забезпечення кращого візування мікроскопи забезпечують змінними об'єктивами різного ступеня збільшення.

Для зручності роботи випускають вимірювальні мікроскопи з цифровим відліком і зовнішньою установкою показів на нуль. При відліку початкового показу від нуля результат виміру фіксується на табло відразу, без перерахунку.

3.5.3 Засоби і методи вимірювання кутів

Об'єкти кутових вимірювань різноманітні за розмірами, величинами вимірюваних кутів і необхідної точності вимірювання. Це обумовлює велику різноманітність методів і засобів вимірювання кутів, які, проте, можуть бути об'єднані в три групи.

Перша група методів і засобів об'єднує прийоми вимірювання кутів за допомогою косинців, кутових плиток, багатогранних призм.

Другу групу утворюють гоніометричні методи і засоби вимірювань, у яких вимірюваний кут порівнюють з відповідним значенням вбудованої у прилад кругової або секторної шкали.

Третя група тригонометричних методів і засобів відрізняється тим, що мірою, з якою порівнюють вимірюваний кут, є кут прямокутного трикутника.

Призматичні кутові міри виготовляють декількох типів: плитки з одним робочим кутом, з чотирма робочими кутами, шестигранні

призми з нерівномірним кутовим кроком. Кутові плитки випускають у вигляді набору плиток, підібраних з таким розрахунком, щоб із них можна було складати блоки з кутами в межах від 10 до 90°. За точністю виготовлення кутові міри відносять до одного з трьох класів точності (0; 1 і 2). Похибка виготовлення кутових мір першого класу $\pm 10''$, другого класу $\pm 30''$. Призматичні кутові міри можуть притиратися.

Принцип гоніометричного методу вимірювання легко уявити, якщо передбачити, що вимірювана деталь abc жорстко пов'язана з кутовою мірою — круговою шкалою D (рисунок 3.5).

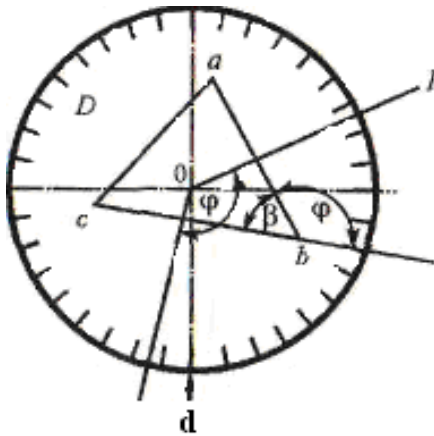


Рисунок 3.5 – Гоніометричний метод виміру

У певному положенні щодо якоїсь площини I беруть відлік по нерухомому покажчику d . Потім шкалу повертають до такого положення, коли сторона bc кута збігається з площиною, в якій до повороту знаходилася сторона ab або з іншою площиною, їй паралельною. Після цього знову проводять відлік по покажчику. При цьому лімб обернеться на кут φ між нормальми до сторін кута, рівного різниці відліку до і після повороту лімба. Якщо кут, що вимірюється, β , то $\beta = 180^\circ - \varphi$.

До таких же результатів прийдемо, якщо шкала з виробом залишиться нерухомою, а повертатися довкола осі O буде покажчик d .

3.5.4 Вимірювання шорсткості поверхні

Шорсткість поверхні оцінюється візуально порівнянням із зразками шорсткості або вимірюється контактними чи безконтактними (оптичними) методами і приладами.

Зразками шорсткості поверхні є бруски з плоскою або циліндричною поверхнею з відомими значеннями параметра шорсткості. Зразки шорсткості комплектуються в набори, де на кожному зразку вказується номінальне значення параметрів шорсткості і спосіб механічної обробки зразка. Візуальне порівняння поверхонь виробу і зразка дає задовільні результати лише для грубої поверхні (0,6... 0,8 мкм і більше).

Контактні методи виміру шорсткості ґрунтуються на послідовному обшупуванні досліджуваного профілю на заданій довжині за допомогою діамантової голки (щупа). Переміщення голки у вертикальному напрямку повторює профіль шорсткості і перетворюється в електричний сигнал, який посилюється і вимірюється аналоговим або цифровим приладом.

Як перетворювач переміщення в електричний сигнал, як правило, використовуються індуктивні перетворювачі.

Прилади, які реалізують контактні методи виміру, називаються профілометрами або профілографами (із записом профілограми на носій). Сучасні профілометри дозволяють вимірювати параметр Ra в межах 0,02... 10 мкм з похибкою не більше 10...15%.

Оптичні методи вимірювань для отримання інформації про кількісні характеристики шорсткості використовують відомі оптичні явища, на основі яких і створюються засоби вимірювань. До оптичних засобів вимірювань відносять: прилади світлового і тіньового перетину, інтерферометри, муарові мікроскопи.

Всі ці прилади дозволяють спостерігати перетворену і збільшену картину перетину досліджуваної поверхні і здійснювати відліки величин для визначення параметрів шорсткості.

У інтерферометрах для отримання інформації про шорсткість використовується явище інтерференції світла. Спрощена оптична схема інтерферометра наведена на рисунку 3.6.

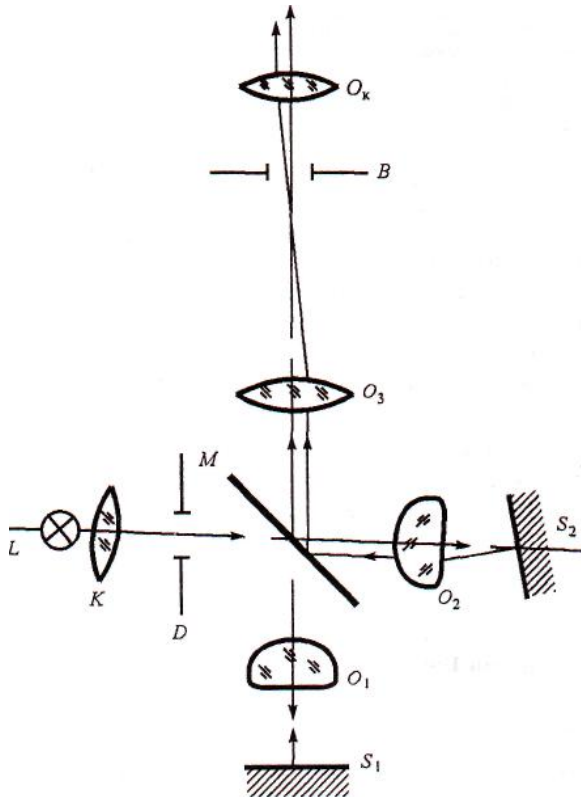


Рисунок 3.6 - Оптична схема інтерферометра

Світло від джерела L проходить через конденсор K , діафрагму D і розділяється напівпрозорою пластинною M на два когерентні пучки. Один з пучків через мікрооб'єктив O_1 падає на досліджувану поверхню S_1 , відбившись від якої, знову потрапляє в об'єктив O_1 і фокусується в площині B , яка є фокальною площиною окуляра O_k . Другий пучок проходить розділову пластину M і мікрооб'єктив O_2 , падає на дзеркало порівняння S_2 , нахилене відносно оптичної осі на невеликий кут. Об'єктив O_2 проектує зображення дзеркала порівняння S_2 також у площині зображення B . У результаті складання цих двох когерентних пучків світла в площині B виникають інтерференційні смуги, викривлені відповідно профілю поверхні (рисунок 3.7).

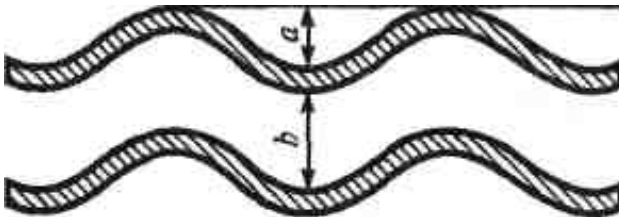


Рисунок 3.7 - Інтерференційні смуги

Вигини інтерференційних смуг можна вимірювати за допомогою окулярного мікрметра. Інтерференційна картина може бути також сфотографована. Розмір вигину смуги – a порівнюють з відстанню між смугами – b . На рисунку 3.7, $a = (2/3)b$.

Відстань між смугами становить половину довжини хвилі.

Якщо інтерференційна картина досліджується в білому світлі (довжина хвилі $\lambda = 0,6$ мкм), то $a = (2/3)0,3 = 0,2$ мкм. Середнє арифметичне з п'яти значень величини викривлення a визначає параметр Rz . Вимірювання характерних розмірів інтерференційної картини проводиться за допомогою окулярних мікрметрів при великому збільшенні (500x і 700x).

Принцип дії приладів *світлового перетину* ґрунтується на утворенні профілю зображення поверхні за допомогою похило направлених до поверхні променів. Прилади дозволяють виміряти середні висоти нерівностей (від 80 до 0,8 мкм).

У конструкції приладів світлового перетину передбачено два мікроскопи, тому їх часто називають подвійними мікроскопами. Метод світлового перетину зображено на рисунку 3.8. Освітлена вузька щілина проектується мікроскопом на ступінчасту поверхню P_1 - P_2 . Напрямок падіння світла показано стрілками. Зображення світлової щілини на ступінчастій поверхні займе положення S_1 на верхній частині сходинок P_1 і положення S_2 на нижній частині P_2 . Відбившись від поверхні, промені потрапляють у мікроскоп спостереження, який розташований під кутом 90° до осі проекційного мікроскопа. У полі зору мікроскопа спостереження щілини матиме вигляд, відображений на рисунку 3.9.

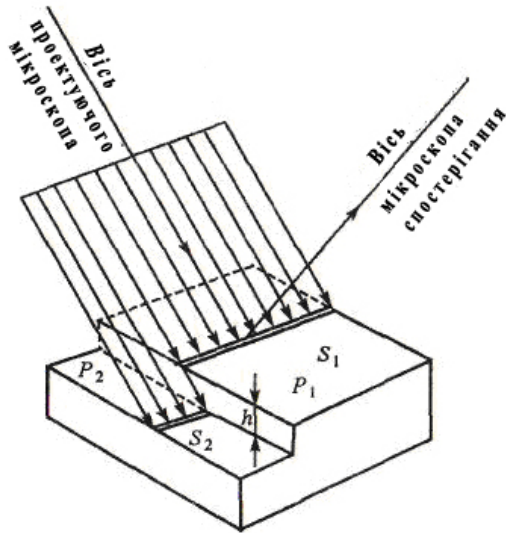


Рисунок 3.8 - Метод світлового перетину

Дія приладів *тіньового перетину* ґрунтується на аналогічному принципі, але в них розглядається тінь, викривлена нерівностями профілю досліджуваної поверхні.

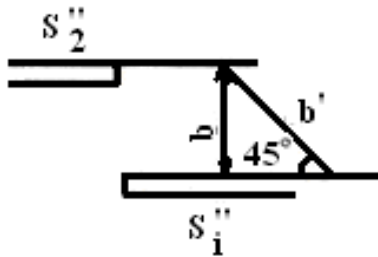


Рисунок 3.9 – До розрахунку зміщення

Зміщення b зображення S_2'' відносно S_i'' визначається висотою сходинки h та відлічується оптичними окулярними мікрометрами і підраховується

$$h = b/2\Gamma_m \sin 45^\circ, \quad (3.12)$$

де Γ_m – спільне збільшення приладу.

Растровий метод вимірювань застосовується в муарових мікроскопах. Растрами називають сукупність розташованих на однаковій відстані прямолінійних непрозорих штрихів, розділених прозорими проміжками.

Кроком растру l (рисунок 3.10) називається відстань, що рівняється ширині a непрозорого штриха плюс прозорий проміжок b , тобто $l = a + b$. Якщо взяти два растри A і B , що мають однакові кроки l_1 і l_2 (рисунок 3.10), і накласти їх одне на одного так, щоб площина штрихів обох растрів була розділена малою повітряною відстанню (порядку 0,1 мм), а напрямлення штрихів складали невеликий кут θ (порядку 2 - 3°), то буде видно муарові смуги K , що утворюються при зсуві штрихів пілкоподібних ліній двох растрів. Відстань T між смугами залежить від величини кроку растрів і кута θ .

$$T = l/2 \sin (\theta/2). \quad (3.13)$$

Або при частинці кута θ , $T \sim l/\theta$.

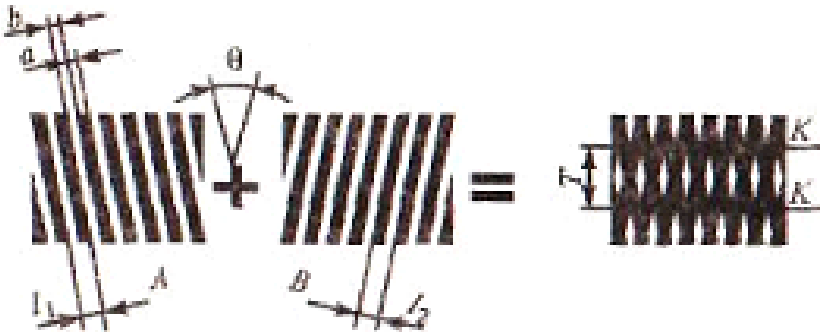


Рисунок 3.10 – Накладення растрів А і В одне на одного

Зміщення одного з растрів у напрямку, перпендикулярному до його штрихів, викликає зміщення всіх муарових смуг. Якщо в одного

з растрів крок не рівномірний, то зсув (викривлення) муарових смуг спостерігатиметься лише в тій зоні, де порушена рівномірність кроків, тобто де крок растрів більший або менший від нормального.

Муарові смуги і їх викривлення виникають не лише при накладенні двох растрів один на одного, але і в разі проєкції одного з растрів (початкового) в площині штрихів другого растру (порівняння). Це явище і використовують для вимірювання шорсткості. Для цього штрихи растру порівняння за допомогою оптичної системи проєктують на досліджувану поверхню під кутом, а оптична система створює зображення досліджуваної поверхні разом із спроєкованими на неї штрихами початкового растру в площині растру порівняння.

У місцях, де штрихи растру проєктуються на схили нерівностей досліджуваної поверхні, звернені до проєктованого пучка, відстань між сусідніми штрихами l_1' буде меншою, ніж нормальний крок l_0' , а на протилежних схилах ці відстані l_2' будуть більшими l_0' (рисунок 3.11).

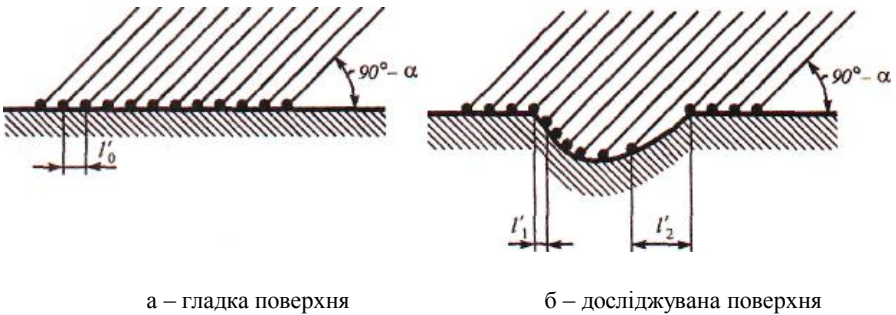


Рисунок 3.11 – Проєцювання растрів.

