

Л.І. БОЖЕНКО

СТАНДАРТИЗАЦІЯ
МЕТРОЛОГІЯ
МА **КВАЛІМЕТРІЯ**
У МАШИНОБУДУВАННІ

Допущено Міністерством освіти і науки України

ЛЬВІВ
ВИДАВНИЦТВО "СВІТ"
2003

ББК 34я7
Б 76
УДК 389.6:621

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. Т. І. Рибак
(Тернопільський технічний університет ім. І. Пулюя),
канд. техн. наук, доц. О. В. Манько
(Українська академія друкарства, м. Львів)

«Допущено Міністерством освіти і науки України»
(Лист № 14/18.2-562 від 26.04.01)

Редактор *Л. І. Крюкевич*

Боженко Л.І.

Б 76 Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні: Навч. посібник. — Львів: Світ, 2003. — 328 с.; іл.
ISBN 966-603-200-7.

У посібнику викладено основні положення та методологію стандартизації, терміни й визначення, принципи та методи стандартизації, класифікації, систематизації та кодування технічної інформації. Усі розділи посібника закінчуються контрольними запитаннями для самоперевірки знань.

Для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів.

ББК 34я7

ISBN 966-603-200-7

© Боженко Л.І., 2003

ПЕРЕДМОВА

Завдання вищої школи — підготувати для народного господарства фахівців, спроможних орієнтуватись у питаннях сучасного машино- та приладобудування, використовувати нові технології, досягнення науки, техніки та вимоги стандартів, що гарантуватиме високу якість продукції.

Система стандартів, розроблених у самостійній Україні, враховує як реальний стан виробництва у державі, так і сучасні вимоги стандартів розвинених країн, новітні конкурентоспроможні технології та перспективу інтеграції праці у світі. Тому видання посібників, підручників, довідників для всіх рівнів навчання та підготовки спеціалістів зі стандартизації, метрології, технічних вимірювань, кваліметрії, сертифікації, забезпечення та керування якістю продукції є сьогодні актуальним завданням. Недостатньо забезпечене аналогічною технічною літературою й виробництво.

В Україні прийняті Закони з метрології та метрологічної діяльності, стандартизації, підтвердження відповідності та акредитації органів з оцінки відповідності. Тому розроблення навчальної літератури зі стандартизації, метрології та кваліметрії у машино- та приладобудуванні є своєчасним. Такий посібник потрібний не тільки викладачам і студентам навчальних закладів, а й спеціалістам, що працюють у промисловості чи інших галузях народного господарства України.

Методи та засоби стандартизації, метрології та кваліметрії практично єдині для всього народного господарства, особливо для машино- та приладобудування. Відмінності їх для окремих галузей зумовлені переважно видом, габаритними розмірами та масою або матеріалами, використовуваними для виготовлення продукції чи окремих виробів (заготованок, деталей, вузлів, механізмів, агрегатів, апаратів, машин, верстатів, автоматичних ліній, комплексів тощо). З метою скорочення термінології у словосполученні "машино- та приладобудування" опустимо термін "приладо-" і будемо вживати лише "машинобудування".

Усі терміни, норми, правила, подані у підручнику, є об'єктами стандартизації. У стандартах вони написані у стислій технічно-юридичній формі та призначені для використання фахівцями з окремих галузей техніки, які мають достатній рівень кваліфікації. Оскільки студенти здебільшого ще не мають такої квалі-

фікації для вивчення основ стандартизації, метрології та кваліметрії, терміни та інші матеріали підручника подані у доступнішій для них формі.

Пропонований посібник складається з трьох частин і вісімнадцяти глав. У першій частині "Стандартизація у машинобудуванні" викладено загальні поняття та методологію стандартизації як в Україні, так і в світі; рекомендації, правила та принципи забезпечення взаємозамінності, загальну характеристику з'єднань у машинобудуванні; стандартизацію взаємозамінності гладких циліндричних і конічних з'єднань, зубчастих коліс і передач, виробів з багатьма робочими поверхнями, відхилень форми та взаємного розміщення поверхонь, їх шорсткості та хвилястості; методи та способи розв'язування задач з розмірними ланцюгами.

Друга частина "Метрологія у машинобудуванні" присвячена методам, видам і засобам вимірювальної техніки, приладам для вимірювання лінійних і кутових розмірів, спеціальним засобам вимірювання з підвищеною точністю; засобам вимірювання та контролю якості поверхонь; автоматизації процесів і засобів вимірювальної техніки та автоматичним програмним оброблювальним системам.

У третій частині "Контроль якості продукції у машинобудуванні" подано класифікацію промислової продукції та показників її якості; характеристику, методикку визначення та добору показників якості виробів; методи визначення рівня якості продукції, окремих і опосередкованих показників рівня її якості; системи забезпечення та керування якістю продукції, штрихове кодування та маркування продукції, визначення відповідності продукції вимогам стандартів.

Метрологію та стандартизацію, як окремі дисципліни, вивчають у різних обсягах у багатьох вищих навчальних закладах різних рівнів. Сертифікацію та акредитацію в Україні, як і в багатьох державах з соціалістичною економікою, почали вивчати порівняно недавно.

У зв'язку з переходом господарства України на ринкові відносини та значним зростанням ролі якості продукції доцільно було би внести відповідні зміни у навчальні програми з підготовки спеціалістів, розширивши розділи з основ метрології, кваліметрії, сертифікації продукції та сприяти проникненню їх методів у процес вивчення спеціальних дисциплін. Сучасний інженер окрім дисциплін, які належать до спеціальних, чи профільних, має орієнтуватись також у питаннях метрології, контролю якості, сертифікації та відповідності продукції, вміти вести пошук і добирати методи, способи та засоби інформаційно-вимірювальної техніки; обробляти, використовувати, передавати та користуватись цими знаннями у повсякденній праці. Автор сподівається, що пропорований посібник буде корисним у вирішенні зазначених задач.

СТАНДАРТИЗАЦІЯ У МАШИНОБУДУВАННІ

ЧАСТИНА 1

Глава 1.1

Загальні поняття стандартизації

1.1.1. Основні положення. Терміни й визначення

Основні терміни зі стандартизації визначені Міжнародним комітетом з вивчення наукових принципів стандартизації, створеним Радою міжнародної організації зі стандартизації (ISO) та стандартами Державної системи стандартизації України.

Стандартизація як галузь науково-технічної діяльності є методологічною дисципліною для розвитку науки та техніки. Основу її становлять стандартознавство, теорія класифікації, метрології, кодування, оброблення та передавання інформації, узагальнені результати науки, техніки, практичного експерименту та виробництва, спрямовані на досягнення оптимальної користі для суспільства.

Головним завданням стандартизації є створення системи нормативно-технічної документації, що висуває прогресивні вимоги до продукції, призначеної для потреб народного господарства, населення й оборони держави, забезпечує контроль за їх дотриманням.

У травні 2001 р. прийнято Закон України "Про стандартизацію", що визначає правові та організаційні засади стандартизації й спрямований на забезпечення єдиної технічної політики в цій сфері. У законі подані такі основні терміни та їх визначення:

стандартизація — діяльність, що полягає у розробленні положень для загального та багаторазового застосування щодо наявних чи можливих завдань з метою досягнення оптимального ступеня впорядкування у певній сфері, результатом якої є

підвищення ступеня відповідності продукції, процесів та послуг їх функціональному призначенню, усунення бар'єрів у торгівлі, сприяння науково-технічній співпраці;

міжнародна стандартизація — стандартизація, чинна на міжнародному рівні, участь у ній відкрита для відповідних органів усіх країн;

регіональна стандартизація — стандартизація, що запроваджується на відповідному регіональному рівні, участь у ній відкрита для відповідних органів країн певного географічного або економічного простору;

національна стандартизація — стандартизація, чинна на рівні однієї країни;

орган стандартизації — орган, що займається стандартизацією, визнаний на національному чи міжнародному рівні, основними функціями якого є розроблення, схвалення чи затвердження стандартів;

нормативний документ — документ, який визначає правила, загальні принципи чи характеристики різних видів діяльності або їх результати. Цей термін охоплює такі поняття, як "стандарт", "кодекс ustalеної практики" та "технічні умови";

консенсус — загальна згода, яка характеризується відсутністю серйозних заперечень з сутєвих питань у більшості зацікавлених сторін та досягається внаслідок процедури, спрямованої на врахування думки всіх сторін і зближення розбіжних точок зору;

стандарт — документ, що містить правила для загального й багаторазового застосування, загальні принципи або характеристики, які стосуються діяльності чи її результатів, з метою досягнення оптимального ступеня впорядкованості у певній галузі, розроблений у встановленому порядку на основі консенсусу;

міжнародний та регіональний стандарти — стандарти, затверджені відповідним та регіональним органами стандартизації;

національні стандарти — державні стандарти України, запроваджені центральним органом виконавчої влади у сфері стандартизації та доступні для широкого кола користувачів;

кодекс ustalеної практики — документ, у якому подані правила чи процедури проєктування, виготовлення, монтажу, технічного обслуговування, експлуатації, обладнання, конструкцій чи виробів. Кодекс ustalеної практики може бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом;

технічні умови — документ, що містить технічні вимоги, яким мають відповідати продукція, процеси чи послуги. Технічні умови можуть бути стандартом, частиною стандарту або окремим документом;

технічний регламент — нормативно-правовий акт, затверджений органом державної влади, що передбачає технічні вимоги до продукції, процесів чи послуг безпосередньо або через посилання на стандарти чи відтворює їх зміст;

затвердження стандарту (міжнародної організації) — це набуття ним статусу державного (ДСТУ). У цьому разі державний стандарт може мати три ступені відповідності міжнародному. Він може бути ідентичний, модифікований та нееквівалентний;

ідентичний стандарт — це стандарт, повністю еквівалентний міжнародному;

модифікований стандарт — це національний стандарт, який має технічні відхилення, але відтворює структуру міжнародного стандарту.