Зміни відстаней пропорційні висотам нерівностей. Вимірюючи зсув муарових смуг, можна розрахувати висоту нерівності. Промисловістю випускаються муарові мікроскопи, які забезпечують вимірювання параметрів R_z і R_{max} в межах 0,8...40 мкм з похибкою не більше 10...30%.

Контрольні питання до розділу 3

1. Що називають вимірюванням?
2. Назвіть методи вимірювань.
3. Що таке похибка вимірювання?
4. Назвіть механічні засоби вимірювань.
5. Які використовуються засоби та методи вимірювання кутів?
6. Які засоби використовуються для вимірювання шорсткості поверхонь?

4 УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ

Промисловці, споживачі і держава завжди стикаються з тим, як вирішити головні свої задачі. Перших турбує, як отримати прибутки. Других - що купувати на ринку. Третю – як забезпечити свою безпеку та підняти авторитет на міжнародній арені.

Але всі ці задачі в межах країни мають одне вирішення. Це - випуск підприємствами якісної продукції.

За часів Радянського Союзу, коли держава визначала, що виробляти підприємствам, в першу чергу необхідно було своєчасно виконати державне замовлення. При цьому кількість випущеної продукції була важливішою за якість. Мотивація робітників для виконання та перевиконання плану здійснювалася за допомогою штрафів та заохочень. Відсутність на ринку конкуренції не стимулювала виробника до підвищення якості продукції. Тому питання, що важливіше: якість чи кількість – вирішувалося на користь останнього. Але й за тих часів були організації, де за якістю суворо стежили, бо їх продукція забезпечувала безпеку держави. До них належали підприємства військово-промислового комплексу. Однак і тут основна роль у визначенні якості продукції належала контролерам.

Під час перебудови за рахунок скорочення державного замовлення на вітчизняний ринок почали потрапляти товари закордонних виробників. Наш споживач отримав право вибору. Конкуренція з іноземними постачальниками змусила вітчизняних виробників замислитися над тим, як утриматися на ринку при наявності продукції-аналогу.

Щоб мати в цих умовах перевагу, треба по-новому поглянути на забезпечення якості продукції, навчитися реалізовувати вимоги споживачів, починаючи від визначення потреби в продукції до постачання її замовнику. При цьому необхідно проводити роботи, що попереджують виникнення дефектів. Усі 100% виготовленої продукції повинні бути якісними.

Вітчизняним товаровиробникам необхідно зосередитись на випуску конкурентоспроможної продукції, що забезпечить своєчасність поставок, очікувану ціну, зручності сервісу, довіру до виробника. А для цього треба навчитися управляти якістю, що є однією з функцій управління підприємством.

4.1 Поняття про якість продукції

Якість — це відносний термін, що має різний зміст для різних людей. Якість часто трактують як суб'єктивне поняття. Визначення терміну „якість” філософи давали ще за давніх часів. За Платоном «якість» – це ступінь досконалості виробу. За Арістотелем «якість» – це сума певних властивостей, що відрізняє даний предмет від інших предметів того ж виду. Англійський філософ Джон Локк вважав, що до якості відносяться основні властивості, які притаманні предмету, такі як його розмір, форма, маса, а також другорядні, що не є сутністю предмета, але складають його невід'ємні ознаки та формують естетичне сприйняття. Ці та інші філософські визначення не торкаються питань: навіщо потрібна якість та якою вона повинна бути. Відповідь криється у взаємовідносинах між виробниками продукції та її споживачами. Такий підхід до визначення терміну „якість” використовують всесвітньо відомі спеціалісти у сфері якості. Так, Ф. Кросбі визначає його як „відповідність вимогам”. Дж. М. Джуран визначає якість як „відповідність призначенню”. А. В. Фегенбаум називає якість „сукупністю складних ринкових, технічних, виробничих та експлуатаційних характеристик, завдяки яким виріб (або послуга) відповідає очікуванням споживача”. Дж. Х. Харінгтон визначає якість як „задоволення або перевищення вимог споживача за прийнятною для нього ціною”.

Споживачі під якістю продукції розуміють деяку міру корисності, що полягає у задоволенні їх потреб.

Для виробників якість продукції полягає у відповідності до нормативних документів.

Але щоб споживачі звернули увагу на товар серед тих, що пропонуються, треба йому придати властивостей більше, ніж вимагають стандарти. Тому якість продукції потрібна, щоб у виробника був споживач і повинна бути такою, щоб продукт придбали.

Згідно зі стандартом ДСТУ ISO 9000:2007, *«якість – це ступінь, з якою сукупність власних характеристик виконує вимоги»*. У зв'язку з цим якість може бути відмінною, доброю або поганою.

Для просування товарів на ринку виробники використовують різні методи:

- зниження ціни на продукцію при незмінній якості;
- підвищення якості продукції та ціни на неї;
- підвищення якості продукції та одночасне зниження її ціни.

Перший метод дозволяє досягти тимчасового успіху, але при постійно зростаючих вимогах до якості, продукція, що просувається таким чином, буде виштовхнута з ринку.

Другий метод є ефективним, якщо підприємство має свою нішу на ринку, але він не враховує ймовірність появи конкурентів, що запропонують продукцію відмінної якості за меншу ціну.

Третій метод дозволяє в умовах насиченого ринку забезпечити розширення збуту продукції за рахунок її конкурентоспроможності.

Останній метод вважається найбільш ефективним і впроваджується на виробництві у відповідності до ISO 9001 за допомогою системи менеджменту якості, яка орієнтована на споживача. Це в сучасній економіці є найбільш актуальним, тому що загальним мірилом якості продукції вважається відповідність її властивостей до вимог споживачів, які за власним бажанням обирають найкращі товари різних виробників, визначаючи таким чином напрямок розвитку виробництва.

В ринкових умовах висока якість продукції підприємств виступає головним джерелом національного багатства. Якість визначає престиж держави, наявність ринків збуту для виробників, задоволення вимог споживачів, економічне використання ресурсів.

4.2 Показники якості продукції

Якість товару є основною складовою його конкурентоспроможності. При її визначенні треба виділити кращі для споживача властивості продукції. Слід мати на увазі, що реалізувати всі бажані властивості товару практично неможливо, бо якість містить у собі безліч компонентів. Тому з погляду на вимоги конкретних сегментів ринку, а також з наявності можливостей підприємства, визначаються найзначніші показники якості.

Показником якості продукції називається кількісна характеристика однієї або декількох властивостей продукції, що

входить до її якості і розглядається стосовно визначених умов її створення і експлуатації або споживання.

Показники якості повинні відповідати такими основним вимогам:

- сприяти забезпеченню відповідності якості продукції потребам народного господарства й населення;
- бути стабільними;
- сприяти планомірному підвищенню ефективності виробництва;
- враховувати сучасні досягнення науки, техніки і основні напрямки технічного прогресу в галузях народного господарства;
- характеризувати всі властивості продукції, що обумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до призначення.

На всі види продукції серійного та масового виробництва встановлюється номенклатура показників якості, що включає:

1. Показники призначення

Вони характеризують властивості продукції, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і зумовлюють сферу її застосування.

До цієї групи входять:

- *класифікаційні показники*, що встановлюють належність виробів до класифікаційного групування (класи автомобілів, точності приладів і т.д.);
- *функціональні (експлуатаційні) показники*, що характеризують корисний результат від експлуатації виробів (швидкодія комп'ютера, продуктивність верстата, діапазон вимірювання приладу і т.д.);
- *конструктивні показники*, що дають точне уявлення про основні проектно-конструкторські рішення у виробках (двигуни дизельні, бензинові, електричні і т.д.);
- *показники складу й структури*, що визначають вміст у продукції хімічних елементів, їхніх з'єднань (процентний вміст сірки й золи в коксі і т.д.).

Показники цієї групи відіграють основну роль в оцінці рівня якості. Вони часто використовуються як критерії оптимізації й застосовуються разом з іншими видами показників.

2. Показники надійності

Вони характеризують такі властивості, як безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і зберігання.

Безвідмовність – властивість об'єкту зберігати працездатність протягом деякого часу або напрацювання.

До показників безвідмовності відносять:

- імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = P(t < t_0), \quad (4.1)$$

- імовірність відмови

$$Q(t) = 1 - P(t) = P(t > t_0), \quad (4.2)$$

де t_0 – час до появи першої відмови;

- інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt}. \quad (4.3)$$

Звідси імовірність безвідмовної роботи розраховується за формулою:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (4.4)$$

Довговічність – властивість об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування й ремонту.

До показників довговічності відносять середній строк служби, що розраховується за формулою:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t_{cl} \cdot q(t_{cl}) dt, \quad (4.5)$$

де t_{cl} – строк служби i -го об'єкту;

$q(t_{cl})$ – щільність імовірності часу терміну служби.

Ремонтпридатність – здатність об'єкту до підтримання та відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування та ремонту.

До показників ремонтпридатності відносять середню трудомісткість ремонту та технічного обслуговування, що розраховується за формулою:

$$T = \int_0^{\infty} t_p q(t_p) dt, \quad (4.6)$$

де t_p – час ремонту i -го об'єкту;

$q(t_p)$ – щільність імовірності часу ремонту.

Зберігання – властивість об'єкту зберігати справний і придатний до використання стан протягом строку зберігання й транспортування, а також після цього.

До показників зберігання відносять середній термін зберігання, що розраховується за формулою:

$$T_{cб} = \int_0^{\infty} q(t_{cб}) dt, \quad (4.7)$$

де $t_{cб}$ – час зберігання i -го об'єкту;

$q(t_{cб})$ – щільність імовірності часу зберігання.

3. Ергономічні показники

Вони характеризують зручність та комфорт експлуатації об'єкту на етапах функціонального процесу в системі «людина – машина – середовище використання». Під середовищем використання розуміють простір, у якому людина виконує функціональну діяльність. Наприклад, салон автомобіля, приміщення цеху та інше.

До ергономічних показників належать:

- *гігієнічні*, що включають освітленість, температуру, тиск, вологість;

- *антропометричні*, що характеризують відповідність конструкції виробу формі тіла та його окремим частинам, що входять у контакт з ним;

- *психофізіологічні*, що характеризують пристосованість виробу до органів чуття людини.

4. *Естетичні показники*

Вони характеризують інформаційну виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання, стабільність товарного вигляду.

5. *Показники технологічності*

Вони характеризують властивості продукції, що обумовлюють оптимальний розподіл витрат матеріалів, часу й засобів праці при технічній підготовці виробництва, виготовленні й експлуатації продукції.

Показники технологічності включають коефіцієнт використання матеріалів, питому трудомісткість, питому собівартість та інше.

Коефіцієнт використання матеріалів розраховується за формулою:

$$k_m = \frac{Q_{mk}}{Q_{mo}}, \quad (4.8)$$

де Q_{mk} – маса деталі,

Q_{mo} – маса заготовки.

Питома трудомісткість розраховується за формулою:

$$q_{mp} = \frac{T_k}{B}, \quad (4.9)$$

де T_k – загальна трудомісткість виробництва продукції,

B – один з показників призначення.

Питома собівартість розраховується за формулою:

$$s_{cp} = \frac{S}{B}, \quad (4.10)$$

де S – загальна собівартість,

B – один з показників призначення.

6. *Показник транспортабельності*

Він характеризує пристосованість продукції до транспортування без використання або споживання. Основними показниками транспортабельності є: середня трудомісткість підготовки продукції до транспортування, середня тривалість встановлення продукції на засіб транспортування і т.д.

7. Показники стандартизації і уніфікації

Вони характеризують насиченість продукції стандартними, уніфікованими й оригінальними частинами, а також рівень уніфікації з іншими виробами. Основними показниками уніфікації та стандартизації є коефіцієнти застосовності та повторюваності.

Коефіцієнт застосовності розраховується за формулою:

$$k_3 = \frac{N - n_o}{N} \cdot 100\%, \quad (4.11)$$

де N – загальна кількість типорозмірів складових частин у виробі,

n_o – кількість оригінальних частин у виробі.

Коефіцієнт повторюваності розраховується за формулою

$$k_n = \frac{N}{n}, \quad (4.12)$$

де N – загальна кількість складових частин у виробі,

n – кількість типорозмірів складових частин, що застосовуються у виробі.

8. Патентно-правові показники

Вони характеризують ступінь оновлення технічних рішень, що використані в продукції, їх патентний захист, а також можливість реалізації продукції в країні та за кордоном.

До патентно-правових показників відносять патентний захист, патентну чистоту.

9. Екологічні показники

Вони характеризують рівень шкідливого впливу на навколишнє середовище, що виникає при експлуатації або споживанні продукції.

Облік екологічних показників повинен забезпечити обмеження надходжень до природного середовища промислових, транспортних і

побутових стічних вод, зниження викидів забруднювальних речовин в атмосферу, збереження і раціональне використання природних ресурсів і т.д.

До екологічних показників відносяться: вміст шкідливих домішок, що викидається у навколишнє середовище, імовірність викидів шкідливих часток, газів, випромінювань при зберіганні, транспортуванні, експлуатації або споживанні продукції.

10. Показники безпеки

Вони характеризують особливості продукції, що забезпечують безпеку людини при її експлуатації або споживанні, монтажі, обслуговуванні, зберіганні, транспортуванні.

До показників безпеки відносять:

- імовірність безпечної роботи;
- середній час безпечної роботи захисних пристроїв;
- мінімальну електричну міцність ізоляції струмоведучих частин.

Вони відображають вимоги до норм та засобів захисту людей, що перебувають у зоні можливої небезпеки при виникненні аварійної ситуації, і передбачені системою державних та міжнародних стандартів з безпеки праці.

11. Економічні показники

Вони характеризують собівартість виготовлення продукції, витрати на випробування дослідних зразків, на витратний матеріал при експлуатації технічних об'єктів і т.д.

Показники якості продукції можуть мати одиниці вимірювання (кілометр на годину, бал і т.д.) або бути безрозмірними.

Значення показників якості можуть бути абсолютними або відносними. Абсолютні значення показників якості можуть мати розмірність або бути безрозмірними. Відносні показники – завжди безрозмірні.

Прикладами абсолютних значень показників якості є швидкість автомобіля (показник призначення), маса виробу (показник транспортабельності), освітленість на робочому місці (ергономічний показник). Прикладами відносних значень показників технологічності є відносна трудомісткість виготовлення, відносна собівартість виготовлення.

Кількісна оцінка показників якості продукції здійснюється з метою:

- вибору найкращого варіанту продукції;

- підвищення вимог до якості продукції в технічному завданні на проектування;
- оцінки досягнутих показників якості при проектуванні і виробництві;
- визначення і контролю показників якості після виготовлення та в експлуатації;
- визначення відповідності досягнутих показників якості вимогам нормативної документації.

Методи визначення величини показників якості залежать від конструкторських і технологічних особливостей продукції або послуги.

Числові значення показників якості встановлюються за допомогою *об'єктивних і суб'єктивних методів*. Об'єктивні методи базуються на застосуванні технічних вимірювальних засобів, реєстрації, підрахунку подій, виконанні обчислень. Основа суб'єктивних методів – аналіз сприйняття виробу органами чуття людини, збір і урахування різних думок, рішення, що приймаються групою фахівців-експертів.

До об'єктивних методів відносять:

- вимірювальний, що здійснюється за допомогою технічних засобів вимірювання;
- реєстраційний, що здійснюється на основі спостереження й підрахунку числа певних подій, предметів або витрат;
- розрахунковий, що здійснюється на основі використання теоретичних і/або емпіричних залежностей показників якості продукції від її параметрів (наприклад визначення продуктивності верстатного обладнання від зміни величини подачі).

До суб'єктивних методів відносять:

- органолептичний, що здійснюється на основі аналізу сприйняття органами чуття показників якості (наприклад контроль забарвлення, наявність подряпин і т.д.);
- соціологічний, що здійснюється на основі збору й аналізу думок фактичних або можливих споживачів продукції;
- експертний, що здійснюється на основі рішення, прийнятого експертами.

Сукупність показників якості продукції можна класифікувати як одиничні, комплексні й інтегральні.

Одиничний показник якості продукції – це показник, що характеризує одне з її властивостей

Прикладами одиничних показників якості продукції можуть служити:

- напрацювання радіоприймача на відмову;
- інтенсивність відмов резистора;
- калорійність палива;
- коефіцієнт варіації дроту по товщині;
- середній ресурс автомобілів, випущених даним заводом за рік;
- середнє квадратичне відхилення ресурсу автомобілів.

Ці показники кількісно характеризують відповідно:

- безвідмовність радіоприймача;
- безвідмовність резистора;
- теплотворна здатність палива;
- однорідність дроту за товщиною;
- довговічність автомобілів;
- однорідність автомобілів за довговічністю.

З наведених прикладів випливає, що одиничні показники можуть відноситися як до одиниці продукції, так і до сукупності одиниць однорідної продукції, характеризуючи одну просту властивість.

Комплексний показник якості продукції – це показник, що характеризує декілька її властивостей.

Прикладом комплексного показника якості продукції є коефіцієнт готовності, який для певного виду виробів обчислюється за формулою:

$$K_G = \frac{T}{T + T_B} \quad (4.13)$$

де T - напрацювання виробу на відмову (показник безвідмовності);

T_B - середній час відновлення (показник ремонтпридатності).

З формули (4.13) видно, що коефіцієнт готовності характеризує дві властивості виробу - безвідмовність та ремонтпридатність.

Ділення показників якості продукції на одиничні і комплексні є умовним через умовності поділу властивостей продукції на прості і складні.

Так, наприклад, властивість ремонтпридатності по відношенню до властивості готовності або ще більш складної властивості надійності є простим. Однак його простота не абсолютна, а відносна.

Застосований у формулі (4.1) показник ремонтпридатності T_B обчислюється за формулою:

$$T_B = T_o + T_y \quad (4.14)$$

де T_o - середній час, необхідний на пошук відмови;

T_y - середній час, необхідний для усунення відмови.

З формули (4.14) видно, що ремонтпридатність – складна властивість виробу по відношенню до таких більш простих його властивостей, як пристосованість до пошуку відмов і пристосованість до їх усунення. Отже, показник T_B можна розглядати як одиничний щодо T_o та як комплексний щодо T_y .

Інтегральний показник якості продукції – це показник, що є відношенням сумарного корисного ефекту від експлуатації або споживання продукції до сумарних витрат на її створення та експлуатацію або споживання

Інтегральний показник якості продукції I обчислюється за формулою:

$$I = \frac{E}{B_C + B_E} \quad (4.15)$$

де E - сумарний корисний ефект від експлуатації або споживання продукції (наприклад, пробіг вантажного автомобіля в тонно-кілометрах за термін служби до капітального ремонту);

B_C - сумарні витрати на створення продукції (розробку, виготовлення, монтаж та інші одноразові витрати);

B_E - сумарні витрати на експлуатацію продукції (технічне обслуговування, ремонт та інші поточні витрати).

Наведена формула (4.15) придатна для продукції, термін служби якої не перевищує одного року. У цьому випадку одноразові і поточні

витрати просто підсумовуються. Для продукції, термін служби якої перевищує один рік, одноразові витрати V_C повинні бути приведені до останнього року терміну служби продукції з використанням нормативного коефіцієнта, що враховує її самоокупність.

4.3 Рівень якості продукції

Рівень якості продукції - це відносна характеристика, що ґрунтується на порівнянні значень показників якості оцінюваної продукції з базовими значеннями відповідних показників.

Базовими показниками можуть виступати розрахункові показники того ж виробу, що наведені в технічному завданні на проектування, або фактичні показники того ж виробу на якийсь момент виробництва, або показники іншого виробу аналогічного призначення. У зарубіжній літературі оцінка рівня якості називається еталонним тестуванням — порівняння якості виробу, що випускається, з еталоном (аналогом). В умовах ринку рівень якості продукції визначається тим, наскільки вона спроможна виконувати функції за своїм призначенням та задовольняти вимоги споживачів.

Оцінка рівня якості продукції необхідна для вирішення таких завдань:

- прогнозування потреб, технічного рівня і якості;
- планування підвищення якості й обсягів виробництва;
- обґрунтування освоєння нових видів продукції;
- вибір найкращих зразків;
- обґрунтування доцільності зняття з виробництва продукції;
- обґрунтування можливостей реалізації продукції за кордоном;
- оцінка науково-технічного рівня розроблюваних та чинних стандартів;
- контроль якості;
- стимулювання підвищення якості;
- аналіз динаміки рівня якості;
- аналіз інформації щодо якості і ін.

Оцінку рівня якості розглядають як сукупність операцій, що включають вибір номенклатури показників якості оцінюваної

продукції, визначення величин цих показників і порівняння їх з базовими значеннями відповідних показників.

Рівень якості продукції може встановлюватися для різних етапів життєвого циклу.

На етапі розробки оцінюється рівень продукції, що проектується. У результаті цього встановлюються вимоги до її якості, здійснюється нормування показників, що потім заносяться до нормативно-технічної документації.

На етапі виробництва рівень якості оцінюється у порівнянні фактичних значень показників якості продукції за результатами контролю й випробувань з вимогами нормативно-технічної документації.

На етапі експлуатації або споживання оцінюється рівень якості виготовленої продукції у порівнянні з вимогами нормативно-технічної документації або з показниками конкурентів на ринку.

Оцінка рівня якості складається з наступних етапів.

1. Визначення номенклатури показників якості, що оцінюються

Номенклатуру показників якості встановлюють відповідно до мети оцінки з урахуванням показників, що наведені у міжнародних, національних стандартах, каталогах, проспектах, патентах і т.д. Номенклатура показників якості включає класифікаційні та оціночні показники. Класифікаційні показники характеризують призначення та галузь застосування даного виду продукції. Для наступного зіставлення оцінюваного та базового зразків вони не використовуються, тому що не характеризують якість продукції.

Оціночні показники застосовують безпосередньо для порівняння оцінюваного зразка з базовим. Вони характеризують споживчі властивості, надійність, безпечність, економічність, екологічність.

2. Формування групи аналогів і встановлення значень їх показників

Продукція, що включена до групи аналогів та оцінювані зразки повинні бути ідентифіковані за призначенням та галуззю застосування, тобто мати однакові класифікаційні показники.

При оцінці продукції, що розробляється, до групи входять перспективні та експериментальні зразки, надходження яких на світовий ринок прогнозується у період випуску оцінюваної продукції.

При оцінці продукції, що виробляється, до групи входять зразки, що реалізуються на світовому ринку, значення показників якості яких

встановлюються на основі документації щодо них або за результатами випробувань.

3. Виділення базових зразків із групи аналогів

За базові приймають зразки з групи аналогів, які на основі послідовного попарного порівняння мають кращі оціночні показники серед усіх аналогів.

Виділення базових зразків на основі методу попарного зіставлення аналогів здійснюється в такий спосіб:

- аналог не може бути визнаний зразком і виключається з подальших зіставлень, якщо він поступається іншому аналогу за сукупністю оціночних показників, не перевищуючи його ні за одним;
- обидва аналоги залишаються для подальшого зіставлення з іншими, якщо за одними показниками кращий перший, а за іншими - другий, при цьому значення деяких показників у аналогів можуть збігатися.

За результатами попарного зіставлення обираються аналоги, кожен з яких не поступається ні одному з тих, що залишився, за сукупністю оціночних показників. Ці аналоги і є базовими зразками.

4. Зіставлення оцінюваного зразка з базовими

На першому етапі перевіряють відповідність продукції і значень її показників міжнародним стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам на продукцію. Вироби, які не відповідають будь-якій з вимог, визнаються такими, що не відповідають світовому рівню.

На другому етапі продукцію, що оцінюють, попарно зіставляють з кожним базовим зразком за значеннями оціночних показників.

Таке порівняння приводить до одного з наведених результатів:

- продукція, що оцінюється, поступається базовому зразку, якщо хоча б один з її показників поступається базовому;
- продукція, що оцінюється, перевершує базовий зразок, якщо хоча б один з її показників перевершує базовий, а за іншими не поступається;
- продукція, що оцінюється, рівноцінна базовому зразку, якщо значення усіх її показників збігається зі значеннями показників базового зразка.

За результатами оцінки технічного рівня продукція може бути віднесена до однієї з трьох градацій:

- продукція перевершує світовий рівень, якщо вона перевершує базовий зразок;
- продукція відповідає світовому рівню, якщо вона рівноцінна хоча б одному базовому зразку;
- продукція поступається світовому рівню, якщо вона поступається кожному базовому зразку.

У випадку, коли не існує аналогів продукції, що оцінюється, вона вважається такою, що відповідає світовому рівню.

Після проведення оцінки, в залежності від поставлених цілей та отриманих результатів, готують пропозиції для прийняття рішень щодо розробки продукції, постановки її на виробництво або удосконалення.

4.4 Методи оцінювання рівня якості продукції

Для оцінювання рівня якості продукції одного виду застосовуються диференційований, комплексний та змішаний методи.

Диференційований метод оцінки рівня якості продукції полягає в зіставленні одиничних показників оцінюваних виробів з відповідними показниками базового зразка. При цьому визначають, чи досягає якість оцінюваного виробу якості базового зразка в цілому, які одиничні показники оцінюваного виробу перевершують або не відповідають показникам якості базового зразка, а також наскільки відрізняються один від одного аналогічні одиничні показники властивостей. При диференційованому методі оцінки рівня якості продукції для кожного показника розраховується відносний показник якості оцінюваної продукції Q_i за такими формулами:

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}}, \quad (4.16)$$

або

$$Q_i = \frac{P_{i\text{баз}}}{P_i}, \quad (4.17)$$

де P_i та $P_{\text{баз}}$ – відповідно значення i -того показника якості оцінюваної продукції та базового зразка.

Формулою (4.4) користуються тоді, коли збільшення абсолютного значення показника якості відповідає поліпшенню якості продукції. За цією формулою розраховується відносний показник якості для потужності, терміну служби, продуктивності, точності та інше.

Приклад. Термін служби верстата, виготовленого на першому заводі, - 8 років, верстата, виготовленого на другому заводі, - 12 років. Базове значення цього показника якості – 10 років. Підвищення терміну служби означає поліпшення якості. Розрахуємо за формулою (4.16) відносний показник якості:

Для першого заводу:

$$Q_{cp1} = \frac{P_{cp1}}{P_{cp.баз}} = \frac{8}{10} = 0,8, \quad (4.18)$$

Для другого заводу:

$$Q_{cp2} = \frac{P_{cp2}}{P_{cp.баз}} = \frac{12}{10} = 1,2. \quad (4.19)$$

Отримані результати показують, що на першому заводі розглянутий показник якості нижчий за базовий, а на другому – вищий, тобто кращий за базовий.

За формулою (4.17) відносний показник якості продукції розраховується тоді, коли збільшення абсолютного значення показника відповідає погіршенню якості продукції. За цією формулою розраховують відносні показники для собівартості, трудомісткості, витрат палива, електроенергії та інше. У цих випадках покращення якості визначається зменшенням абсолютного значення одиничного показника.

Приклад. Трудомісткість виготовлення виробу складає 400 нормо-годин. Базове значення трудомісткості становить 320 годин. Відносний показник якості, розрахований за формулою (4.16), буде дорівнювати

$$Q_{mp} = \frac{P_{mp.баз}}{P_{mp.}} = \frac{320}{400} = 0,8. \quad (4.20)$$

Отриманий результат показує, що одиничний показник якості виробу нижчий за базовий.

У випадках, коли важко оцінити рівень якості, всі показники доцільно розділити за значимістю на дві групи. До першої групи включають показники, що визначають найбільш суттєві властивості продукції. До другої – другорядні. Якщо у першій групі усі відносні показники більші або дорівнюють одиниці, а в другій – більша частина показників також не менша одиниці, то вважається, що рівень якості оцінюваної продукції не нижчий базового зразка. Якщо відносні одиничні показники першої групи і більша частина другої менша одиниці, то якість оцінюваної продукції нижча базової.

Комплексний метод оцінки рівня якості передбачає використання комплексного (узагальненого) показника якості. Цей метод використовують у випадках, коли рівень якості доцільно оцінювати одним числом.

Комплексний показник являє собою функцію, що залежить від одиничних показників, які характеризують однорідну групу властивостей. До таких показників відносять показники надійності, естетичності, безпеки та ін.

Комплексний показник якості повинен бути:

1. *Репрезентативним* – представляти всі інші характеристики виробу, за якими оцінюється його якість.

2. *Монотонним* – змінюватись в залежності від зміни будь-якого з одиничних показників якості при фіксованих значеннях інших показників

3. *Критичним* – відчувати варіювання складових параметрів. Комплексний показник якості повинен узгоджено реагувати на зміну кожного з одиничних показників. Комплексний показник – це функція, що враховує вплив всіх одиничних показників. Його чутливість визначається першою похідною цієї функції. Значення комплексного показника повинно бути особливо помітно при виході одного з одиничних показників за припустимі межі. При цьому комплексний показник якості повинен значно зменшити своє чисельне значення.

4. *Нормативним* – мати числове значення між найбільшим і найменшим значеннями відносних показників якості. Ця вимога нормативного характеру визначає розмах шкали вимірювань комплексного показника.

5. *Порівнюваним* – розраховуватися за однаковою методикою.

Складність комплексної оцінки полягає в об'єктивному знаходженні узагальненого результату. В усіх випадках, коли є можливість виявлення характеру взаємодії між узагальненим показником та показниками, що треба врахувати, визначають функціональну залежність.

$$Q = f(a, b, c, \dots, z), \quad (4.21)$$

де a, b, c, \dots, z - одиничні показники якості продукції, що входять до узагальненого результату.

Для визначення залежностей використовують аналітичні, експертні та інші методи. У цьому випадку за узагальнений показник приймають, наприклад, продуктивність машин, питому собівартість, ресурс та інше.

Рівень якості за комплексним методом визначається відношенням узагальненого показника Q_o якості продукції, що оцінюється, до узагальненого показника базового зразка $Q_{баз}$.

$$Y_y = \frac{Q_o}{Q_{баз}} \quad (4.22)$$

Для транспортних засобів узагальнений показник якості розраховують за наступною формулою:

$$Q_o = \frac{m \cdot L \cdot p^2}{G_{ен}} \cdot \left(\frac{m}{G}\right) \cdot \left(\frac{L}{10^3} \cdot \sqrt{\frac{H}{v}}\right) \cdot \left(\frac{V_{max}}{V_p}\right)^2, \quad (4.23)$$

де m - максимальне розрахункове комерційне навантаження, т;

L - дальність транспортування вантажу, км;

V_p - рейсова швидкість руху, км/год;

V_{max} - максимальна швидкість руху, км/год;

G_{en} - загальна витрата палива за розрахунковий період, т;
 G - повна маса транспортного засобу в завантаженому стані, т;
 H - величина горбистості траси, м;
 v - габаритний об'єм машини в рейсовому русі, м³.