Державна система стандартизації (ДСС) в Україні регламентована в основних стандартах:

ДСТУ 1.0–93 ДСС. Основні положення;

ДСТУ 1.2–93 ДСС. Порядок розроблення державних (національних) стандартів;

ДСТУ 1.3–93 ДСС. Порядок розроблення, побудови, викладу, оформлення, узгодження, затвердження, позначення та реєстрації ТУ;

ДСТУ 1.4–93 ДСС. Стандарти підприємства. Основні положення;

ДСТУ 1.5–93 ДСС. Загальні положення щодо побудови, викладу, оформлення та змісту стандартів;

ДСТУ 1.6–93 ДСС. Порядок державної реєстрації галузевих стандартів, стандартів науково-технічних та інженерних товариств і спілок;

ДСТУ 1.7–2000 ДСС. Правила й методи прийняття та застосування міжнародних і регіональних стандартів.

Відновлення незалежності України та одночасний перехід на ринкову економіку поставили нові завдання перед державною системою стандартизації, які успішно здійснюються. Сьогодні в Україні чинними є понад п'ять тисяч державних стандартів України (ДСТУ), з яких понад 500 регламентують терміни й визначення, понад 60 ДСТУ та понад 20 керівних нормативних документів (КНД) — положення з метрології, понад 120 ДСТУ — вимоги безпеки (промислової, побутової, сільськогосподарської тощо), понад 20 ДСТУ — вимоги до твердих викидів, понад 20 ДСТУ — показники якості води, водних джерел, водозаборів тощо.

Значну увагу приділено узгодженню ДСТУ зі стандартами міжнародних організацій. З чинних в Україні стандартів понад 620 ДСТУ — гармонізовані, з них 245 — зі стандартами ISO, 140 — зі стандартами IEC, понад 25 — зі стандартами ISO/IEC, 7 — зі стандартами ЄС (EN).

Окрім державних стандартів України в статусі національних прийняті стандарти міжнародних організацій, міждержавні стандарти Співдружності незалежних держав. Розроблено та прийнято чимало керівних нормативних документів, рекомендацій (Р), галузевих стандартів (ГС), технічних умов (ТУ) тощо.

Керівні нормативні документи та рекомендації є інструкціями, методичними вказівками, нормативами, типовими положеннями, які доповнюють документи державної системи стандартизації. Всі вони розроблені та гармонізовані з відповідними нормативними документами та рекомендаціями міжнародних організацій, що забезпечує розвиток стандартизації в Україні, зближення та гармонізацію основних положень стандартизації у світі, сприяє вступу України до Світової організації торгівлі (WTO).

Стандарт може бути технічним документом, який містить характеристику якості матеріалів, виробів, устаткування, методів їх виготовлення й контролю, понять і умовних позначень; основною одиницею чи фізичною константою, наприклад ампером; будь-яким предметом для фізичного порівняння, наприклад еталоном метра.

Стандарти можуть містити обов'язкові та рекомендовані вимоги. До обов'язкових належать вимоги зі забезпечення безпеки продукції робіт і послуг для життя, здоров'я та майна громадян, чистоти довкілля; техніки безпеки та гігієни праці; метрологічних норм, правил їх контролю та єдності вимірювань; взаємозамінності та сумісності виробів; безпеки господарських об'єктів з метою унеможливлення катастроф природного та технологічного походження, а також надзвичайних ситуацій; обороноздатності України.

Обов'язкові вимоги підлягають безумовному виконанню всіма суб'єктами, на яких поширюється чинність стандартів. *Безпека* — це відсутність ризику, що може спричинити будь-яку шкоду. *Сумісність* — це придатність продукції, процесів і послуг до спільного використання. *Взаємозамінність* — це придатність одного виробу, процесу та послуги для використання замість іншого з метою виконання одних і тих же вимог, а *уніфікація* — це добір оптимальної кількості різновидів продукції, процесів, послуг і значень їх параметрів. Необов'язковими (рекомендованими) є вимоги до певної галузі виробництва, виду діяльності, окремих видів продукції.

Об'єктами стандартизації називають предмети (продукцію, процеси, послуги), що підлягають стандартизації. Ними можуть бути тільки результати людської діяльності (вироби, документи, міри, норми тощо). Не можуть бути об'єктами стандартизації натуральні продукти (нафта, вугілля, руди та інші корисні копалини), однак продукти їх перероблення, як результати людської діяльності, підлягають стандартизації.

1.1.2. Види та категорії стандартів

За об'єктами стандартизації розрізняють стандарти на властивості, методи та засоби. Перші та треті регламентують властивості предметів і засобів праці, виробів, вимірювальних і контрольних засобів і містять основні характеристики та показники якості об'єктів стандартизації (розміри, масу, матеріали, характер і кількість домішок, якість поверхонь, метрологічні характеристики, вид живлення, потужність тощо). Стандарти на методи містять вимоги до способів виготовлення, випробування, контролю, оптимальних режимів роботи устаткування, вимірювальних інструментів тощо. Керуючись переліченими у них вимогами, перевіряють геометричні розміри виробів, їх фізичні та хімічні властивості, склад матеріалів, якість поверхонь тощо.

Запроваджені стандартами єдині норми, правила, позначення, одиниці фізичних величин, поняття тощо спрощують і здешевлюють виконання робіт у всіх галузях науки, техніки та народного господарства. Прикладом можуть бути єдині правила та вимоги до оформлення конструкторських, технологічних, технічних, нормативних документів.

Залежно від призначення стандарти поділяють на основні (загальні, чи засадові) щодо продукції, роботи (послуг) та методів вимірювання й контролю, а залежно від сфери дії — міждержавні (міжнародні, чи міжнаціональні), розроблені та прийняті міжнародними організаціями (ISO, IEC тощо); державні стандарти України (ДСТУ), республіканські стандарти колишньої УРСР, прийняті до 1991 р.; настановчі документи України (КНД та Р); державні класифікатори України; стандарти підприємств і фірм (ТУ), прийняті їх керівниками та зареєстровані компетентними органами зі стандартизації. Республіканські стандарти колишньої УРСР (РСТ) застосовують як державні до моменту їх заміни чи скасування. Очолює всі роботи зі стандартизації Центральний орган виконавчої влади в сфері стандартизації.

Державним називають національний стандарт, затверджений найвищим органом зі стандартизації держави. Міжнародні чи міждержавні, стандарти можуть бути результатом уніфікації чи гармонізації державних стандартів на підставі відповідних угод. Наприклад, відповідно до угоди керівників урядів країн СНД у 1992 р. щодо проведення узгодженої політики зі стандартизації за міжнародні стандарти прийнято понад 20 000 ГОСТів, які до цього були державними стандартами Російської Федерації.

Роботу зі стандартизації в галузі будівництва та промисловості будівельних матеріалів організовує Міністерство України у справах будівництва й архітектури. Правила побудови, викладу та оформ-

лення стандартів, що розробляються та затверджуються цим міністерством, мають відповідати вимогам стандартів державної системи стандартизації.

Чинність стандартів поширюється на виробників продукції чи виробів відповідно до компетенції організації, що затвердила стандарт, і всіх споживачів, які використовують чи споживають об'єкти стандартизації незалежно від їх підпорядкування. Стандарти застосовують безпосередньо або шляхом посилання на них в інших документах (технічних регламентах, нормативно-правових актах, угодах, деклараціях тощо).

1.1.3. Мета, принципи та методи стандартизації

Метою стандартизації є реалізація єдиної технічної політики у сфері стандартизації, метрології та сертифікації; захист інтересів споживачів і держави; забезпечення якості продукції на підставі досягнень науки й техніки; забезпечення уніфікації, сумісності, взаємозамінності та надійності виробів; раціональне використання ресурсів і підвищення техніко-економічних показників виробництва; безпека народно-господарських об'єктів, уникнення аварій та катастроф; створення нормативної бази функціонування системи стандартизації та сертифікації продукції; конкурентоспроможність продукції та вихід на світовий ринок; впровадження сучасних виробничих та інформаційних технологій; сприяння забезпеченню обороздатності та мобілізаційної готовності України.

Основними принципами стандартизації є врахування рівня розвитку науки й техніки, екологічних вимог, економічної доцільності та ефективності виробничих процесів, безпеки споживача й України; узгодження нормативних документів з міжнародними та стандартами інших країн; відповідність нормативних документів законодавству України; участь у розробленні нормативних документів усіх зацікавлених сторін; взаємозв'язок та узгодженість нормативних документів усіх рівнів; придатність нормативних документів для сертифікації продукції; відкритість інформації відповідно до вимог чинного законодавства; застосування інформаційних систем і технологій у галузі стандартизації.