Приклад. Для оцінюваного вантажного автомобіля Q_o дорівнює 1,605. Базовий показник має значення $Q_{баз} = 0,618$. Рівень якості, розрахований за комплексним методом, буде дорівнювати:

$$Y_y = \frac{Q_o}{Q_{баз}} = \frac{1,605}{0,618} = 2,59 \quad (4.24)$$

Отримане значення показує, що рівень якості оцінюваного автомобіля вищий за базовий.

При оцінці складних виробів, які мають широкую номенклатуру показників якості, за допомогою диференційованого методу неможливо зробити конкретний висновок. Використання тільки комплексного методу не дозволяє об'єктивно врахувати всі значимі властивості оцінюваного виробу. У цих випадках для оцінки рівня якості виробу застосовують змішаний метод.

Змішаний метод оцінки рівня якості - метод оцінки якості продукції, заснований на одночасному використанні одиничних та комплексних показників її якості. Отже, при змішаному методі оцінки рівня якості виробів одночасно використовують диференційований і комплексний методи.

Сутність даного методу полягає в наступному:

1. Одиничні показники якості об'єднують у ряд груп, для яких визначають комплексний показник якості. Найбільш значимі одиничні показники можна в групі не включати, а розглядати їх окремо.

2. Знайдені величини групових комплексних і окремо виділених найбільш важливих одиничних показників порівнюють із відповідними значеннями базових показників, тобто застосовують принципи диференційованого методу. Визначення комплексних показників виконується за розрахунковими залежностями, тобто за допомогою комплексного методу.

Показник, отриманий змішаним методом оцінки рівня якості продукції, є диференційованим і комплексним одночасно.

4.5 Класифікація видів контролю якості

Контроль якості продукції - перевірка відповідності показників якості продукції встановленим вимогам. Сутність контролю полягає в отриманні інформації про стан об'єкта контролю та зіставленні отриманих результатів із встановленими вимогами, що містяться в нормативних і технічних документах, договорах на поставку. До об'єктів контролю відносять продукцію, процеси її виробництва, транспортування, зберігання, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту, технічна та супровідна документація. При невідповідності фактичних даних технічним вимогам здійснюється вплив на об'єкт контролю з метою усунення виявленого відхилення від технічних вимог. Через те, що якість продукції залежить від багатьох факторів, форми, види, методи та об'єкти контролю якості досить різноманітні. Це зумовлює класифікацію видів контролю за наступними ознаками:

1. *Залежно від етапу процесу виробництва:*

- вхідний контроль - контроль продукції постачальника, що надійшла споживачу або замовнику для використання при виготовленні, ремонті або експлуатації продукції;

- операційний контроль – контроль продукції під час виконання або після завершення технологічної операції;

- приймальний контроль – контроль продукції, за результатом якого приймається рішення про її придатність до постачання та використання;

- інспекційний контроль - контроль, що здійснюється спеціально уповноваженими особами з метою перевірки ефективності раніше виконаного контролю.

2. *Залежно від стадії створення і існування продукції:*

- виробничий контроль - контроль, який здійснюється на стадії виробництва;

- експлуатаційний контроль - контроль, який здійснюється на стадії експлуатації продукції.

3. *Залежно від повноти охоплення контролем:*

- суцільний контроль - контроль кожної одиниці продукції в партії;

- вибірковий контроль - контроль, при якому рішення про якість контрольованої продукції приймається за результатами перевірки однієї чи декількох вибірок;

- періодичний контроль - контроль, при якому надходження інформації про параметри, що контролюються, відбувається через встановлені інтервали часу;

- безперервний контроль - контроль, при якому надходження інформації про параметри, що контролюються, відбувається безперервно;

- летючий контроль - контроль, що проводиться у випадковий час.

4. Залежно від впливу на об'єкт контролю:

- руйнівний контроль - контроль, при якому може бути порушена придатність об'єкта до застосування за призначенням;

- неруйнівний контроль - контроль, при якому не повинна бути порушена придатність об'єкта до застосування за призначенням.

5. Залежно від засобів контролю, що застосовуються:

- вимірвальний контроль - контроль, що здійснюється із застосуванням засобів вимірювань;

- реєстраційний контроль - контроль, що здійснюється реєстрацією значень параметрів продукції або процесів, які контролюються;

- візуальний контроль - органолептичний контроль, що здійснюється органами зору;

- органолептичний контроль - контроль, при якому первинна інформація сприймається органами чуттів;

- технічний огляд - контроль, який здійснюється в основному за допомогою органів чуттів і, в разі необхідності, засобів контролю, номенклатура яких встановлена відповідною документацією.

6. Залежно від рівня технічного оснащення

- ручний контроль – контроль, при якому використовуються немеханізовані засоби контролю якості деталей;

- механізований контроль – контроль, при якому використовуються механізовані засоби контролю;

- автоматизований контроль – контроль, що здійснюється з частковою участю людини;

- автоматичний контроль – контроль, що здійснюється без особистої участі людини;

- активний контроль – контроль, що безпосередньо впливає на хід технологічного процесу і режими обробки з метою управління ними.

7. Залежно від типу параметрів, що перевіряються:

- контроль геометричних параметри – лінійних і кутових розмірів, форми та інше;

- контроль фізичних властивостей - теплопровідність, електропровідність та інше;

- контроль механічних властивостей – жорсткість, твердість, пластичність та інше;

- контроль хімічних властивостей – хімічний аналіз складу речовини, корозійна стійкість у різних середовищах та інше;

- металографічні дослідження – контроль мікро- та макроструктури заготовок, деталей;

- спеціальний контроль – контроль герметичності, відсутності внутрішніх дефектів;

- контроль функціональних параметрів - контроль працездатності приладів, систем, пристроїв у різних умовах;

- контроль ознак якості - контроль зовнішнього вигляду та інше.

Необхідність використання вхідного контролю обумовлено тим, що якість матеріалів, технологічної оснастки та комплектуючих, які отримує підприємство від сторонніх організацій, значною мірою визначає конкурентоспроможність готової продукції. Використання у виробничому процесі придбаної продукції неналежної якості може призвести до дефектів кінцевого виробу та непродуктивних витрат, пов'язаних з їх усуненням. Саме це має попереджувати вхідний контроль.

Якість продукції формується певною мірою упродовж виробничого процесу. Це викликає необхідність ретельного операційного і приймального контролю. При цьому контрольні операції здійснюються не лише стосовно якості, але й кількості виготовленої продукції, оскільки порушення технологічної, виробничої і трудової дисципліни може призвести до браку деталей і навіть готових виробів, що призводить до невиконання завдань виробничої програми підприємства.

Залежно від ступеня охоплення продукції перевіркою вхідний, операційний і приймальний контроль може бути суцільним або

вибірковим. Суцільний контроль виключає відправлення споживачеві продукції з дефектам. Його застосовують у таких випадках:

- при низькому рівні якості матеріалів, напівфабрикатів, виробів;
- при неможливості забезпечення технологічним процесом сталості виготовлення продукції ;
- при складанні у разі відсутності взаємозамінності;
- після операцій, які мають вирішальне значення для якості подальшої обробки або складання;
- після операцій з можливо високою кількістю браку;
- при випробуваннях готових виробів відповідального призначення.

Але в умовах масового і крупносерійного виробництва проведення суцільного контролю потребує значних витрат. Тому економічно вигідно застосовувати вибірковий контроль, при якому з кожної партії, що контролюється, відбирається певна кількість одиниць продукції. Вибірка - сукупність виробів, відібраних для контролю з партії продукції. Контрольована партія продукції має виготовлятися за тих же умов, що й інші вироби, інакше вибірка буде неоднорідною, а результати контролю не будуть достовірними. Вибірковий контроль проводиться для виробів, які мають велику трудомісткість контролю або руйнуються при контролі.

Безперервний контроль технологічних процесів виконують при їх нестабільності, як правило, автоматизованими, автоматичними або активними засобами контролю. При автоматичному контролі перевірка якості здійснюється шляхом прямого застосування автоматичних пристроїв (включаючи промислові роботи) без участі людини як у ході технологічного процесу, так і після завершення обробки чи складання виробу. Такий метод контролю є одним із головних напрямків зменшення витрат на контрольні операції і підвищення їх ефективності. особливо при масовому виробництві, де часто трудомісткість контролю якості перевищує витрати на виготовлення продукції. Активний контроль якості використовують безпосередньо у ході технологічного процесу виготовлення виробу за допомогою спеціальних контрольних технічних пристроїв, вмонтованих у технологічне обладнання (автоматичних індикаторів, вимірювальних головок, ізотопних, індукційних та інших приладів). Застосування активного контролю дозволяє попереджувати порушення технологічного процесу виготовлення продукції.

Періодичний контроль застосовують при виробництві, що вже встановилося.

Летючий контроль проводиться у спеціальних випадках, що визначені у стандартах підприємства.

Для кожної ділянки виробництва застосовують характерні для неї методи контролю якості:

- візуальний огляд, що дозволяє визначити відсутність поверхневих дефектів;

- вимірювання розмірів, що дозволяє визначити правильність форм і дотримання встановлених розмірів у заготовках, деталях, виробках;

- лабораторний аналіз, призначений для визначення механічних, хімічних, фізичних, металографічних та інших властивостей об'єктів контролю;

- механічні випробування, що призначені для визначення твердості, міцності, пластичності та інших параметрів;

- рентенографічні, електротермічні, ультразвукові, радіоізотопні, рентгеноскопічні, лазерні та інші фізичні методи випробувань;

- контрольно-здавальні випробування, які служать для визначення заданих показників якості;

- контроль дотримання технологічної дисципліни;

- вивчення якості продукції у сфері споживання та ін.

Критерієм готовності підприємства до випуску продукції потрібної якості є наявність, як мінімум, таких даних за результатами контролю:

- наявність у технологічній документації повністю оформлених операцій контролю;

- наявність висновку про оснащення технологічних операцій засобами вимірювання;

- наявність відміток у маршрутному листі про перевірку «першої» деталі;

- наявність системи обліку результатів контролю і виявлення дефектів;

- наявність системи типових рішень для прийняття обґрунтованих дій при виявленні дефектів;

- наявність висновку про ефективність системи контролю, що діє в підрозділах підприємства;

- наявність висновку про комплектацію випробувальної бази необхідним обладнанням та стендами;
- наявність висновку про виконання у повному обсязі заходів, розроблених за результатами попередніх періодичних випробувань;
- наявність оцінки ефективності розроблених заходів зі підвищення якості продукції.

4.6 Статистичні методи контролю та управління якістю продукції

Технологічні процеси виготовлення точних та складних деталей передбачають значну кількість контрольних операцій. Проведення суцільного контролю продукції, що випускається, потребує на виробництві великий штат контролерів. Але такий контроль забезпечує лише вилучення бракованих деталей і не в змозі попередити брак. Тому у вирішенні проблеми підвищення якості продукції й ефективності виробництва важлива роль належить статистичним методам контролю, які принципово відрізняються від суцільного.

Статистичні методи контролю – це методи оцінки якості продукції, при яких значення показників якості продукції визначають із використанням правил математичної статистики.

Статистичний контроль застосовується у серійному і масовому виробництвах і дозволяє не лише фіксувати фактичний рівень якості продукції, але й активно впливати на перебіг технологічного процесу, тобто забезпечує його регулювання. При впровадженні статистичного контролю якості продукції технологічний процес *обов'язково* повинен бути налагодженим та стабільним. В основі обґрунтування використання статистичного контролю лежить те, що в будь-якому сталому процесі, коли відсутні непередбачені відчутні збурення, фактичні показники якості окремих екземплярів продукції завжди матимуть незначні відхилення від середніх величин. Тому достатньо контролювати вибірку деталей з партії і робити висновок про придатність всієї партії. На підприємствах найбільш поширеними є приймальний та поточний статистичний контроль.

Приймальному контролю підлягає продукція після завершення технологічних операцій для прийняття рішення щодо її придатності.

Сутність методів статистичного контролю полягає в тому, що рішення про якість контрольованої партії продукції приймається за результатами перевірки однієї виборки певного обсягу, випадково відібраної з партії чи потоку продукції. Деталі цієї виборки піддаються суцільному контролю. Якщо кількість дефектних одиниць не перевищує встановленої величини, то вся партія приймається. Якщо ж число дефектних одиниць більше встановленої норми, вся партія бракується або піддається суцільному контролю.

Розрізняють чотири основних методи приймального контролю: одноступінчастий, двоступінчастий, багатоступінчастий та послідовний. Кожний контроль проводиться відповідно до свого плану. План контролю - це сукупність правил, за якими виконується вибірка з партії виготовлених виробів або деталей і на основі їх якості робиться висновок про якість цілої партії продукції.

При одноступінчастому контролі рішення щодо прийняття партії приймають за результатами контролю тільки однієї вибірки. При методі одиничних виборок, якщо у виборці, рівній n об'єктів із всієї партії N , число бракованих деталей I буде меншим або рівним певній величині C , то вся партія об'єктів приймається. При $I > C$ — партія бракується і піддається суцільному контролю (відбираються придатні об'єкти, визначається виправний та невиправний брак). Його застосовують, коли вартість контролю невелика, тривалість випробувань велика, а партія не може бути затримана до закінчення контролю.

Двоступінчастий контроль характеризується тим, що рішення про придатність партії продукції приймається за результатами контролю не більше двох виборок. Необхідність перевірки другої виборки визначається за результатами контролю першої виборки. Двоступінчастий контроль проводиться наступним чином. З партії готової продукції N довільно робиться вибірка з n_1 деталей. Причому n_1 багато менше за N . Всі деталі виборки піддаються контролю. У разі виявлення дефектних виробів їх кількість z_1 порівнюється з допустимим приймальним числом A_{c1} . Якщо z_1 менше або дорівнює A_{c1} ($z_1 \leq A_{c1}$), то вся партія вважається придатною й приймається. Якщо число дефектних виробів z_1 більше або дорівнює браківному числу R_{e1} ($z_1 \geq R_{e1}$), то вся партія з N виробів бракується. Якщо в першій виборці

число дефектних деталей знаходиться між приймальним та браківним числом ($A_{c1} < z_1 < R_{e1}$), то для визначення придатності партії робиться друга виборка з n_2 деталей. При цьому $n_2 < n_1$. Вироби другої виборки контролюють. При наявності дефектних деталей їх кількість z_2 спільно з кількістю дефектних деталей z_1 з першої вибірки порівнюється з приймальним A_{c2} та браківним R_{e2} числами. Якщо загальна кількість дефектних виробів z_1 та z_2 вибірок n_1 та n_2 не перевищує приймальне число A_{c2} ($z_1 + z_2 \leq A_{c2}$), то вся партія приймається. Якщо загальна кількість дефектних виробів z_1 та z_2 вибірок n_1 та n_2 перевищує браківне число R_{e2} ($z_1 + z_2 \geq R_{e2}$), то вся партія бракується.

Ці плани застосовують, коли одноступінчастий контроль не використовується через великий обсяг виборки, а багатоступінчастий - через більшу тривалість.

При багатоступінчастому контролі рішення приймають за результатами контролю декількох заздалегідь установлених вибірок, причому необхідність відбору кожної наступної приймається за результатами контролю попередньої. Цей план контролю застосовують при великій вартості випробувань і невеликому часі на відбір вибірок.

Послідовний контроль відрізняється від багатоступінчастого лише тим, що максимальну кількість вибірок заздалегідь не встановлюють. Його застосовують, коли обсяг виборки невеликий, а вартість відбору виборки мала.

Величина виборки n і число бракованих в ній об'єктів z , при яких партія N вважається придатною і не піддається суцільному контролю, визначається за таких умов:

- ризик замовника не повинен перевищувати певної величини;
- загальне середнє число екземплярів, які підлягають контролю як у придатних, так і в непридатних партіях, повинно бути мінімальним.

Значення обсягів вибірок, приймальні та браківні числа визначають за таблицями стандартів. Стандартами передбачено три різновиди дефектів: критичні, значні й малозначні. При критичних дефектах $A_c = 0$, $R_{e2} = 1$. Тобто при наявності у виборці одного дефектного виробу достатньо для того, щоб забракувати усю партію.

Розрізняють приймальний контроль за якісною і кількісною ознакою.

При контролі за якісною ознакою перевіряють кожну одиницю продукції і відносять до певної групи (придатні або дефектні), а наступні рішення приймаються в залежності від співвідношення кількості виробів, що опинилися в цих групах. Такий контроль називається *альтернативним*.

При контролі за кількісною ознакою визначають значення одного або декількох параметрів одиниці продукції, а наступні рішення приймаються в залежності від цих значень (середнє арифметичне значення, середньоквадратичне відхилення).

Слід відзначити особливість вибіркового контролю, яка полягає в коливанні вибірових оцінок. Це означає, що в будь-якій виборці (однакового розміру) з однієї і тієї ж партії може бути різна кількість дефектних виробів, і за результатами контролю однієї виборки можна прийняти партію, а за іншою ту ж партію – забракувати.

Ситуація, коли є ймовірність того, що придатну партію виробів можуть в результаті коливань вибіркової оцінки визнати такою, що не відповідає технічним вимогам, називають ризиком постачальника. Ситуація, коли є ймовірність того, що непридатну партію виробів в результаті коливань вибіркової оцінки помилково визнають придатною, називають ризиком споживача. Розробка планів вибіркового контролю здійснюється таким чином, щоб зробити помилки першого роду (ризик постачальника) і другого роду (ризик споживача) малоімовірними.

Статистичний приймальний контроль широко використовується на промислових підприємствах. Він дозволяє знизити витрати часу на перевірку якості продукції, зменшити кількість контролерів, але не може гарантувати, що всі деталі, що залишилися всередині партії (після виборки), задовольняють технічним вимогам.

Сучасні вимоги до виробництва потребують ощадливого використання ресурсів. Тому основне зусилля повинно бути зосереджене не на виявленні дефектів, а на попередженні їх появи. Цій вимозі відповідає статистичне регулювання технологічним процесом - управління якістю продукції в процесі виробництва шляхом своєчасного втручання в технологічний процес (настроювання, зміна режиму роботи устаткування, коректування).

На відміну від статистичного приймального контролю, коли за результатами контролю виборки приймається рішення про прийняття або відхилення партії продукції, при використанні статистичного

регулювання технологічного процесу за результатами контролю виборки робиться висновок про стан процесу (налагоджений або розладнаний).

Виявлення відхилення технологічного процесу від норми проводиться не тоді, коли вся партія продукції виготовлена, а в процесі виробництва, коли можна вчасно втрутитися в процес і відкорегувати його. Відбір одиниць продукції у виборку здійснюється через заздалегідь встановлені проміжки часу.

Регулювання налагодженого технологічного процесу здійснюється за допомогою контрольних карт. Контрольна карта має середню лінію з межами регулювання. На осі абсцис відкладають порядкові номери виборок, а по осі ординат – значення відповідних вибіркових статистичних характеристик (середньоарифметичне значення \bar{x} , розмах R , середньоквадратичне відхилення s). Карти середньоарифметичних значень мають дві межі регулювання – верхню та нижню (рисунок 4.1). Карти середньоквадратичних відхилень (s -карта) та розмахів (R -карта) мають одну границю регулювання (рисунок 4.2), тому що ці параметри розподілу можуть тільки збільшуватися.

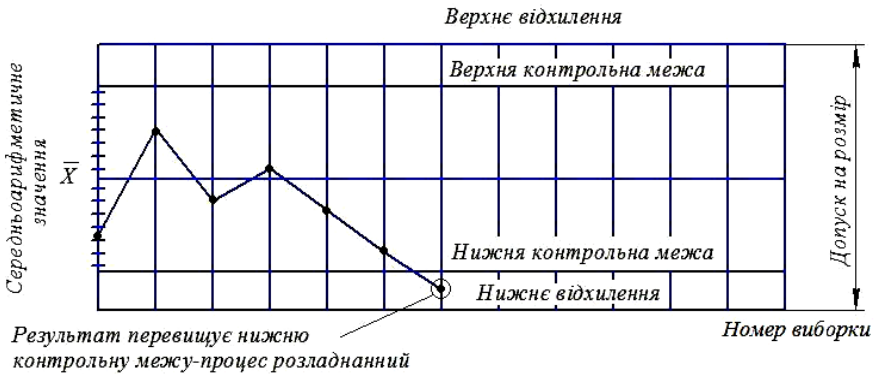


Рисунок 4.1 - Контрольна \bar{x} -карта

Результат перевищує верхню контрольну межу-процес розладнений



Рисунок 4.2 – Контрольна R-карта

Статистичне регулювання технологічного процесу полягає в тому, що через установлений проміжок часу, наприклад через 30 хвилин, або через певну кількість виготовлених деталей, здійснюють виборку заданого об'єму n . Деталі вимірюють, установлюють значення відповідної вибіркової характеристики, проставляють його у вигляді точки на контрольну карту. Отримані за результатами вимірювань точки з'єднують прямими лініями. Сигналом про розладнання технологічного процесу служить поява точки за межею регулювання. Процес зупиняють для налагодження. Таким чином попереджається брак. На контрольних картах контрольні межі знаходяться між допустимими значеннями, і, якщо за результатами вимірювання отримана точка перетне одну з контрольних меж, деталь ще не буде бракованою.

Використання контрольних карт економічно вигідно, якщо технологічний процес налагоджений і стабільний, тобто діють тільки випадкові та закономірні фактори, які викликають розкид розмірів в межах допуску. Якщо в технологічному процесі переважають фактори не випадкового характеру (наприклад, невідповідна до умов виробництва точність та жорсткість системи верстат - пристосування – інструмент - деталь), процес називається статистично некерованим, і тоді для мінімізації ступеня впливу цих факторів використовують нескладні для розуміння так звані «сім інструментів контролю якості», які об'єднують такі методи:

1. Контрольні листки та графіки.
2. Розшарування.

3. Діаграми Парето.
4. Діаграма причин та результату.
5. Діаграма розкиду.
6. Гістограми.
7. Контрольні карти.

За допомогою цих методів аналізу якості вирішуються такі завдання:

- визначення точності й стабільності технологічного процесу з використанням контрольних листків та графіків, гістограм;
- встановлення характеру відмінності середніх значень параметра якості виробів або його розсіювання при виготовленні в різних умовах виробництва (наприклад на різному устаткуванні або в різні зміни) з використанням розшарування, діаграм причин та результату;
- оцінки ступеня впливу (кореляції) двох або більше факторів на показники якості продукції з використанням діаграми розкиду;
- виявлення факторів, що суттєво впливають на зміну параметрів якості, і факторів, якими можна знехтувати з використанням діаграми Парето;
- виявлення зміни параметрів якості в часі й характеру (випадковий або не випадковий) цієї зміни з використанням графіків та контрольних карт.

Перелічені вище методи можуть використовуватися при вирішенні різних проблем як окремо, так і в різних комбінаціях. Так, наприклад, при розлагодженому технологічному процесі за допомогою контрольних карт збирають інформацію про наявність продукції, що має відхилення від норми. Далі будують діаграму Парето, за допомогою якої визначають дефекти, які роблять найбільший внесок у загальну кількість. За допомогою діаграм причин та результату визначають причини, що можуть призвести до появи цих дефектів, та призначають запобіжні заходи. Впровадження цих заходів направлено на попередження появи не випадкових факторів, щоб зробити технологічний процес статистично керованим.

Методи статистичного регулювання технологічних процесів знайшли відображення в низці чинних державних і міжнародних стандартів.

4.7 Засоби контролю якості продукції

Сучасний технічний рівень виробництва висуває до методів і засобів контролю якості продукції високі вимоги щодо швидкодії, механізації й автоматизації як при її виготовленні, так і в процесі експлуатації.

Розвиток засобів контролю йде в напрямках підвищення точності вимірювань, зменшення габаритних розмірів і маси приладів, зниження вимірювальних зусиль приладів, застосування нових фізичних методів вимірювань, зниження витрат на контроль, виключення впливу суб'єктивності контролю.

Засоби контролю якості, що використовуються при виготовленні виробів, можуть бути розділені на три групи:

- засоби неавтоматичного контролю;
- автомати й автоматичні системи контролю;
- засоби контролю автоматичних систем управління технологічними процесами.

Засоби неавтоматичного контролю використовуються для отримання інформації про один або декілька параметрів, що характеризують якість виробу. Звичайно вони застосовуються при ручному контролі і характеризуються низькою продуктивністю й порівняно великою трудомісткістю контролю.

Автомати й автоматичні системи контролю забезпечують отримання інформації про параметри, які всебічно характеризують якість контрольованого об'єкту. До складу таких систем можуть входити автоматичні транспортувальні, сканувальні і сортувальні пристрої, реєстратори різних видів. В основному ці системи призначені для розбраковування контрольованих виробів за принципом «придатно – брак» або розсортування за одним або декількома параметрами. Прикладами таких систем є автомати для сортування кульок за діаметром, автомати для контролю й сортування пальців і поршнів, лінія комплексного неруйнуючого контролю сталевих прутків, які здійснює автоматичне розбраковування за наступними параметрами: знеуглецьовані ділянки, марка сталі, діаметр прутка.

Засоби контролю автоматичних систем управління технологічними процесами (АСУТП) призначені для надання такої

інформації, яка може бути використана для активного впливу на хід технологічного процесу у випадку його порушення. До складу систем АСУТП, крім автоматичних ліній контролю, входять засоби обчислювальної техніки для формування управляючих дій.

Лінійні й кутові методи і засоби вимірювання становлять 80 - 90 % від усіх існуючих у промисловості видів вимірювань. Серед них широкого розповсюдження набули універсальні засоби контролю, номенклатура яких включає:

- вимірювальні головки;
- оптико-механічні прилади для вимірювання довжини;
- прилади для вимірювання похибок форми й взаємного розташування поверхонь;
- прилади для контролю шорсткості поверхні й ін.

Більш детально ці та інші засоби контролю висвітлено в розділі

3.

У зв'язку із застосуванням статистичних методів контролю якості продукції на промислових підприємствах набули поширення засоби малої механізації, що являють собою комплекс приладів і пристроїв для вимірювання показників якості виробів і їх статистичної обробки. Наприклад:

- статистичні індикатори, що використовуються для вимірювання і обчислення статистичних характеристик (середніх арифметичних, медіан, розмахів і ін.);

- статистичні аналізатори МАС-1 і МАС-2 використовують для автоматичного вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів деталей і визначення двох статистичних характеристик;

- індикатор-датчик для автоматичної передачі вимірюваної величини в будь-який обчислювальний пристрій;

- скоба зі змінними статистичними індикаторами для вимірювання зовнішніх розмірів деталі й визначення однієї статистичної характеристики;

- скоба зі змінними статистичними індикаторами для вимірювання внутрішніх розмірів деталі й визначення однієї статистичної характеристики.

Крім цього, при статистичному контролі якості продукції використовують лічильні лінійки. За їх допомогою без використання інших допоміжних засобів і в короткий термін можна робити обчислення для побудови плану вибіркового контролю.

Застосування обчислювальної техніки надзвичайно перспективне при управлінні якістю продукції. Розроблені методики дозволяють вирішувати багато завдань, що зустрічаються при контролі великих і малих виборок, перевірці статистичних гіпотез.

У виробничих і експлуатаційних умовах найчастіше використовують такі види контролю виробів:

- контроль окремих зразків або деталей з руйнуванням;
- контроль усіх або окремих деталей без руйнування;
- контроль усіх або декількох деталей (або виробів) навантаженням.

Контроль із руйнуванням зразків дозволяє одержати відомості про механічні властивості матеріалів шляхом статичного або динамічного навантаження, при повторно-змінних навантаженнях, розтягуванні, стисненні, крученні, вигині, спільній дії різних умов навантаження, під дією температур і в інших умовах. Усі випробування на надійність також є руйнуючими випробуваннями (контролем). Методики проведення руйнуючого контролю надзвичайно різноманітні й дозволяють одержати відомості про наявність дефектів, а також визначити показники якості продукції (призначення, технологічності, надійності). Значна кількість методів руйнуючого контролю стандартизована.

Контроль усіх або окремих деталей без руйнування (неруйнуючий контроль, дефектоскопія) дозволяє підвищити надійність і безпеку роботи виробів за рахунок своєчасного виявлення дефектів у матеріалі, напівфабрикатах і деталях машин шляхом суцільного контролю. Для ефективного використання неруйнуючого контролю необхідні високий рівень розвитку методів і засобів контролю, їх автоматизація і висококваліфікована підготовка контролерів-дефектоскопістів.

Контроль деталей навантаженням необхідний для виробів, до яких висуваються вимоги підвищеної безпеки при експлуатації. Величина навантаження повинна бути більшою за експлуатаційну, але не приводити до повного або часткового руйнування виробів. Цей вид контролю доцільно поєднувати з неруйнуючим контролем. Наприклад, труби або газові балони після випробування під тиском, що трохи перевищує номінальний, піддаються неруйнуючому контролю для визначення тріщин, що з'явилися після навантаження.

Гарантія високої якості матеріалів і деталей, що виготовляються з них, можлива тільки при правильній організації контролю і своєчасному виявленні дефектів.

Неруйнівний контроль якості не повинен впливати на придатність продукції використовуватися за призначенням. Тому до неруйнівного контролю відносять тільки ті методи вимірювання і визначення характеристик або властивостей матеріалів, деталей або виробів, які не впливають на їхні експлуатаційні властивості.

Широке застосування методів неруйнівного контролю дозволяє уникати великих втрат часу і матеріальних витрат, а також забезпечує повну або часткову автоматизацію операцій контролю при одночасному підвищенні достовірності результатів контролю.

Методи неруйнівного контролю ґрунтуються на отриманні інформації у вигляді електричних, світлових, звукових та інших сигналів про якість об'єктів, що перевіряються, під час взаємодії їх з фізичними полями (наприклад електричними) або речовинами.

Відповідно до ГОСТ 18353-79, види неруйнуючого контролю поділяються на оптичний, з проникаючими речовинами (капілярний), магнітний, вихорострумний, акустичний, радіаційний, електричний, радіохвильовий, тепловий.

Для ефективного використання неруйнівного контролю вони повинні забезпечувати:

- можливість здійснення контролю на різних стадіях виготовлення, в експлуатації і при ремонті виробів;
- можливість контролю більшості заданих параметрів;
- узгодженість часу, що втрачається на контроль, з часом роботи технологічного устаткування;
- високу достовірність результатів контролю;
- технічну доступність засобів контролю в умовах виробництва, експлуатації, ремонту.