Основними методами стандартизації у машинобудуванні є уніфікація, типізація та симпліфікація.

Уніфікація полягає у раціональному скороченні кількості типів, видів і розмірів об'єктів однакового функціонального призначення. Наприклад, уніфікація велосипедів може зводитись до розроблення та виготовлення таких типів велосипедів, як звичайний, спортив-

вний, спеціальний (одно- та багатоколісний, інвалідський тощо). Усі перелічені типи можна поділити на підтипи: чоловічий, жіночий, підлітковий, дитячий. За такою класифікацією у виробництві велосипедів було би 3 типи \cdot 4 підтипи = 12 типорозмірів, які здебільшого могли б задовольнити всі потреби споживачів. У разі відсутності уніфікації кожний виробник велосипедів буде прагнути випускати 12 типорозмірів велосипедів, щоб задовольнити попит, але кожний іншої (власної) конструкції. Така ситуація зумовлює перебування в експлуатації $12 \cdot n$ типорозмірів велосипедів, де n — кількість підприємств, що розробляють і виготовляють велосипеди. Це, з одного боку, забезпечує широкий асортимент велосипедів, але їх вартість та експлуатація обійдуться споживачам значно дорожче, ніж у першому випадку, оскільки буде відповідно нижчою серійність їх виготовлення, якість через відсутність дорогого спеціального, але високопродуктивного устаткування та спорядження, більшим буде асортимент запасних частин.

Залежно від застосування розрізняють заводську (фірмову), галузеву, міжгалузеву, державну та міждержавну (міжнародну) уніфікацію. На базі уніфікації організують відповідне кооперування та інтегрування виробництва виробів. Найбільший техніко-економічний ефект забезпечують міжнародна та державна уніфікації, що дають змогу отримувати вироби з найменшою вартістю.

Кінцевий результат уніфікації — розроблення та затвердження відповідних стандартів на вироби. Прикладом уніфікації є чинні сьогодні стандарти для кріпильних виробів (болтів, гайок, гвинтів, шпильок, шайб), труб, трубопровідної арматури (кранів, клапанів, вентилів, трійників, кутників, муфт тощо), редукторів, електродвигунів, моторів та генераторів, пневмо- та гідродвигунів (камер, циліндрів), підшипників кочення, ланцюгів, ременів, шпонок, заготовок тощо.

Типізація полягає у розробленні типових (за видом, формою, конструкцією, розмірами) предметів праці, виробів, устаткування, а також технологічних процесів їх виготовлення. Наприклад, за типовою конструкцією вал може бути східчастим, мати різні поверхні (циліндричні, квадратні, конічні тощо), виточення, пази (шпонкові, шліцьові, торцеві), різьби (зовнішні, внутрішні, метричні, конічні). Добираючи задану комбінацію поверхонь та їх розмірів, шорсткість, матеріал, способи термооброблення, покриття, ігноруючи всі інші поверхні типової конструкції, отримують вал заданої конструкції і розмірів. Маючи технологічний процес виготовлення типового вала, аналогічно (добором операцій оброблення заданих поверхонь) отримують технологічний процес оброблення заданого вала.

Серед типових заготованок чи деталей у машинобудуванні найпоширенішими є вали, корпуси, кришки, фланці, зубчасті колеса, шківни, важелі, втулки, циліндри, хитунни (гонки), осі. За типу можна прийняти будь-яку конструкцію заготованки, деталі, вузла, машини, якщо передбачити виготовлення її за розмірами заданого ряду (від найменшого до найбільшого). Кожен виріб заданого розміру називають типорозміром. Наприклад, кульковий радіальний підшипник кожного розміру заданої конструкції (типу) є типорозміром, якому присвоюють відповідний умовний номер.

Для типізації будь-яких виробів їх класифікують, добирають типових представників окремих класів (груп) виробів, що мають найбільшу кількість поверхонь, характерних для виробів заданого класу (групи).

Симпліфікація полягає у зменшенні кількості типів виробів заданої номенклатури до числа, достатнього для задоволення потреб у заданий термін. Симпліфікацію можна вважати частковою чи короткотерміною уніфікацією. *Спеціалізація* — зосередження на певних підприємствах виготовлення обмеженої кількості типів виробів. Залежно від об'єктів спеціалізація буває предметною та технологічною. *Метрологічні об'єкти стандартизації* — це правила й норми трудової діяльності для досягнення єдності та певної точності вимірювань.

1.1.4. Класифікація та кодування наукової, технічної, економічної та соціальної інформації

Класифікація полягає у розміщенні предметів (документів, технічної інформації, виробів) у заданому порядку та послідовності, додатних для користування, та присвоєнні їм відповідних позначень (кодів).

Процес розміщення предметів у заданому порядку називають *систематизацією*. Найпростішою формою систематизації є розміщення предметів класифікації в алфавітному порядку чи у порядку зростання чисел (умовних номерів, кодів тощо). Таку систематизацію використовують у довідниках, бібліографіях, каталогах, термінологічних стандартах. У техніці поширена цифрова систематизація у порядку зростання номерів чи у хронологічній послідовності. Наприклад, для нумерації державних стандартів поряд з номером стандарту, в якому зазначена його класифікаційна група, через риску ставлять ще й рік затвердження.

Для класифікації та кодування інформації у міжнародній системі застосовують *універсальну десяткову систему класифікації* (УДК), яку використовують для надання класифікаційних номе-

рів книжкам, журналам, науковим публікаціям. Числа, які присвоюють згідно з системою УДК, розміщують за класами, підкласами, розрядами. Цифра зліва позначає найширше поняття (клас), а наступна та подальші цифри — поняття, що є складовою частиною попереднього. Наприклад, УДК 6 — це прикладні науки, медицина, техніка; УДК 62 — техніка; УДК 621 — загальне машинобудування; УДК 621.3 — електротехніка; УДК 621.39 — електрична техніка зв'язку.

Взаємозалежні поняття позначають за допомогою двох крапок, наприклад, якщо УДК 389.6 — стандартизація, а УДК 621.3 — електротехніка, то УДК 389.6 : 621.3 — стандартизація в електротехніці. Щоб записати будь-які задані показники інформації, ставлять крапку, два нулі, а потім — цифри, які відповідають цим показникам. Наприклад, УДК 621.4.003 — економічність двигунів внутрішнього згорання, де 621.4 — двигуни внутрішнього згорання, а "003" — економічність.

Для позначення виду публікації число завжди має першу цифру нуль і стоїть у круглих дужках. Наприклад, (05) — журнали, (038) — словники, (088) — патенти, УДК 621.3 (05) — журнали з електротехніки. Час та дату записують за допомогою лапок, розділяючи інформацію крапкою, у порядку від більшого до меншого, наприклад, 1998.10.08.

За *Єдиною системою класифікації продукції* (ЄДСКП) класифікують усю промислову та сільськогосподарську продукцію, відповідно поділивши її на 100 класів (за галузями виробництва, призначенням і властивостями продукції), 10 підкласів, 10 груп, 10 підгруп і 10 видів. Наприклад, прилади та засоби автоматизації загальнопромислового призначення належать до класу 42, ті ж прилади та засоби спеціального призначення — до класу 43. Підклас 421 000 — це прилади контролю та регулювання технологічних процесів, група 421 100 — прилади для вимірювання та регулювання температури, підгрупа 421 110 — термометри манометричні, вид 421 111 — термометри манометричні без відліку з електричним вихідним сигналом.

За аналогічною класифікацією надають літеро-цифрові позначення конструкторській документації (кресленням, специфікаціям, відомостям), літеро-цифрові позначення — нормативним документам галузі будівництва тощо.

Розвиток та удосконалення інформаційних технологій зумовлюють нові вимоги до методів класифікації та кодування інформації. Перехід на ринкові умови вимагає гармонізації не тільки нормативних документів з міжнародними чи регіональними, а й суттєвих змін чинних в Україні правил класифікації та кодування науково-технічної інформації та переходу на прийняту в міжнародних організаціях систему обліку та статистики.

Без єдиного класифікатора неможливим стає розв'язання проблеми узгодження багатьох потоків інформації. Для цього забезпечують єдину термінологію та визначення з прийнятими в міжнародних організаціях і сумісність міжнародних і національних інформаційних систем. На підставі цього в Україні, як і в деяких інших країнах, запроваджують Єдину систему класифікації та кодування техніко-економічної та соціальної інформації (ЄСКК). Її об'єктами є статистична інформація, макроекономічна, фінансова та правоохоронна діяльність, банківська справа, бухгалтерський облік, стандартизація, сертифікація, виробництво продукції, надання послуг, митна справа, торгівля та зовнішньоекономічна діяльність.