Дефекти, що виявляються неруйнівним контролем, різняться розмірами, формою й середовищем порожнини. Так, тріщини мають різну глибину, довжину й розкриття; газові раковини і включення можуть бути заповнені формувальною сумішшю, шлаками. Для надійного виявлення дефектів вибирають певний метод контролю. Поверхнево відкриті тріщини, пори, раковини, корозійні ушкодження добре виявляються капілярними методами. Відносно великі тріщини, корозійні й механічні пошкодження - візуально-оптичним методом.

Якщо дефекти, виходячи на поверхню, заповнені шлаками, окислами і інш., їх доцільно виявляти магнітопорошковим методом або методами вихорострумowego контролю.

За місцем розташування дефекти можуть бути поверхневі, підповерхневі й внутрішні (мають глибину залягання більше 1мм). Поверхневі дефекти (пори, тріщини, корозійні ушкодження й ін.) можуть бути виявлені майже будь-яким методом, але найбільш ефективні капілярні, магнітопорошкові. Для підповерхневих дефектів типу флокен, волосовини застосовують методи вихорострумowego, акустичного і магнітного контролю. Внутрішні приховані дефекти (включення, раковини, рихлість й ін.) виявляються методами радіаційного, теплового, вихорострумowego й акустичного контролю.

Врахування умов роботи виробу дозволяє заздалегідь визначити найбільш слабкі місця конструкції і керуватися цим при виборі методу контролю. Наприклад, якщо виріб працює в умовах агресивного середовища і зазнає дії знакозмінних навантажень, то руйнування може настати в місцях, де є поверхневі дефекти: мікротріщини, ліквациї й ін. Відповідно повинні бути передбачені і методи їх виявлення: візуально-оптичний, магнітопорошковий, капілярний та інші.

Вирішальним фактором при виборі методу контролю є фізичні властивості матеріалів. Неруйнівні методи побудовані на взаємодіях фізичних полів або речовин з матеріалом контрольованого виробу. Так, магнітопорошковий метод застосовується лише для феромагнітних і однорідних за своїми магнітними властивостями матеріалів, для методів акустичного контролю матеріал повинен мати пружні властивості і малий коефіцієнт загасання коливань, для методів контролю проникаючими речовинами матеріал повинен бути стійким до впливу органічних розчинників.

Методи радіаційного, капілярного, радіохвильового контролю застосовуються для перевірки виробів різної форми й розмірів. Використання акустичних, вихорострумowych методів пов'язане із труднощами розшифрування результатів контролю, якщо вироби мають складну форму.

Чутливість багатьох методів залежить від стану поверхні. Якщо контрольована поверхня забруднена, покрита окалиною, мастилом або на ній є лакофарбові покриття, то при виявленні поверхневих і підповерхневих дефектів такі методи контролю як капілярний, оптичний, магнітний стають неефективними.

При використанні радіаційного контролю повинен бути забезпечений доступ до обох боків виробу. З одного боку знаходиться джерело випромінювання, з іншого боку — детектор. Для магнітного, капілярного, радіохвильового контролю достатньо одностороннього доступу, що значно розширює область їх застосування. Методи акустичного, вихорострумового, теплового контролю використовують при безпосередньому контакті деталі з реєструючою апаратурою, або при близькому розташуванні апаратури до неї, що не завжди можливо. Радіаційні, радіохвильові види контролю цього не вимагають, тому вони можуть застосовуватися для здійснення контролю у важкодоступних місцях.

Роль неруйнівного контролю постійно зростає. Без цього високоєфективного і продуктивного контролю неможливий розвиток авіаційної й атомної промисловості, сучасної енергетики і забезпечення безпеки руху на транспорті. Ускладнення конструкцій виробів і технологічних процесів їх виготовлення, збільшення напруженості елементів (при прагненні до зниження маси) сприяють поширенню неруйнівних методів контролю в промисловості.

Наряду з використанням у промисловості методів капілярного, магнітного, вихорострумового, акустичного й радіаційного контролю ведуться дослідження з упровадження голографії і акустико-емісійного методу для виявлення внутрішніх дефектів.

Велике значення для подальшого впровадження методів неруйнівного контролю має стандартизація, що планомірно проводиться в цьому напрямку. Розроблені й діють такі стандарти:

ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»;

ГОСТ 18442-80 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы»;

ГОСТ 21105-75 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод»;

ГОСТ 21104-75 «Контроль неразрушающий. Магнитоферрозондовый метод»;

ГОСТ 20415-75 «Контроль, неразрушающий. Методы акустические. Общие положения»;

ГОСТ 23479-79 «Контроль неразрушающий. Методы оптические. Общие требования»;

ГОСТ 23483-79 «Контроль неразрушающий. Тепловые методы. Общие требования»;

ГОСТ 23480-79 «Контроль неразрушающий. Радиоволновые методы. Общие требования» и др.

4.8 Система менеджменту якості, її принципи та функції

Контроль, що являє собою досить швидкий спосіб попередження поставки неякісної продукції, вирішує проблеми споживачів. Для виробників посилення контролю для виявлення дефектних виробів веде до збільшення витрат, тобто скорочення прибутку, зростання ціни товару, зниження рівня конкурентоспроможності. Крім цього, практика роботи передових підприємств показала, що виявити всі наявні дефекти неможливо. Єдиний спосіб позбутися браку - не створювати його. Тому на підприємствах впроваджують *систему менеджменту якості* - сукупність організаційної структури, відповідальності, методик, процесів, ресурсів, необхідних для здійснення управління якістю.

Перша система якості - система Тейлора (1905р.). Вона встановлювала вимоги до якості деталей у вигляді полів допусків на розмір, що був обмежений верхнім і нижнім відхиленням. Придатність деталі визначалася прохідними і непрохідними калібрами. Успішне функціонування системи Тейлора забезпечувалося інспекторами у сфері якості (технічними контролерами). Система мотивації передбачала штрафи за дефекти і брак, а також звільнення. Система навчання зводилася до професійного навчання і навчання працювати з вимірювальним і контрольним пристосуванням. Взаємовідносини з постачальниками і споживачами будувалися на основі вимог, що були встановлені технічними умовами. Їх виконання перевірялося приймальним контролем (вхідним і вихідним). Усі відзначені вище особливості системи Тейлора робили її системою управління якістю кожного окремо взятого виробу, тобто дозволяла відокремити дефектні вироби від придатних.

У 1924 р. в американській фірмі *Bell Telephone Laboratories* була створена група під керівництвом д-ра Р.Л.Джонса, яка заклала основи статистичного управління якістю. Це були розробки контрольних

карт, виконані В. Шухартом, таблиці вибіркового контролю, розроблені Х. Доджем і Х. Ромінгом.

У 50-і роки була висунута концепція тотального (загального) контролю якості - TQC. Її автором був американський вчений А.Фейгенбаум. Під загальним контролем якості Фейгенбаум розумів таку систему, яка дозволяла вирішувати проблему якості продукції і її ціни залежно від вигоди споживачів, виробників і дистриб'юторів. Фейгенбаум запропонував розглядати якість не як кінцевий результат виробництва продукції, а залучити до його забезпечення весь персонал організації на кожному етапі створення виробу.

Завдяки Е. Демінгу, запропонована Фейгенбаумом система загального контролю якості набула свого подальшого розвитку і була впроваджена в практику роботи японських підприємств. Система TQC розвивалася в Японії з великим акцентом на застосуванні статистичних методів і залученні персоналу до роботи в гуртках якості. Самі японці довгий час підкреслювали, що вони використовують підхід TQSC, де S - Statistical (статистичний). У виробництві акцент з виявлення дефектів був перенесений на їхнє попередження шляхом виявлення причин дефектів і їхнього усунення на основі вивчення процесів і управління ними. Ускладнилися задачі у сфері якості, що розв'язували конструктори, технологи і робітники, тому що вони повинні були розуміти, що таке варіації і мінливість, а також знати, якими методами можна досягти їхнього зменшення. З'явилася спеціальність - інженер з якості, який аналізував якість і дефекти виробів, розробляв контрольні карти і т.п. Цей період характеризується тим, що з'явилися документовані системи якості, які установлювали відповідальність і повноваження, а також взаємодію в сфері якості всього керівництва підприємства, а не тільки фахівців служби якості. Системи мотивації стали орієнтуватися на людський фактор. Матеріальне стимулювання зменшувалося, моральне збільшувалося. Головними мотивами якісної праці стали робота в колективі, визнання досягнень колегами і керівництвом, турбота фірми про майбутнє працівника, його страхування і підтримка його родини. Велика увага приділяється навчанню. В Японії і Кореї працівники навчаються в середньому від декількох тижнів до місяця, використовуючи при цьому і самонавчання. Звичайно, впровадження і розвиток концепції TQC в різних країнах світу здійснювалося нерівномірно. Явним лідером у цій справі була Японія, хоча всі

основні ідеї TQC були породжені в США і у Європі. У результаті американцям і європейцям довелося вчитися в японців. Однак це навчання супроводжувалося і нововведеннями.

У Європі стали приділяти велику увагу документуванню систем забезпечення якості і їх перевірок третьою (незалежною) стороною. Особливо слід зазначити британський стандарт BS 7750, що значно підняв інтерес європейців до проблеми забезпечення якості і сертифікації систем якості.

Варто зазначити, що етап розвитку системного, комплексного управління якістю не пройшов повз Радянський Союз. У СРСР відомими були Саратовська система БИП (бездефектное изготовление продукции), Горьківська система КАНАРСПИ (Качество Надежность Ресурс С Первых Изделий), Ярославська система НОРМ (научная организация работ по увеличению моторесурса), Львівська система СБТ (система бездефектного труда) і загальносоюзна КС УКП (комплексная система управления качеством продукции).

У 70-80 роках почався перехід від тотального контролю якістю до тотального менеджменту якості (TQM). У 1987 році з'явилася серія нових міжнародних стандартів ISO серії 9000 на системи якості, що зробили істотний внесок у розповсюдження передових досягнень у сфері якості. Ці стандарти безпосередньо стосуються виробничих процесів, сфери управління. Вони встановлюють вимоги не до самої продукції, а до управління її якістю – Системи Менеджменту Якісті (СМЯ). СМЯ забезпечує впевненість замовників і споживачів у якості продукції, що вони одержують, а також поліпшує діяльність підприємства. Стандарти ISO серії 9000 прийняті як національні у більш ніж 140 країнах світу.

Впровадження цих стандартів пов'язане з конкурентною боротьбою за споживача. Якщо в 60-і роки вважалося, що для успіху достатньо, щоб продукції було багато й дешевої, то в 90-і роки конкуренція цін замінюється конкуренцією якості. Нині 80% покупців, приймаючи рішення про покупку, ставлять на перше місце якість продукції.

Міжнародні стандарти серії 9000 пропонують прийнятні економічні рішення, відкривають доступ до знань і досвіду передових країн.

Кожні 5 років міжнародні стандарти ISO серії 9000 переглядаються. Перша версія цих стандартів була затверджена у

1987р., друга версія – у 1994р., наступні версії затверджувалися 2000р., 2008р.

Зміни, що вносять у стандарти, пов'язані зі зміною підходу до споживача. Стандарти першої версії націлювали підприємства на забезпечення якості, тобто на відповідність нормативним документам. Тепер уже недостатньо випускати продукцію, що відповідає тільки нормам, але не завжди конкурентоспроможну. Тому остання версія стандартів носить гуманістичний характер, орієнтує підприємства на вивчення вимог споживачів, їх задоволення, аналіз рівня задоволеності споживачів і його підвищення.

До складу стандартів серії 9000 входять такі стандарти:

1. ISO 9000 - Системи менеджменту якості. Основні положення й словник термінів (заміняє ISO 8402-91).

Цей стандарт описує основні положення систем менеджменту якості й встановлює термінологію для систем менеджменту якості.

2. ISO 9001 - Системи менеджменту якості. Вимоги

Цей стандарт визначає вимоги до систем менеджменту якості для тих випадків, коли організації необхідно продемонструвати свою здатність надавати продукцію, що відповідає вимогам споживачів, і спрямований на підвищення задоволеності споживачів. Він може бути використаний для внутрішнього застосування організаціями, для сертифікації або при укладанні контрактів.

3. ISO 9004- Системи менеджменту якості. Рекомендації з поліпшення.

Цей стандарт містить рекомендації з безперервного вдосконалювання загального функціонування організації, її ефективності й результативності. Він рекомендується для організацій, вище керівництво яких прагне йти далі вимог ISO 9001, але не призначений для сертифікації або використання в контрактних цілях.

4. ISO 19011- Посібник із проведення аудиту систем менеджменту якості й навколишнього середовища.

Цей стандарт містить методичні вказівки з аудиту систем менеджменту якості й охорони навколишнього середовища.

Перелічене сімейство стандартів ISO серії 9000 розроблене для того, щоб допомогти організаціям усіх форм власності, видів і розмірів впровадити й забезпечити функціонування ефективних систем менеджменту. Ці стандарти сприяють взаєморозумінню в національній і міжнародній торгівлі. Вони не відмінюють технічні

умови на продукцію, а є доповненням до них. Цілі в області якості доповнюють інші цілі організації, що пов'язані з розвитком, фінансуванням, рентабельністю, навколишнім середовищем, охороною праці й безпекою. Різні частини системи менеджменту (разом із системою менеджменту якості) можуть бути інтегровані в єдину систему менеджменту. Це допоможе полегшити планування, виділення ресурсів, визначення цілей і оцінку ефективності організації.

Ефективність функціонування СМЯ забезпечується вісьмома принципами, що покладені в її основу. До цих принципів належать:

- орієнтація на споживачів;
- відповідальність керівництва;
- залучення персоналу;
- процесний підхід;
- системний підхід;
- прийняття рішень, що ґрунтуються на фактах;
- постійне поліпшення;
- взаємовигідні стосунки з постачальниками.

Перераховані принципи роблять підприємство життєздатним, тому що при наявності споживачів будуть фінансові надходження. Крім цього, до командної роботи залучаються керівники та персонал організації. Для попередження дефектів робота організується як процес із забезпеченням ресурсами та документацією. Підрозділи підприємства, щоб забезпечити випуск продукції відповідно до вимог зовнішніх споживачів, пов'язані між собою відносинами: внутрішній споживач – внутрішній постачальник. При цьому підрозділи, що передають виконане завдання на наступний етап виробничого ланцюга, називаються внутрішніми постачальниками. Підрозділи, що отримують завдання до виконання, називаються внутрішніми споживачами. Використання статистичних методів дозволяє відслідковувати зміни у виробничому процесі і документувати їх. На цій підставі приймаються рішення про проведення заходів для поліпшення процесів. Виходячи з того, що підприємство відповідальне за якість кінцевого продукту, до постачальників комплектуючих висувуються вимоги щодо впровадження системи якості на їх виробництві.

Система менеджменту якості розповсюджується на всі етапи життєвого циклу (ЖЦ) продукції, починаючи від виявлення потреби в ній до зняття з виробництва.

Функції, що виконує система якості, можна поділити на:

- 1) функції оперативного управління якістю;
- 2) функції стратегічного управління якістю.