Основні принципи, правила та вимоги, що регламентують чинність цієї системи, — прийняті положення щодо ЄСКК. У них врахована необхідність узгодження українських класифікаторів з міжнародними через пряме використання останніх в Україні. Наприклад, класифікатор стандартів розроблено на підставі класифікатора стандартів ISO. Цей документ містить рекомендації з побудови каталогів, тематичних переліків, автоматизованих банків даних з нормативних документів тощо. Також гармонізовані з міжнародними правилами ведення класифікаторів класифікатор одиниць фізичних величин, коди одиниць вимірювання тощо.

Система національних класифікаторів в Україні в 2001 р. уже містила вісімнадцять взаємопов'язаних державних класифікаторів.

1.1.5. Державна стандартизація в Україні

Україна має понад двохсотрічний досвід роботи зі стандартизацією. За цим показником наша держава не відставала від розвинених країн світу, але у роки залежності на деякий час втратила передові позиції.

У 1764 р. Конституцією Польщі на Правобережній Україні та Галичині запроваджено загальнодержавні одиниці довжини, маси та об'єму. У 1785 р. Австрійським спеціальним Декретом створено Інспекторат мір і ваг при Галицькому намісництві, у 1871 р. запроваджені метричні міри на території Галичини, у 1875 р. Австрія прийняла Закон про створення Органу державного метрологічного нагляду з центром у Львові. У 1901 р. у Харкові відкрито першу Перевіряльну палату, а у 1902 р. такі палати відкрито у Києві, Катеринославі (Дніпропетровську), Одесі. У 1922 р. створено Українську Головну палату мір та ваг з її місцевими органами, а у 1971 р. — організацію Українського республіканського управління Держстандарту СРСР. Після відновлення незалежної України

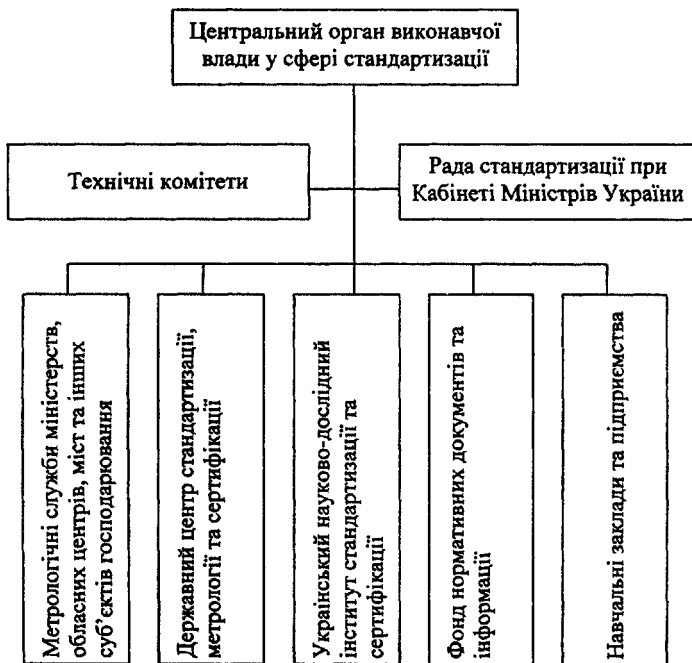


Рис.1.1.1. Схема державної системи стандартизації України.

у 1991 р. почав працювати Державний комітет УРСР зі стандартизації, метрології та якості продукції, а у 1992 р. — Державний комітет України зі стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України), який розробив і затвердив концепцію державної системи стандартизації України та очолив її реалізацію.

З 1993 р. Україна стала повноважним членом Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) та Міжнародної електротехнічної комісії (IEC), членом-кореспондентом Міжнародної організації законодавчої метрології, Європейського комітету зі стандартизації, членом Міжнародної інформаційної мережі, приєдналася до Кодексу добросовісної практики щодо розроблення та використання стандартів Європейського комітету зі стандартизації тощо. Україна взяла на себе зобов'язання щодо узгодження законодавства, стандартів, норм, правил і сертифікації з європейськими у рамках договору з Європейським Союзом. Для цього розробляється та реалізується чимало державних і галузевих програм зі стандартизації, які стимулюють іноземні інвестиції, підвищують конкурентоспроможність української продукції. Для координації цих робіт при Президентові України створена Національна Рада з пи-

тань якості продукції, головним завданням якої є участь України у міжнародній торгівлі.

Схема структури державної системи стандартизації України відповідно до Закону 2001 р. зображена на рис. 1.1.1.

Органами стандартизації є:

центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації; рада стандартизації; технічні комітети стандартизації; інші суб'єкти, що займаються стандартизацією.

Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації організовує, координує та провадить діяльність щодо розроблення, схвалення, прийняття, перегляду, зміни, розповсюдження національних стандартів відповідно до цього Закону і як національний орган стандартизації представляє Україну в міжнародних і регіональних організаціях зі стандартизації.

Центральний орган виконавчої влади у сфері стандартизації здійснює такі основні функції:

забезпечує реалізацію державної політики у сфері стандартизації;

вживає заходів щодо гармонізації розроблюваних національних стандартів з відповідними міжнародними (регіональними) стандартами;

бере участь у розробленні та узгодженні технічних регламентів й інших нормативно-правових актів з питань стандартизації;

встановлює правила щодо розроблення, схвалення, прийняття, перегляду, зміни та втрати чинності національних стандартів, їх позначення, класифікації за видами та іншими ознаками, кодування й реєстрації;

вживає заходів щодо виконання зобов'язань, зумовлених участю в міжнародних (регіональних) організаціях стандартизації;

співпрацює у сфері стандартизації з відповідними органами інших держав;

формує програму робіт зі стандартизації та координує її реалізацію;

ухвалює рішення щодо створення та припинення діяльності технічних комітетів стандартизації, визначає їх повноваження та порядок створення;

організовує створення та ведення національного фонду нормативних документів і національного центру міжнародної інформаційної мережі ISONET WTO;

організовує надання інформаційних послуг з питань стандартизації.

Рада стандартизації є колегіальним консультативно-дорадчим органом при Кабінеті Міністрів України. Основною метою діяльності Ради є налагодження взаємодії між виробниками, споживача-

ми продукції та органами державної влади, узгодження інтересів у сфері стандартизації та сприяння розвитку стандартизації.

Рада формується на засадах рівності з представників органів виконавчої влади, Центрального органу виконавчої влади у сфері стандартизації, суб'єктів господарювання, Національної академії наук України, галузевих академії наук і відповідних громадських організацій. Діяльність Ради ґрунтується на засадах відкритості та гласності.

Технічні комітети (ТК) є робочими органами в сфері стандартизації. Вони створюються Центральним органом виконавчої влади в сфері стандартизації для розроблення, розгляду та узгодження міжнародних (регіональних) і національних стандартів.

Технічні комітети стандартизації формуються з урахуванням принципу представництва всіх зацікавлених сторін. До роботи в технічних комітетах стандартизації залучаються на добровільних засадах уповноважені представники органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, суб'єктів господарювання та їх об'єднань, науково-технічних та інженерних товариств (спілок), товариств (спілок) споживачів, відповідних громадських організацій, провідні науковці та фахівці.

Організаційне забезпечення діяльності технічних комітетів здійснюють їх *секретаріати*.

Технічні комітети стандартизації не можуть одержувати прибуток від своєї діяльності. ТК є постійними органами, однак розробляти стандарти можуть і окремі підприємства, громадські об'єднання й організації та інші суб'єкти господарської діяльності, узгоджуючи їх з ТК, які виконують роботи зі стандартизації як за власною ініціативою, так і відповідно до угод і договорів на виконання такого завдання за програмами ТК та планами державної стандартизації.

Іншими суб'єктами, що займаються стандартизацією, є Центральні органи виконавчої влади, Верховна Рада Автономної Республіки Крим та Рада міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання та їх об'єднання, відповідні громадські організації. Окремі зацікавлені особи також мають право брати участь у сфері стандартизації, розглядати проекти розроблюваних національних стандартів та давати розробникам відповідні пропозиції, висловлювати зауваження до них.

Міністерство оборони України, беручи до уваги особливості галузі оборони, визначає порядок застосування стандартів для забезпечення потреб оборони України відповідно до покладених на нього функцій.

Діяльність Центрального органу виконавчої влади в галузі стандартизації спрямована на створення національної системи стандартизації відповідно до світової практики, мережі ТК зі стандартизації у провідних галузях науки, техніки та економіки України. Сьогодні в Україні функціонує понад 140 ТК, за участю яких розробляються державні стандарти України (ДСТУ), що узгоджуються з відповідними міжнародними стандартами. ТК беруть участь у роботі відповідних міжнародних ТК та підкомітетів як активні члени та члени-спостерігачі; проводять роботу з впровадження в Україні стандартів міжнародних організацій тощо. Наприклад, у 1996 р. запроваджені стандарти з систем управління якістю (серії 9 000 і 10 000), а у 1998 р. — стандарти з управління довкіллям (серії 14 000), з вимог органів сертифікації та випробувальних лабораторій (серії EN 45 000), з систем якості та їх елементів.

Україна, успадкувавши близько 20 тисяч міждержавних стандартів (ГОСТ), здобувши незалежність і будуючи ринкові відносини, відійшла від принципу обов'язковості стандартів і вступила до міжнародних організацій стандартизації. З 5000 стандартів, розроблених ТК України, 620 є прямим впровадженням міжнародних стандартів, а ще 800 містять основні вимоги з них.