Склад функцій оперативного управління (коригувальні та запобіжні дії):

- оперативний аналіз поточних даних, виявлення причин порушень, відхилень, невідповідностей, браку, дефектів;
- оцінювання стану робіт із забезпечення якості;
- розроблення, погодження та затвердження заходів з профілактики та усунення порушень, відхилень, невідповідностей, браку, дефектів;
- організація та регулювання вжитих запланованих заходів;
- збір та систематизація поточних даних з порушень, відхилень, невідповідностей, що виникають при забезпеченні якості у процесах виробництва;
- контроль та облік результатів вжитих заходів;
- формування звітності щодо вжитих заходів, інформування керівництва та зацікавлених підрозділів

Склад функцій стратегічного управління (систематичної діяльності з поліпшення якості)

- аналіз та оцінювання технічного рівня і якості продукції;
- аналіз та оцінювання рівня та ефективності витрат на роботи із забезпечення якості;
- аналіз та оцінювання ефективності функціонування системи якості, задоволення потреб споживачів;
- розроблення, погодження та затвердження політики у сфері якості, стратегічних завдань (планів) та програм якості;
- організація та координація робіт з виконання програм якості;
- організація нормативно-технічної підготовки робіт із забезпечення якості (в т.ч. формування фонду документів, аналіз та контроль за виконанням вимог нормативних документів);
- організація нормативно-правової підготовки робіт із забезпечення якості;
- організація робіт з підготовки до сертифікації продукції та системи якості, атестації виробництва;

- організація робіт з впровадження прогресивних методів стимулювання персоналу щодо забезпечення якості;
- організація робіт з навчання персоналу методам забезпечення та поліпшення якості;
- контроль та облік робіт з виконання програм якості;
- ведення звітності робіт у сфері забезпечення якості;
- збір та систематизація інформації щодо забезпечення якості (методичної, економічної, технічної).

Реалізація функцій СМЯ дозволяє контролювати не кожен окрему одиницю продукції, а сам процес, що дозволяє уникнути появи браку або виробництво продукції низької якості.

Розробка системи менеджменту якості, її впровадження і функціонування є основою для випуску високоякісної продукції. Крім цього, це універсальна система ефективного управління, що дозволяє об'єднати інтереси споживача й постачальника

4.9 Сертифікація

Розвиток ринкових відносин в Україні, значне збільшення продукції, ввезеної з-за кордону, обумовили необхідність контролю якості як вітчизняної, так і імпортової продукції. З метою захисту споживачів в Україні була створена Система сертифікації продукції УкрСЕПРО.

Система сертифікації - система, що має власні правила процедури й управління для проведення сертифікації відповідності.

Під *сертифікацією відповідності* розуміють комплекс дій, які виконує третя незалежна сторона і доводить, що ідентифікована продукція, процес або послуга відповідає конкретному стандарту або іншому нормативному документу.

При позитивному результаті сертифікації видається спеціальний документ - сертифікат відповідності або знак відповідності, що підтверджує відповідність продукції або послуг вимогам стандартів.

Сертифікація, крім попередження появи на ринку недоброякісних товарів, є засобом установавання довіри між виробниками, постачальниками й споживачами цієї продукції. Вона є однією з умов експортно-імпортних контрактів. Для участі в

міжнародній торгівлі наявність сертифіката на продукцію й систему якості є обов'язковою умовою.

Системи сертифікації можуть створюватися на трьох рівнях :

- національному;
- регіональному;
- міжнародному.

Міжнародна система сертифікації створюється й управляється неурядовою міжнародною організацією, членом якої може стати будь-яка країна світу. Вона базується на міжнародних стандартах ISO серії 9000 і технічних умовах на продукцію. Сертифікація відповідності вимогам міжнародних стандартів має велике значення для міжнародної торгівлі, тому що відкриває безперешкодний доступ на ринки інших країн.

Міжнародними організаціями, що займаються роботами в області сертифікації продукції, оцінки систем забезпечення якості постачальників і взаємного визнання результатів випробувань продукції, є:

1. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) і в її рамках спеціалізований орган CASCO.
2. Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК).
3. Керівний комітет із сертифікації.
4. Координаційний комітет із нагляду.

Регіональна система сертифікації об'єднує організації, що займаються одним видом діяльності у регіоні. Ця система сертифікації зустрічається рідко.

Національна система сертифікації базується на стандартах і технічних умовах, що прийняті за основу в певній державі, і всі організації керуються цими національними правилами. Обов'язковою умовою для національної системи сертифікації є наявність таких організацій (рисунок 4.3):

1. Національної головної організації.
2. Національної організації зі стандартизації.
3. Національної служби перевірки.

Міжнародна сертифікація має перевагу перед національною. Товар з міжнародним сертифікатом може реалізовуватися в країнах, де ці сертифікати визнані на державному рівні. Для підвищення конкурентоспроможності продукції й визнання національних

сертифікатів, держави затверджують міжнародні стандарти як національні.

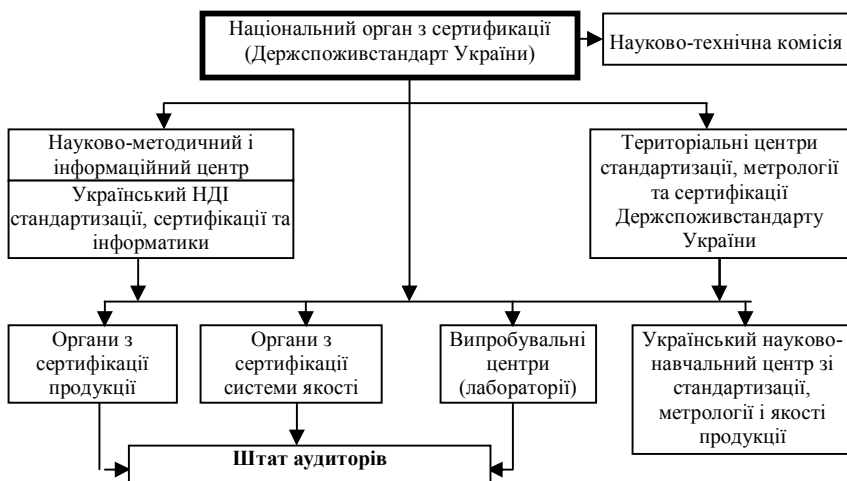


Рисунок 4.3 – Організаційна структура системи сертифікації УкрСЕПРО

Національний орган із сертифікації розробляє стратегію розвитку сертифікації, веде реєстр системи, затверджує перелік продукції, яка підлягає сертифікації.

Науково-технічна комісія розглядає перспективні напрямки розвитку сертифікації.

Науково-методичний і інформаційний центр розробляє організаційно-методичні документи цієї системи (УкрСЕПРО), готує проекти законів в області сертифікації, пропозиції щодо продукції, яка підлягає сертифікації, інформаційне забезпечення.

Територіальні центри зі стандартизації, метрології й сертифікації виконують технічний нагляд за сертифікованою продукцією, надають метрологічну допомогу в акредитації випробувальних лабораторій, у сертифікації продукції й системи якості.

Органи з сертифікації продукції займаються сертифікацією продукції, технічним наглядом за виробництвом, атестацією виробництва, видачею сертифікатів на продукцію.

Органи з сертифікації системи якості займаються сертифікацією системи якості, технічним наглядом за системою якості, видачею сертифікатів на системи якості.

Випробувальні центри і лабораторії здійснюють випробування сертифікованої продукції, технічний і інспекційний нагляд.

Український науково-навчальний центр зі стандартизації, метрології і якості продукції займається підготовкою аудиторів.

Сертифікація в системі УкрСЕПРО передбачає підтвердження третьою стороною показників, характеристик і можливостей продукції, процесів, послуг на основі випробувань, атестації виробництва й сертифікації системи якості. Право на проведення робіт із сертифікації дається органам із сертифікації, випробувальним лабораторіям і аудиторам, які акредитовані в системі й внесені до реєстру системи.

Реєстр-це книга для запису об'єктів і суб'єктів реєстрації в системі УкрСЕПРО.

Рішення про реєстрацію в системі приймає національний орган із сертифікації – Держспоживстандарт України, який здійснює ведення реєстру і є власником реєстраційних номерів.

У реєстрі вказуються:

- продукція;
- системи якості;
- атестовані виробництва;
- органи з сертифікації;
- випробувальні лабораторії;
- атестовані аудитори.

В Україні розрізняють обов'язкову й добровільну сертифікацію. Продукція, до якої висуваються вимоги щодо безпеки життя й здоров'я людей, охорони навколишнього середовища, підлягає обов'язковій сертифікації у встановленому порядку. Реалізація й споживання такої продукції без наявності сертифіката, що підтверджує відповідність цієї продукції державним стандартом, забороняється. Сюди відноситься електропобутове обладнання, світлотехнічні установки, електромеханічні машини, радіоелектронна апаратура, обчислювальна техніка, медтехніка, іграшки, засоби миття, метало- і деревообробне обладнання й інші товари.

Добровільна сертифікація має на меті дати об'єктивну оцінку якості продукції і її стабільності. При добровільній сертифікації

організації-виробники самі приймають рішення щодо доцільності проведення цієї роботи, про вибір системи й органу з сертифікації. Добровільна сертифікація, з огляду на міжнародні торгово-економічні відносини, дає цілий ряд незаперечних переваг:

1) підвищує довіру до якості виробів, що експортуються до інших країн;

2) запобігає імпорту в країну виробів, що не відповідають необхідному рівню якості;

3) спрощує вибір продукції споживачем;

4) захищає виробника від конкуренції з постачальниками несертифікованої продукції й забезпечує йому рекламу й ринок збуту;

5) поліпшує якість стандартів за рахунок виявлення в них застарілих положень і стимулює переробку цих стандартів.

Обов'язкова й добровільна сертифікація, залежно від специфіки продукції й особливостей виробництва, проводяться за однією із схем, кожна з яких передбачає різний обсяг сертифікаційних робіт.

Схема 1.

Застосовується в одиничному виробництві для конкретного виробу. Сертифікат видається на кожний виріб, який пройшов випробування. Технічний нагляд після видачі сертифіката не проводиться.

Схема 2.

Застосовується в одиничному виробництві при випуску окремої партії продукції. Випробування проводяться на зразках, відібраних з партії в кількості й порядку, встановленими органом із сертифікації. За результатами випробувань видається сертифікат на конкретну партію продукції. Технічний нагляд після видачі сертифіката не проводиться.

Схема 3.

Застосовується для одиничного виробництва при випуску партії продукції. Випробування проводяться на зразках, відібраних з партії в кількості й порядку, встановленими органом із сертифікації. Сертифікат відповідності видається на конкретну партію продукції. За узгодженням із замовником передбачається атестація виробництва з наступним технічним наглядом.

Схема 4.

Застосовується для продукції, що випускається серійно. Випробування проводяться на зразках, відібраних у порядку й

кількості, встановленими органом із сертифікації. З метою визначення вузьких місць проводиться обстеження виробництва. Сертифікат видається строком до 2-х років. Технічний нагляд здійснюється шляхом періодичного проведення випробувань зразків продукції.

Схема 5.

Застосовується для продукції, що випускається серійно. Випробування проводяться на зразках, відібраних у порядку й кількості, встановленими органом із сертифікації. За цією схемою здійснюється атестація виробництва. Сертифікат видається на строк не більше 3-х років. Органи з сертифікації періодично проводять технічний нагляд за виробництвом.

Схема 6.

Застосовується для продукції, що випускається серійно. Випробування проводяться на зразках, відібраних у порядку й кількості, встановленими органом із сертифікації. Здійснюється сертифікація системи якості. Сертифікат відповідності видається на термін дії не більше 5-ти років. За цією схемою проводиться технічний нагляд за виробництвом.

Схема 7.

Застосовується для продукції, що випускається серійно. Випробування проводяться на зразках, відібраних у порядку й кількості, встановленими органом із сертифікації. Здійснюється атестація виробництва й сертифікація системи якості. Термін дії сертифіката до 5-ти років.

Схема 8.

За цією схемою підприємство самостійно проводить самосертифікацію (або залучає орган із сертифікації), бере на себе відповідальність і гарантує, що не допустить надходження продукції, яка не відповідає стандартам. Виробник оформляє декларацію про відповідність виготовленої їм продукції.

Декларування – це повна відповідальність виробника за виготовлену продукцію.

Сертифікація – часткове перекладання виробником відповідальності за відповідність продукції на орган із сертифікації.

Обстеження виробництва проводиться з метою перевірки умов виробництва, що забезпечують стабільний рівень характеристик продукції, відповідності конструкторської й технологічної документації вимогам нормативних документів, що діють в Україні,

стану виробничого обладнання, системи контролю показників технологічного процесу.

Атестація виробництва проводиться з метою оцінки технічних можливостей підприємства-виробника щодо забезпечення стабільності показників якості продукції.

Сертифікація виробництва проводиться з метою набути впевненості у відповідності системи якості підприємства вимогам ДСТУ ISO 9001 і в тому, що виробник може постійно випускати продукцію, відповідну до вимог нормативних документів.

Порядок проведення сертифікації продукції (технічних, програмних засобів, матеріалів, послуг):

1. Надання й розгляд заяви встановленої форми з сертифікації продукції.

2. Аналіз органом із сертифікації поданої документації.

3. Ухвалення рішення за заявою із зазначенням схеми сертифікації.

4. Обстеження виробництва.

5. Атестація виготовленої продукції, яка сертифікується, або сертифікація системи якості, якщо це передбачене схемою сертифікації.

6. Відбір ідентифікованих зразків продукції і їх випробування.

7. Аналіз отриманих результатів і ухвалення рішення про можливість надання сертифіката відповідності й ліцензії.

8. Видача сертифіката відповідності, ліцензії й запис сертифікованої продукції до Реєстру.

9. Технічний нагляд сертифікованої продукції під час виробництва.

Кілька років тому одержати сертифікат на відповідність ISO 9001 могли тільки найбільші компанії й підприємства. Сьогодні сертифікат став доступний іншим, у тому числі й підприємствам малого й середнього бізнесу. У даний момент одержати сертифікат відповідності може дозволити собі будь-яке підприємство, незалежно від свого статусу.

Перебудувавши Систему управління, підприємства досягають значних результатів:

- у підвищенні керованості підприємством шляхом розподілу відповідальності й делегування повноважень;

- у забезпеченні розвитку підприємства за рахунок підвищення компетентності персоналу і його залучення до процесів управління;
- у прозорості діяльності на основі використання процесного підходу до побудови основних видів діяльності;
- у підвищенні конкурентоспроможності за рахунок створення системи забезпечення постійних поліпшень діяльності.

Одержання сертифіката є черговим, але далеко не завершальним етапом процесу побудови й розвитку СМЯ.

Контрольні питання до розділу 4

1. Що означає якість продукції для споживача, підприємства, держави?
2. Які вимоги висуваються до підприємств для випуску конкурентоспроможної продукції?
3. Що називається якістю продукції?
4. Які методи виробники використовують для просування товарів на ринку?
5. Що називається показником якості продукції?
6. Яким вимогам повинні відповідати показники якості?
7. Які є показники якості?
8. Який показник якості називається одиничний, комплексний, інтегральний?
9. Що називається рівнем якості продукції?
10. Для вирішення яких задач необхідна оцінка рівня якості продукції?
11. Які методи застосовують для оцінки рівня якості продукції?
12. У чому полягає диференціальний, комплексний, змішаний метод оцінки рівня якості?
13. Для чого використовують контроль якості продукції?
14. Яке призначення мають вхідний, операційний, приймальний, виробничий, інспекційний контроль?
15. Який контроль називають суцільним, вибіркоvim, періодичним, безперервним, летючим?
16. У чому полягає різниця між ручним, механізованим, автоматизованим і активним контролем?

17. За якими ознаками визначається готовність підприємства до випуску конкурентоспроможної продукції?
18. Який метод контролю називають статистичним?
19. У чому полягає одноступінчастий, двоступінчастий, багатоступінчастий, послідовний контроль?
20. У чому полягає статистичне регулювання технологічного процесу?
21. Як будується контрольна карта?
22. Які методи об'єднують «сім інструментів якості продукції»?
23. На які групи поділяють засоби контролю якості?
24. Що являє собою система менеджменту якості?
25. Що являє собою система якості Тейлора?
26. У чому полягає концепція тотального контролю якості?
27. Які системи якості діяли у Радянському Союзі?
28. У чому полягає особливість стандартів ISO серії 9000?
29. Які функції виконує система якості?
30. Що представляє собою система сертифікації?
31. Що розуміють під сертифікацією відповідності?
32. Яка продукція підлягає обов'язковій сертифікації?
33. Для чого проводиться добровільна сертифікація?
34. Який порядок має проведення сертифікації?

Література

1. Основні положення: ДСТУ 1.0:2003. – [чинний від 2003-02-24]. – К.: Держпоживстандарт України, 2003. – 20 с. – (Національний стандарт України).
2. Стандартизація та сумісні види діяльності. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 1.1:2001. – [чинний від 2001-05-29]. – К.: Держпоживстандарт України, 2001. – 37 с. – (Державний стандарт України).
3. Правила розроблення національних нормативних документів: ДСТУ 1.2:2003. – [чинний від 2003-02-24]. – К.: Держпоживстандарт України, 2003. – 16 с. – (Національний стандарт України).
4. Правила побудови, викладення, оформлення, погодження, прийняття та позначення технічних умов: ДСТУ 1.3:2004. – [чинний від 2004-04-30]. – К.: Держпоживстандарт України, 2004. – 20 с. – (Національний стандарт України).
5. Правила побудови, викладення, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів (ISO/IEC Directives, part 2.2001, NEQ): ДСТУ 1.5:2003. – [чинний від 2003-07-01]. – К.: Держпоживстандарт України, 2003. – 42 с. – (Національний стандарт України).
6. Правила і методи прийняття та застосування міжнародних і регіональних стандартів (ISO/IEC Guide 21: 1999, NEQ): ДСТУ 1.7:2001. – [чинний від 2001-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – ___ с. – (Національний стандарт України).
7. Правила надавання повідомлень торговим партнерам України: ДСТУ 1.13:2002. – [чинний від 2003-01-01]. – К.: Держстандарт України, 2002. – 36 с. – (Державний стандарт України).
8. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения/Олександр Сергеевич Васильев. – М: Машиностроение, 1988. – 240 с.
9. Метрологія. Терміни та визначення. Основні положення: ДСТУ2681-94 – [чинний від 1998-01-01]. – К: Держстандарт України, 1994. – 68 с. – (Державний стандарт України).
10. Метрологія. Метрологічне забезпечення. Основні положення: ДСТУ2682-94. – [чинний від 1995-01-01]. – К: Держстандарт України, 1994. - ___ с. – (Державний стандарт України).

11. Тартаковский Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерения: уч. [для студ. высш. уч. зав.]/Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М: Высш. шк., 2001. – 205 с.
12. Метрологія та вимірювальна техніка/[Дорожовець М.М., Яцук В.О., Ванько В.М., Бойко Т.Г.]; підруч. за ред. Є.С. Поліщука. – Львів: “Бескид Біт”, 2003. – 544 с.
13. Управление качеством и сертификация . Учеб. пособие/В.А.Васильев, Ш.Н.Каландарашвили, В.А.Новиков и др. Под ред. В.А.Васильева. –М.:Интернет Инжиниринг, 2002.-416с.
14. Качество и сертификация промышленной продукции. /А.Г.Гребеников, А.К.Мялища, В.М.Рябенко и др.. –Учеб.пособие. – Харьков:-Харьк.авиц.ин-т, 1998.-396с.
15. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения ГОСТ 15467-79 /срок введения установлен с 01.07.1979/. - М.: Издательство стандартов, 1987. -34с.
16. Основні положення та словник термінів. (ISO 9000:2005, IDT): ДСТУ ISO 9000:2007 [чинний від 2008-01-01]. – К: Держспоживстандарт України. 2007, -32с. (Національний стандарт України)
17. Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения ГОСТ 22851-77 /срок введения установлен с 01.01.1978/.- М.: Издательство стандартов, 1977.
18. Гисин В.И. Управление качеством продукции./ Гисин В.И. – Ростов на Дону: Фенікс, 2000. -256с.
19. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств./ Бурдаков В.Д. – М.: Изд-во стандартов. 1990.-160с.
20. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. ДСТУ 3021-95 [чинний від 1996-01-01]. - К.: Держспоживстандарт, 1995.- 75с. (Національний стандарт України)
21. Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Частина 0. Вступ до системи вибіркового контролю за альтернативною ознакою (ISO 2859-0:1995, IDT) : ДСТУ ISO 2859-0-2001 [Чинний від 01.07.2003]. - К.: Держспоживстандарт , 2001. -70с. (Національний стандарт України)
22. Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Частина 1. Плани вибіркового контролю, визначення приймального рівня якості для послідовного контролю партій (ISO 2859-1:1999, IDT) : ДСТУ ISO 2859-1-2001 [Чинний від

01.07.2003]. - К.: Держспоживстандарт , 2001.-91с. (Національний стандарт України)

23. Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Частина 2. Плани вибіркового контролю, визначення граничної якості для перевірки ізольованих партій (ISO 2859-2:1985, IDT) : ДСТУ ISO 2859-2-2001 [Чинний від 01.07.2003]. - К.: Держспоживстандарт , 2001.-30с. (Національний стандарт України)

24. Статистичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Частина 3. Вибіркові процедури з пропусками (ISO 2859-3:1991, IDT) : ДСТУ ISO 2859-3-2001 [Чинний від 01.07.2003]. - К.: Держспоживстандарт,2001, -22с. (Національний стандарт України)

25. Статичний контроль. Вибірковий контроль за альтернативною ознакою. Частина 4. Методи оцінювання заявлених рівнів якості (ISO 2859-4:2002, IDT) : ДСТУ ISO 2859-4:2004 [Чинний від 01.01.2006] . - К.: Держспоживстандарт, 2005, -18с. (Національний стандарт України)

26. Статистичний контроль. Вибірковий контроль за кількісною ознакою. Методика та карти контролю за кількісною ознакою відсоткової невідповідності (ISO 3951:1989, IDT) : ДСТУ ISO 3951-2001 [чинний від 2002-01-01]. –К.: Держспоживстандарт, 2001.-118с. (Національний стандарт України)

27. Статистические методы повышения качества. /под ред. Х. Кумэ. –М.: Финансы и статистика, 1990.- 304с.

28. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT) : ДСТУ ISO 8258:2001 [Чинний від 01.07.2003]. - К.: Держспоживстандарт, 2001. -38с. (Національний стандарт України)

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК**А**

абсолютна похибка, 358
автоматизований контроль , 407
автоматичний контроль, 407
агрегування, 46
атестація виробництва, 436

Б

база, 255
базова поверхня, 247
безперервний контроль, 407

В

вал, 87
верхнє відхилення , 90
взаємозамінність, 19, 84
вибірковий контроль, 407
види спряження зубчастих коліс, 229
види стандартів, 26
вимірювальна система, 357
вимірювальна установка, 357
вимірювальне зусилля, 364
вимірювальний контроль, 407
вимірювальний перетворювач, 357
вимірювальний прилад, 356
вимірювання, 351
вимірювання з наближеним оцінюванням, 359
вимірювання з попереднім оцінюванням, 359
випадкова похибка, 360
випереджувальна стандартизація, 50
виробничий контроль , 406
висота нерівностей профілю за десятьма точками, 280

висота хвилястості , 278
відносна опорна довжина профілю, 281
відносна похибка , 358
відхилення від паралельності осей, 226
відхилення від паралельності площин, 256
відхилення від перпендикулярності площин, 256
відхилення від площинності , 252
відхилення від прямолінійності, 252
відхилення від симетричності, 258
відхилення від співвісності відносно спільної осі, 257
відхилення геометричних параметрів, 248
відхилення кроку зачеплення, 221
відхилення кроку різі, 155
відхилення кутового кроку, 222
відхилення осьових кроків по нормалі, 227
відхилення половини кута профілю різі, 157
відхилення розташування, 255
відхилення форми заданої поверхні, 263
відхилення форми заданого профілю , 262
відхилення форми поверхні, 249
візуальний контроль, 407
внутрішній діаметр різі, 185
внутрішньорозмірна уніфікація , 43
внутрішня взаємозамінність, 85
вхідний контроль , 406

Г

галузева уніфікація, 44
гарантований бічний зазор, 231
головний параметр машини, 35
ГОСТ, 14
граничне відхилення, 90
граничні контури різі, 154
граничні розміри, 88
ГСТУ, 14, 30

Д

декларування, 435
Держстандарт СРСР, 18
диференційований контроль параметрів різі, 181
диференційований метод оцінки рівня якості, 401
дійсний розмір, 88 ,
довірчий інтервал, 361
допоміжний параметр, 36
допуск, 91
допуски круглості, циліндричності і площинності, 252
допуск перехідної посадки, 94
допуск посадки з натягом, 93
ДСТУ, 12, 14, 29

Е

екологічні показники, 393
економічні показники, 394
експлуатаційний контроль , 406
ергономічні показники, 391
естетичні показники, 392

Є

Європейська організація з контролю якості, 52
Європейська організація з якості, 52
ЄСКД, 62

З

зазор, 92
засоби вимірювань , 356

І

інспекційний контроль , 406
ISO, 13,14

К

калібри, 131
калібр-пробка, 134
калібр-скоба, 134
квалітет, 102
кінематична похибка передачі, 211
кінематична похибка зубчастого колеса, 212
кінематичні різі, 176
класифікатор, 62
класифікація, 43
кодування, 62
коливальне навантаження кілець підшипників, 144
коливання вимірювальної міжосьової відстані, 217
комплексна стандартизація, 48
комплексний метод оцінки рівня якості, 403
конструкторська уніфікація, 44
крок різі, 183

Л

летючий контроль, 407

М

межі вимірів, 364
метод аналогів, 108
метод базового агрегату, 48
метод модифікації, 48
метод паралельного поєднання, 48
метод подібності, 108
метод секціонування, 48
механізований контроль, 407
миттєва пляма контакту, 225
Міжнародна електротехнічна комісія, 52
міжнародний стандарт, 29
Міжнародний центр якості, 52

міжрозмірна уніфікація, 44
міжтипова уніфікація, 44
мікроінтерферометри, 294
мікрометричні інструменти, 374
міра, 356
місцеве навантаження кілець підшипників, 144

Н

найбільша висота нерівностей профілю, 280
накопичена похибка к кроків, 215
настанова, 29
натяг, 93
національний стандарт, 29
неповна взаємозамінність, 85
непряме вимірювання, 355
неруйнівний контроль, 407
номінальна поверхня, 246
номінальна форма, 246
номінальне розташування, 255
нормативна документація, 18
нульова лінія, 90

О

обернена задача, 302
об'єкт стандартизації, 12, 20
обстеження виробництва, 435
одиниця допуску, 102
операційний контроль, 406
опорна довжина профілю, 281
оптико-механічні засоби вимірювання, 376
органолептичний контроль, 407
основний вал, 96
основний отвір, 95
основний параметр, 36
основоположний стандарт, 26
отвір, 87

ОТТУ, 14. 30

П

патентно-правові показники, 393
передачі спільного призначення, 209
перекіс осей, 226
перехідна посадка, 94
періодичний контроль, 407
повна взаємозамінність, 85
позиційне відхилення, 259
поле допуску форми, 252
поле допуску форми заданого профілю, 262
показники безпеки, 394
показники надійності, 389
показники призначення, 389
показники стандартизації і уніфікації, 393
показники технологічності, 392
показник транспортабельності, 392
показник якості, 388
поріг чутливості, 364
посадка, 92
посадка з зазором, 92
посадка з натягом, 93
посадки в системі вала, 96
посадки в системі отвору, 95
постійна величина, 351
похибка вимірювання, 357
похибка показів, 364
похибка профілю зуба, 222
приведений середній діаметр різі, 159
призматичні шпонкові з'єднання, 188
приймальний контроль, 406
прилегла поверхня, 247
принципи стандартизації, 21
прості вимірювання, 355
профілограф, 290
профілометр, 290

пряма задача, 300
пряме вимірювання , 355

Р

радіальне биття, 260
растрові вимірювальні мікроскопи, 294
реальна поверхня, 246
реальне розташування , 255
регіональний стандарт, 29
регламент, 29
регламентація норм проектування, 78
реєстраційний контроль , 407
рівень якості продукції, 398
розмір, 87
розмірний ланцюг, 297
розрахунковий метод, 108
руйнівний контроль, 407
ручний контроль , 407

С

сегментні шпонкові з'єднання, 191
середнє арифметичне відхилення профілю, 279
середній діаметр різи, 181
середній крок місцевих виступів профілю , 280
середній крок нерівностей профілю, 280
середній крок хвилястості, 278
сертифікація відповідності, 430
сертифікація виробництва, 436
симпліфікація, 46
система валу, 96
система допусків і посадок, 94
система менеджменту якості, 424
система отвору, 95
система сертифікації, 430
систематизація, 43
систематична похибка , 359

складові ланки, 297
спільні вимірювання, 355
стандарт, 28
стандарт загальних технічних вимог, 27
стандарт на методи випробування, 26
стандарт на послугу, 27
стандарт на продукцію, 26
стандарт на процес, 26
стандарт на сумісність, 27
стандартизація, 12
статистичні виміри, 355
статистичні методи контролю , 411
СТП, 14. 30
сукупні вимірювання, 355
сумарна пляма контакту, 224
сумарна похибка контактної лінії, 225
сумарне відхилення форми та розташування , 260
суцільний контроль , 406

Т

термінологічний стандарт, 26
технічний огляд, 407
технічні умови, 29
технологічна класифікація деталей, 69
технологічна уніфікація, 44
типізація, 46
торцеве биття, 261
точність відліку , 364
трапецеїдальна різь, 177
ТУУ, 14, 30
TQC, 426
TQM, 426

У

уніфікація. 42
упорна різь, 178

Ф

функціональна взаємозамінність, 86

Ц

центрування шліців по бічних сторонах зубів , 197

центрування шліців по внутрішньому діаметру, 195

центрування шліців по зовнішньому діаметру, 197

циклічна похибка зубчастого колеса, 218

циклічна похибка передачі, 219

циркуляційне навантаження кілець підшипників, 144

ціна ділення шкали приладу, 363

Ш

шліцьові з'єднання з евольвентним профілем, 200

шліцьові з'єднання з прямобічним профілем, 195

шорсткість, 278

штангенінструменти, 372

штрихові міри, 371

Я

якість, 387

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Гатцук А.Д, 17

Д

Е. Демінг, 425

Х. Додж, 425

Р.Л.Джонс, 424

І

Іван Грозний, 16

П

Петро І, 16

Р

Х. Ромінг, 425

Т

Тейлор, 424

Ф

А.Фейгенбаум, 425

Ш

Шелоумов П.М, 17

Шувалов П.І, 17

В. Шухарт, 425

УДК 621-182.8 (075.8)

ББК 34 ц

I -35

**Івченко Леонід Йосипович
Петрикін Володимир Васильович
Дядя Сергій Іванович
Левченко Борис Миколайович**

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Навчальний посібник

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Редактор

Комп'ютерний набір і верстка

К.С. Бондарчук

А.О. Коляда

ISBN 966-87-2

Вид. комплекс ВАТ «Мотор Січ»