Держстандарт України організовує публікацію офіційних та інформаційних видань, наприклад, "Каталог нормативних документів" (річний), покажчики "Стандарти" (місячний) та "Засоби виміральної техніки" (річний), "Бюлетені" української та міжнародної стандартизації (щоквартально), довідник "Продукція, що виробляється за технічними умовами України" (річний); впроваджує сучасні автоматизовані бази даних на компакт-дисках (близько мільйона описів) з інформацією про нормативні документи міжнародних і національних організацій зі стандартизації, розробляє та запроваджує термінологічні стандарти України тощо.

У Головному інформаційному фонді стандартів за станом на 1997 р. зберігалось понад 100 тисяч нормативних документів, ДСТУ, міжнародних, міждержавних і національних стандартів інших країн.

Український навчально-науковий центр Держстандарту України готує кваліфіковані кадри зі стандартизації, метрології та сертифікації, має для цього сучасну матеріально-технічну базу, висококваліфікований професорсько-викладацький склад, чотири кафедри, які щорічно випускають близько 1300 спеціалістів, аудиторів зі сертифікації продукції, підвищують кваліфікацію спеціалістів Держстандарту України як в Україні, так і за кордоном, систематично організовує науково-практичні конференції, симпозиуми, семінари.

Національний інформаційний центр GATT/WTO створений для виконання зобов'язань України щодо забезпечення виробництва

якісної продукції, яка б відповідала міжнародним вимогам з безпеки, охорони здоров'я людей та довкілля, сумісності та взаємозамінності, здійснює заходи з пришвидшення вступу України в СОТ.

1.1.6. Міжнародна стандартизація

Для забезпечення сприятливих умов розвитку взаємовигідних торгових, економічних зв'язків між країнами світу міжнародні організації зі стандартизації та сертифікації продукції розробляють відповідні стандарти, нормативи, рекомендації. Розроблені та затверджені відповідно до чинного порядку документи можуть використовуватися як національні чи державні стандарти (нормативи, рекомендації) на підставі відповідного рішення найвищого державного органу зі стандартизації або застосовуватися під час розроблення національних чи державних документів аналогічного призначення. Цей чи інший шлях використання документів міжнародних організацій добирають залежно від стану народного господарства та рівня стандартизації у кожній країні. Інколи рівень технології виробництва не дає змоги рекомендувати до впровадження документи міжнародних організацій, розроблені на підставі новітніх досягнень науки та техніки, технології, кращих матеріалів, устаткування, рівня продуктивності праці розвинених країн світу. У такому разі компетентні організації зі стандартизації після узгодження з державними керівними органами зобов'язують головні організації галузей, науки та техніки розробити заходи щодо створення належних умов для запровадження національних нормативних документів, які б відповідали чинним міжнародним документам аналогічного призначення.

Однією з найбільших міжнародних організацій зі стандартизації є ISO, яка була створена у 1926 р., а до 1941 р. функціонувала під назвою ISA. У статуті ISO зазначено, що її основною метою є "сприяння розвитку стандартизації в цілому світі для того, щоб полегшити міжнародний обмін товарами та розвивати взаємну співпрацю в галузі інтелектуальної, наукової, технічної та економічної діяльності".

Вищим органом ISO є Генеральна Асамблея, яку скликають раз на три роки для прийняття рішень з найважливіших питань і виборів Президента організації. У своєму складі ISO має понад 240 ТК, серед яких: Виконавчий комітет, Комітет з вивчення наукових принципів стандартизації, Комітет з допомоги країнам, що розвиваються, Атестаційний комітет, технічні комітети з різних галузей, підгалузей, що вирішують деякі питання, розробляють проекти відповідних стандартів, норм, рекомендацій тощо. Серед технічних комітетів варто назвати такі, як: ТК-1 — Різьби;

ТК-2 — Болти, гайки та деталі кріплення, ТК-3 — Допуски та відхилення розмірів, ТК-29 — Інструменти, ТК 39 — Верстати, ТК-57 — Якість оброблених поверхонь, ТК-123 — Підшипники ковзання.

Членами ISO можуть бути країни (їх компетентні та повноважні представники), що мають державні організації зі стандартизації. Роботою кожного з комітетів керує одна з національних (державних) організацій зі стандартизації. Крім комітетів в ISO є ще підкомітети, групи, які виконують означені їм функції, а також члени-кореспонденти, якими можуть бути країни, що не мають власних організацій зі стандартизації. Вони мають право тільки отримувати (безоплатно) стандарти, нормативи та рекомендації ISO.

До ISO, як її електротехнічне відділення, входить Міжнародна електротехнічна комісія (IEC), що виконує завдання ISO у галузі електро-, радіотехніки та електроніки. Стандартизацією у галузі метрології займається Міжнародна організація мір та ваг, заснована ще у 1875 р. Цей комітет розробив Єдину міжнародну систему одиниць (СИ), прийняту до використання в усіх країнах, що приєдналися до Метричної конвенції. З 1956 р. працює Міжнародна організація законодавчої метрології, що проводить роботу з загальних питань метрології. З цього ж року функціонує Європейська організація з контролю якості продукції, яка розробляє науково-технічні проблеми забезпечення якості продукції.

Одним з основних завдань міжнародних організацій зі стандартизації є проведення міжнародних конференцій, дискусійних клубів, видання та поширення наукових праць, журналів, надання консультацій тощо.

Контрольні запитання

- 1. Що таке стандарт і стандартизація?*
- 2. Об'єкти стандартизації. Які з них не підлягають стандартизації?*
- 3. Які види та категорії стандартів Ви знаєте?*
- 4. У чому полягає державна стандартизація України?*
- 5. Перелічіть методи стандартизації.*
- 6. Що таке уніфікація та типізація?*
- 7. Класифікація технічної інформації.*
- 8. Що Ви знаєте про класифікацію промислової продукції?*
- 9. Перелічіть органи та організації державної стандартизації.*
- 10. Структура органів міжнародної стандартизації.*
- 11. Які Ви знаєте міжнародні організації зі стандартизації?*

Глава 1.2. *Методологія стандартизації*

1.2.1. Основні принципи стандартизації

Вимоги, закладені у стандартах, сьогодні визначають якість практично всієї продукції народного господарства, її конкурентоспроможність на світовому ринку, а звідси й стан економіки фірми, підприємства та держави. Але високий рівень якості продукції вимагає відповідного науково-технічного рівня виробництва, своєчасного використання сучасних досягнень науки та техніки, розроблення, запровадження та безперервного удосконалення його технології, засобів виробництва, організації праці, менеджменту, дизайну, рекламування, збуту продукції, захищення авторських прав, патентування, які теж є об'єктами стандартизації.

Успішне розв'язання перелічених проблем має одну обов'язкову умову — вартість і ціна продукції не можуть перевищувати вартість та ціну її аналогів на світовому ринку, тобто продукція має бути конкурентоспроможною. Окрім цього, високі вимоги стандартів до продукції, яка не відповідає технічному рівню технології виробництва чи якості сировини та комплектувальних виробів можуть спричинити зупинку виробництва, банкрутство виробників продукції. Тому встановлення вимог до якості продукції у стандартах є комплексним, складним і відповідальним завданням, успішне розв'язання якого сприяє процвітанню та розвитку економіки, а невдале — зумовлює її занепад та економічну кризу. Звідси відповідно випливають і високі вимоги до кваліфікації спеціалістів, що працюють у будь-якій ланці взаємопов'язаного ланцюга — від визначення вимог у стандартах до виготовлення продукції та її правильного використання за призначенням. Ось чому процес розроблення нових стандартів чи перегляд вимог у чинних стандартах зводять до реалізації наступних методологічних принципів [7, 28, 29, 35, 38].

Принцип оптимізації вимог стандартів вимагає забезпечення оптимальних показників якості продукції, параметрів, норм, характеристик, вимог, що відповідають світовому рівню науки, техніки, виробництва, використання продукції. Термін "виробництво продукції" обов'язково передбачає також менеджмент, дизайн, рекламу, її ефективність (економічну й технічну), з метою отримання найбільшого кінцевого ефекту. Під час визначення чи прогнозування ефективності беруть до уваги всі витрати на створення та використання продукції протягом усього її "життя". Без цього

будь-який тимчасовий ефект може перетворитися на збитки чи то для виробника, чи для народного господарства країни. Для реалізації зазначеного принципу використовують методи випереджувальної та комплексної стандартизації.

Науково-дослідницький принцип — це наукове узагальнення практичного досвіду, теоретичних, експериментальних, дослідно-конструкторських робіт у заданій галузі стандартизації.

Принцип забезпечення функціональної взаємозамінності виробів спрямований на розширення ринку збуту виготовленої продукції на підставі взаємоузгодження її параметрів, характеристик, збільшення серійності її виготовлення та відповідне зменшення вартості та ціни.

Принцип переважальності полягає у визначенні оптимальних рядів основних параметрів продукції (габаритних і монтажних розмірів, мас, відхилень, потужностей, напруг, струмів) з метою забезпечення їх взаємозамінності обмеженим асортиментом типорозмірів виробів, заготовок, різального інструменту, калібрів, технологічного спорядження. З метою поступового зменшення кількості типорозмірів виробів, значень їх параметрів визначають не один, а декілька рядів переважальних чисел, щоб дати змогу маркетологам і конструкторам, добираючи значення відповідних параметрів, віддавати перевагу першим рядам перед наступними.

Принцип відповідності сучасному рівню розвитку науки, техніки та виробництва полягає у своєчасному періодичному перегляді вимог до об'єктів стандартизації з метою зведення їх до сучасного рівня.

Принцип економності матеріальних та енергетичних витрат полягає у встановленні обґрунтованих норм у стандартах з метою створення конкурентоспроможної на світовому ринку продукції. За цими показниками чимало вітчизняних виробів значно поступаються кращим зразкам передових закордонних фірм. Обмеження параметрів матеріальних та енергетичних норм витрат у державних стандартах стимулює розроблення раціональних конструкцій, електричних, кінематичних, гідравлічних схем, використання нових матеріалів і заготовок з підвищеними фізичними властивостями, меншою вартістю та трудомісткістю отримання виробів.

1.2.2. Ряди переважних чисел

Ряди переважних чисел складають за геометричною прогресією, що характеризується сталим відношенням між двома сусідніми числами. Наприклад, для множника 2 отримують ряд чисел 1;

2; 4 ; 8; 16; 32 тощо. Добуток чи частка від ділення будь-яких членів геометричної прогресії (ряду) завжди також є її членом. Наприклад, $2 \cdot 4 = 8$; $8 \cdot 4 = 32$; $16 : 8 = 2$; $32 : 4 = 8$. Будь-який член прогресії, піднятий до цілого додатного чи від'ємного степеня, також є її членом. Наприклад, $2^2 = 4$; $2^4 = 16$; $\sqrt{4} = 2$; $\sqrt[3]{8} = 2$; $\sqrt[6]{64} = 2$. Отже, значення, що визначаються як добутки, частки, піднесені до цілого степеня, також є членами прогресії. Наприклад, якщо лінійні розміри взято з ряду (прогресії), то й площі та об'єми фігур також є членами ряду.

Найпоширенішими геометричними прогресіями згідно з ГОСТ 8032–84 є прогресії, що мають число 1 і множник $\varphi_n = \sqrt[n]{10}$. Відповідно до рекомендацій ISO виокремлені чотири основні десяткові ряди переважних чисел з множниками:

$$R5 \varphi_5 = \sqrt[5]{10} = 1,5849 \times 1,6;$$

$$R10 \varphi_{10} = \sqrt[10]{10} = 1,2589 \times 1,25;$$

$$R20 \varphi_{20} = \sqrt[20]{10} = 1,1220 \times 1,12;$$

$$R40 \varphi_{40} = \sqrt[40]{10} = 1,0593 \times 1,06.$$

Для особливих випадків, за наявності обґрунтування, можливе використання ряду R80 з $\varphi_{80} = \sqrt[80]{10} = 1,03$ та всі похідні ряди, отримані з основних R5, ..., R80 шляхом добору з них кожного другого, третього членів ряду. Допустиме створення рядів, які для різних діапазонів мають неоднакові множники. Згідно з рекомендаціями ISO в науці, техніці та виробництві допускається заокруглення значень деяких членів рядів.

Перевагу завжди віддають рядам з більшим множником, а використання рядів з меншими множниками потребує відповідного технічного та економічного обґрунтування. Ряди переважних чисел рекомендовані для добору номінальних значень показників і параметрів усієї продукції машинобудування, що сприяє взаємоузгодженню параметрів виробів та їх складових (матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, комплектувальних виробів тощо).

Значно рідше для стандартизації параметрів виробів використовують ряди, складені на основі арифметичних прогресій, для яких сталою величиною є різниця між будь-якими двома сусідніми

числами. Наприклад, 1; 2; 3; 4; 5;..., 25; 50; 75; 100; 125;..., де різниці для першого та другого рядів становлять відповідно 1 і 25. Значно рідше застосовують так звані ступенєво-арифметичні ряди, що складаються з окремих частин різних рядів. Наприклад, ряд діаметрів метричної різьби: 1; 1,1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2;...;3; 3,5; 4; 4,5;...;135; 150; 155; 160. У радіотехніці використовують переважні числа із рядів E , встановлених IEC , наприклад, ряд $E3$ з множником $\varphi = \sqrt[3]{10} \approx 2,2$; ряд $E12$ з множником $\varphi = \sqrt[12]{10} \approx 1,2$; ряд $E6$ з множником $\varphi = \sqrt[6]{10} \approx 1,5$; ряд $E24$ з множником $\varphi = \sqrt[24]{10} \approx 1,1$.

1.2.3.Параметричні ряди виробів

Асортимент виробів машинобудування налічує сотні тисяч типорозмірів і щороку поповнюється. Це значно ускладнює уніфікацію та типізацію виробів. Тому часто однакові за призначенням вироби відрізняються як за своєю конструкцією, так і за розмірами. З метою полегшити процеси і підвищити рівень уніфікації, типізації, збільшити серійність виготовлення виробів, розширити спеціалізацію та інтеграцію виробництва, зменшити матеріало- та енергомісткість, знизити вартість виробів значну увагу приділяють стандартизації параметричних рядів виробів [5; 27].

Кожний виріб характеризують кілька його параметрів, серед яких завжди можна виділити головний, основні та другорядні. За *головний параметр* приймають той, який визначає найважливіший експлуатаційний параметр, що не залежить від технології виготовлення та технічних удосконалень. Наприклад, головним параметром вантажного крана є маса найбільшого вантажу, який він може підіймати; оброблювального верстата — габаритні розміри оброблюваних заготовок; протягувального верстата — найбільша тяжна сила; універсальних вимірювальних приладів — діапазон вимірювання; двигунів — найбільша потужність, редукторів — коефіцієнт передавання руху чи сили; підсилювачів — чутливість або коефіцієнт підсилення сигналів тощо.

Для визначення числових значень головних параметрів складають і затверджують їх параметричні ряди. Добір величин головних параметрів і визначення діапазону їх значень потребує техніко-економічного обґрунтування, врахування сучасної та перспективної потреби у заданих виробках тощо.

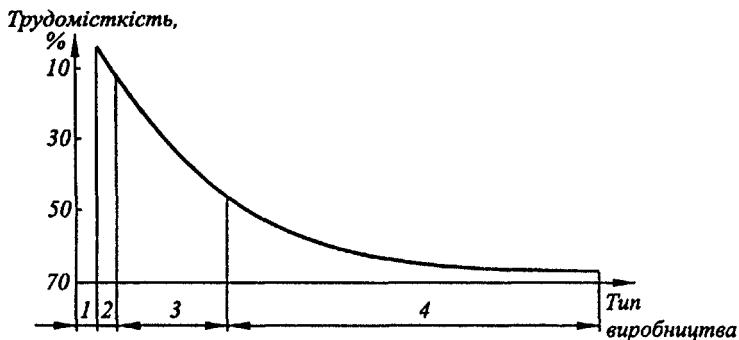


Рис. 1.2.1.

Параметричним рядом називають закономірно побудований числовий ряд значень головних параметрів виробів однакового функціонального призначення та подібних між собою за конструкцією чи робочим циклом.

Основними називають параметри, які визначають якість виробів і залежать від технології їх виготовлення, технічних удосконалень тощо. Наприклад, для вантажних кранів основними параметрами можуть бути найбільші вертикальні та горизонтальні переміщення вантажів, їх вид, маса тощо; для оброблювальних верстатів — точність оброблення поверхонь, потужність, продуктивність; для вимірювальних засобів — похибки вимірювання, швидкодія, вимірювальна сила тощо. Основні параметри часто визначаються головним. Наприклад, головним параметром поршневого компресора є діаметр циліндра, а одним із основних — продуктивність компресора

$$Q = \frac{1}{4} \pi D^2 H \omega, \quad (1.2.1)$$

де Q — продуктивність компресора, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; D і H — відповідно діаметр і хід поршня, м; ω — частота обертання двигуна, с^{-1} .

Одним із видів параметричного є *типорозмірний ряд*, головними параметрами якого є розміри заданої конструкції виробу. На їх базі складають конструктивні ряди заданих типів (моделей) виробів однакової конструкції та одного функціонального призначення. Параметричні, типорозмірні та конструктивні ряди часто будують, використовуючи їх пропорційну залежність від експлуатаційних (головних чи основних) параметрів. У цьому разі зазначені ряди є похідними від експлуатаційних, іноді не відрізняються від них за числовими значеннями.

Зважаючи на складну залежність між параметрами різних виробів, розроблення єдиних типорозмірних і конструктивних рядів є складною задачею, тому часто задовольняються подібністю умов робочих процесів, що зумовлює рівність параметрів теплової чи силової їх напруги. Наприклад, для двигунів внутрішнього згорання є дві такі умови подібності: рівнозначність середнього ефективного тиску, що залежить від тиску та температури паливної суміші на вході, та рівнозначність середньої швидкості поршня. Це дає змогу створювати ряди геометрично подібних двигунів, у яких будуть однакові термодинамічний, механічний та ефективний коефіцієнти корисної дії (чи витрати палива), потужність, тепла та силова напруга.

Визначаючи параметричні ряди, беруть до уваги щільність розподілу значень головного параметра виробів, збільшуючи чи зменшуючи кількість членів рядів у різних діапазонах. У цьому разі використовують змішані ряди (з різними множниками). Наприклад, близько 90% усіх використовуваних модулів зубчастих коліс перебувають у межах від 1 до 6 мм, а найбільше їх у межах від 2 до 4 мм. Тому у стандарті для ряду модулів найбільша кількість градацій передбачена відповідно для них.

Граничні значення головних параметрів і їх частоту (градацію) визначають на підставі сучасної потреби та перспективи розвитку виробництва, досягнень науки й техніки, тенденцій розвитку заданих виробів. Щоб уникнути небажаного збільшення номенклатури виробів, частоту рядів технічно та економічно обгрунтовують. Зростання номенклатури відповідно зменшує серійність та трудомісткість виготовлення виробів (рис.1.2.1). В умовах ринкової економіки визначення потреби у виробках, яка може змінюватись у часі та просторі, є складним завданням.

1.2.4. Уніфікація та агрегування складних виробів

Уніфікація, як основний метод стандартизації, широко застосовується під час конструювання складних виробів, зокрема автомобілів, тракторів, автобусів, автотранспорту, комбайнів, обприскувачів, оброблювальних верстатів, ковальсько-штампувального устаткування, прокатних станів, ливарних машин, роботів, маніпуляторів, конвеєрів, машин для укладання шосейних доріг, контрольно-вимірювальних засобів, радіоелектронної та телеграфної апаратури, комп'ютерів тощо.

Побудова таких складних виробів вимагає значних витрат на етапах їх проектування, виготовлення, експлуатації та зберігання, а стандартизація може і сприяти значному техніко-економічному ефекту

(вдалі і перспективні стандарти), і гальмувати технічний процес, зумовлювати значні витрати та збитки (невдалі стандарти). Невдалих стандартів, як і невдалих законів, незважаючи на їх шкоду, слід дотримуватись. Тому розроблення та своєчасне поновлення стандартів має відбуватися паралельно з науково-технічним прогресом. Складність зазначеної проблеми стає очевидною, якщо взяти до уваги, з одного боку, значний термін, необхідний для розроблення та впровадження у виробництво нових стандартів, а з другого, — швидкий темп зміни асортименту виробів на світовому ринку. Підприємства, що роблять це своєчасно, процвітають, інші ж банкрутують і зuboжіють.

Не вдаючись до вивчення сучасних методів керування такими процесами, розглянемо способи побудови складних виробів зі застосуванням різних методів стандартизації. Швидке зростання номенклатури виробів зумовлює відповідне зменшення серійності, зростання трудомісткості їх виготовлення та вартості. Збільшення серійності та відповідне зменшення вартості виготовлення продукції є одним з основних завдань стандартизації. Узгодження зазначених напрямів розвитку виробництва ускладнюється умовами конкуренції на сучасному ринку товарів, де здебільшого перемагає виробник якісніших і дешевших виробів.

Одним з найефективніших способів підвищення рівня стандартизації та уніфікації виробів є побудова їх зі стандартних уніфікованих частин. Проектування, виготовлення та експлуатація таких виробів чи їх складових частин є значно дешевшою, не вимагає високої кваліфікації робітників, добре піддається автоматизації та механізації праці. Використання різних комбінацій уніфікованих частин дає змогу створювати та виготовляти значний асортимент складних за конструкцією виробів. Частини, з яких складають вироби, можуть бути різними за складністю (від окремих заготовок і деталей до найскладніших за конструкцією вузлів, механізмів, агрегатів, блоків, модулів, апаратів, машин тощо). Основною вимогою до всіх складових частин виробів є їх взаємозамінність (повна, часткова, геометрична, функціональна), тобто здатність займати певне місце у складнішому виробі та виконувати задані функції.

За ступенем уніфікації розрізняють кілька способів побудови складних виробів. Розглянемо їх у хронологічному порядку розроблення та застосування.

Першим і найнижчим за рівнем стандартизації є *метод побудови унікальних конструкцій* (типів) окремих виробів з більшою чи меншою кількістю уніфікованих складових частин (заготовок, кріпильні деталі, кулькові та роликові підшипники, шпонки, ручки, шківни, зубчасті колеса, ущільнювачі, вимикачі, резистори, конденсатори, штепселі, ізолятори тощо).

Вищим за рівнем стандартизації є *блоковий метод*, який полягає у побудові виробів з окремих складових взаємозамінних частин (блоків), що є унікальними конструкціями. Зазначений метод дає змогу виготовляти окремі частини виробів різними виробниками (дільницями, цехами, заводами, фірмами тощо), а складати готові складні вироби — головному виробнику. Прикладом такого способу виготовлення виробів може служити виробництво велосипедів, мотоциклів, автомобілів, у якому їх складові частини (гумові вироби, помпи, прилади, редуктори, підшипники) виготовляють чимало виробників, а складанням виробів займаються відповідно велосипедні, мотоциклетні, автомобільні підприємства чи фірми.

Найвищим за рівнем стандартизації є *метод агрегативання*, що полягає у використанні стандартизованих (уніфікованих) агрегатів, які здатні виконувати складні функції (перетворення видів енергії, руху, сили, перебіг хімічних, теплових реакцій) та відповідати умовам геометричної взаємозамінності. Зазначений метод не виключає застосування перших двох методів стандартизації під час створення виробів. Він дає змогу забезпечити практично необмежену кількість модифікацій, типів, конструкцій виробів певної складності шляхом побудови їх зі заданої кількості стандартних та уніфікованих агрегатів.

Метод агрегативання став основним способом побудови складних виробів за останні 20–30 років у промисловості. Прикладом його застосування можуть бути двигуни внутрішнього згорання, електро-, пневмо- та гідродвигуни, коробки швидкостей та редуктори, передні та задні мости, рами, зчеплення, колеса, гальмівні циліндри, контрольно-вимірювальні засоби для автомобіле-, трактор- та автобусобудування; силові агрегати, супорти, револьверні головки, інструментальні магазини, столи, корпуси, стояки, станини для побудови металорізальних верстатів; підвісні агрегати (плуги, копачки, розпушувачі, помпи, розбризкувачі, косарки, молотильні барабани, черпаки, лопати, конвеєри, екскаватори, грейдери) разом з автомобілями та тракторами для побудови сільськогосподарських машин; первинні перетворювачі, електронні блоки, підсилювачі, ксмутатори, компенсатори, перетворювачі з уніфікованими сигналами, двигуни та виконавчі механізми, індикатори (аналогові, цифрові, світлові тощо), самописці, регулятори для контрольно-вимірювальних засобів приладобудування; блоки живлення, перемикачі телевізійних і радіосигналів, підсилювачі низької та високої частоти, відхильні системи, проекційні трубки, блоки дистанційного керування, корпуси для радіо- та телеапаратури побутового та дослідного призначення; екрани, дисководи, мікропроцесори, блоки пам'яті, зв'язку зі зовнішніми системами, введення та оброблення інформації (клавійні, перфо-

раторні, магнітоелектричні тощо), живлення, відліку часу, сканери, транслятори та перетворювачі сигналів, індикатори, катріджі для побудови персональних комп'ютерів і ЕОМ.

Метод агрегування дав змогу розширити кількість виконуваних виробами функцій, підвищити їх рівень уніфікації та стандартизації. Передові фірми розвинених країн не приймають до серійного виготовлення виробу, які мають рівень уніфікації нижчий ніж 80%. Уніфікація та агрегування, як основні методи стандартизації, стали обов'язковими під час створення нової техніки та розроблення відповідних стандартів на неї і дають змогу значно здешевити не тільки стадію виготовлення виробів, а й стадії їх проектування, експлуатації та зберігання, підвищити якість виробів з одночасним їх удешевленням.

1.2.5. Показники рівня уніфікації та стандартизації виробів

За рівень уніфікації та стандартизації виробів приймають "насиченість" їх уніфікованими та стандартними складовими частинами. Для визначення рівня уніфікації та стандартизації використовують різні показники і коефіцієнти, що можуть бути як поелементними, так і комплексними, і враховують одночасно два та більше елементів. До поелементних показників належать коефіцієнти уніфікації за рівнем використання типорозмірів, маси уніфікованих і стандартних елементів, кожний з яких характеризує рівень уніфікації тільки з одного боку. Наприклад, коефіцієнт використання типорозмірів визначають як

$$K_{в.т} = \frac{n - n_0}{n} 100\%, \quad (1.2.2)$$

де $K_{в.т}$ — коефіцієнт уніфікації використання типорозмірів, %; n — загальна кількість типорозмірів складових частин у виробі, шт; n_0 — кількість типорозмірів оригінальних складових частин, розроблених тільки для заданого виробу, шт.

Приклад. Виріб складається з $n = 86$ типорозмірів складових частин (деталей, вузлів, комплектувальних виробів) та $n_0 = 12$ складових оригінальних частин. Тоді

$$K_{в.т} = (86 - 12) / 86 \cdot 100\% = 86,05\%.$$

Конструкторські та проектні організації визначають так звані коефіцієнти проектної уніфікації та стандартизації відповідно за кількістю типорозмірів, масою, вартістю складових частин [29, 38]:

$$K_{n,y} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i - \sum_{j=1}^m q_j}{\sum_{i=1}^k n_i - n_{\max}} 100\%, \quad (1.2.3)$$

де $K_{n,y}$ — проектний коефіцієнт уніфікації та стандартизації, %; n — кількість типорозмірів складових частин виробів в i -му виробі, шт; k — кількість розроблених (спроєктованих) виробів, шт; q — кількість типорозмірів однієї назви в j -й складовій частині виробів, шт; m — загальна кількість назв складових частин розроблених (спроєктованих) виробів, шт; n_{\max} — найбільша кількість типорозмірів складових частин одного виробу (проекту), шт.

Повнішу оцінку рівня уніфікації та стандартизації отримують за допомогою комплексного коефіцієнта [2]

$$K_{k,y} = \frac{\sum_{y,m} B_{y,m} + \sum_{y,\tau} B_{n,\tau}}{\sum_m B_m + \sum_{\tau} B_{n,\tau}} 100\%, \quad (1.2.4)$$

де $K_{k,y}$ — комплексний коефіцієнт уніфікації та стандартизації, %; $\sum_{y,m}$ — маса уніфікованих складових частин, кг; $B_{y,m}$ — середня вартість маси матеріалу уніфікованих складових частин, грн; $\sum_{y,\tau}$ — трудомісткість виготовлення уніфікованих частин, год; $B_{n,\tau}$ — середня вартість нормо-години, грн; \sum_m — загальна маса виробу, кг; B_m — середня вартість одиниці маси матеріалу виробу, грн; \sum_{τ} — загальна трудомісткість виготовлення виробу, год.

1.2.6. Випереджувальна та комплексна стандартизація

Планування та керування процесами стандартизації поліпшують, використовуючи програмно-цільові та комплексні методи. Це дає змогу виділяти з великого розмаїття задач стандартизації головні та зосереджувати на них увагу, охоплюючи всі аспекти проблеми.

Швидкі темпи технічного прогресу вимагають безперервного удосконалення якості виробів, зменшення їх вартості та підвищення продуктивності праці. Скорочуються терміни від виникнення нової технічної ідеї до її втілення у виробі, які виготовляють серійно відповідно до попиту на них. Тому стандарти з вимогами до якості продукції, що відповідають тільки досягнутому її рівню, у разі несвоечасного їх перегляду можуть стати гальмом науково-технічного прогресу та призупинити виробництво výro-

бів, навіть спричинити банкрутство підприємства через відсутність збуту продукції.

Процес розроблення нових і перегляду чинних стандартів має бути своєчасним, при цьому слід уважно аналізувати тенденції розвитку науки та техніки, потреби ринку, нові технології проектування й виготовлення товарів. Стандарти не можуть випереджати наукові, технічні та технологічні можливості народного господарства держави у заданий час, але мають враховувати їх на перспективу. Вони мають ґрунтуватися на новітніх досягненнях науки та техніки, вже освоєних чи підготовлених до освоєння у реальному виробництві [28, 35].

Випереджувальна стандартизація полягає у встановленні вищих від досягнутих у виробництві вимог до якості виробів, продуктивності праці, які за прогнозами можуть досягти вищого рівня у заплановані терміни. Об'єктами випереджувальної стандартизації можуть бути вироби (вимоги, норми, показники), які виготовляють підприємства протягом чинності стандартів. Стандарти містять вимоги до якості зі зростанням її рівня, зазначаючи терміни чинності для кожного рівня. Ці вимоги мають бути узгоджені з якістю використовуваних матеріалів і комплектувальних виробів.

Як показник своєчасного розроблення (перегляду) стандарту приймають [38] період випередження терміну затвердження стандарту відносно початку виготовлення виробів, який записують у вигляді

$$T_b = t_n - t_b, \quad (1.2.5)$$

де T_b — період випередження терміну затвердження стандарту, місяців (днів); t_n і t_b — відповідно терміни затвердження стандарту та початку виготовлення виробів.

Тривалий період випередження дає змогу повніше виконувати нові вимоги стандартів для матеріалів і комплектувальних виробів і підготувати виробництво. Але це, з іншого боку, збільшує витрати, зумовлені затримкою виготовлення поліпшених виробів та їх збуту на ринку.

Комплексною стандартизацією називають цілеспрямоване використання системи взаємопов'язаних вимог як до самого об'єкта стандартизації загалом і його основних складових частин (елементів), так і до всіх параметрів, що визначають його якість. До основних параметрів належать досконалість конструктивних схем, методів проектування та розрахунків, якість використовуваних матеріалів, напівфабрикатів, сировини, заготованок, комплектувальних виробів, ступінь уніфікації та стандартизації, рівень технології та якість виробництва, кваліфікації працівників тощо.

Комплексна стандартизація ускладнена широким рівнем кооперування та інтегрування праці підприємств, кількість яких може бути дуже великою, якщо брати до уваги необхідність забезпечення виробництва технологічним устаткуванням, спорядженням, контрольно-вимірювальними засобами тощо.

Для комплексної стандартизації необхідне забезпечення одночасного розроблення взаємоузгоджених стандартів і технічних вимог, координування праці багатьох організацій, що розробляють, узгоджують і затверджують стандарти. Такі завдання під силу тільки державним організаціям, відомствам, які складають програми та фінансують комплексну стандартизацію.

З технічного боку найважчим для реалізації випереджувальної та комплексної стандартизації є встановлення кількісних зв'язків і ступеня впливу показників якості матеріалів, заготовок, комплектувальних виробів тощо.

1.2.7. Систематизація загальнотехнічних стандартів

Значна кількість загальнотехнічних стандартів зумовлює необхідність їх систематизації. Галузеві, міжгалузеві та стандарти підприємств, що були чинними у багатьох видах інженерної діяльності ще у середині ХХ ст., не забезпечували єдності правил оформлення робочих креслень, технологічних документів, інструкцій, норм, технічних умов, ускладнювали передавання документації між підприємствами тощо. Переоформлення всієї технічної документації для використання її окремими підприємствами чи організаціями вимагало значних коштів і часу. Окрім цього, окремі стандарти часто розроблялись без взаємного узгодження між собою та з уже чинними стандартами. Тому, починаючи з другої половини ХХ ст., усі загальнотехнічні стандарти розробляють не окремо, а комплексно. Наприклад, стандарти "Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД)" встановлюють єдині правила проектування, виконання, оформлення, зберігання та знищення конструкторських документів; "Єдина система технологічної документації (ЕСТД)" визначає аналогічні правила для технологічних документів; "Єдина система технологічного підготовки виробництва (ЕСТПВ)" регламентує процеси підготовки та організації виробництва для серійного виготовлення; "Єдина система стандартів приладобудування (ЕССП)" має на меті уніфікацію параметрів і характеристик засобів вимірювання, контролю, регулювання та керування виробничими процесами із забезпеченням інформаційної, конструктивної, експлуатаційної сумісності всіх технічних засобів.

Контрольні запитання

1. Яка мета стандартизації?
2. Які Ви знаєте основні принципи стандартизації?
3. Як оптимізують та взаємоузгоджують вимоги стандартів?
4. Що таке переважні числа, де застосовують їх ряди?
5. Що таке параметричні ряди виробів?
6. Як класифікують параметри виробів машинобудування?
7. Уніфікація виробів.
8. Які Ви знаєте способи побудови складних виробів?
9. У чому полягає агрегування виробів?
10. Як оцінюють рівень уніфікації та стандартизації виробів?
11. Що таке випереджувальна стандартизація?
12. У чому полягає комплексна стандартизація?
13. Як систематизують і класифікують загальнотехнічні стандарти?

Глава 1.3

Взаємозамінність у машинобудуванні

1.3.1. Взаємозамінність та її види

Взаємозамінністю виробів називають їх здатність займати певне місце у складнішому виробі чи здатність будь-якого виробу рівноцінно замінювати інший. Якщо заміна одностипних виробів можлива без додаткового регулювання чи припасування (додаткового оброблення різанням), то таку взаємозамінність називають *повною*. Вироби повинні відповідати вимогам креслень, технічним вимогам чи стандартам, у яких наведені марка та стан матеріалу виробу (заготованки, деталі), форма та розміри, якість поверхонь, електричні та інші фізичні параметри, покриття тощо. Усі параметри виробу повинні мати певні значення.

Взаємозамінність дає змогу виготовляти вироби на будь-якому підприємстві та використовувати їх для складання складніших виробів чи ремонтувати на інших підприємствах. Наприклад, сучасні автомобільні заводи переважно складають автомобілі з виробів (деталей, вузлів, агрегатів, приладів тощо), виготовлених на інших фірмах і заводах. Їхні вироби, як запасні частини, використовують тисячі підприємств, що ремонтують автомобілі.

Повна взаємозамінність полегшує процес складання чи ремонтування виробів, дає змогу використовувати робітників невисокої кваліфікації, полегшувати механізацію та автоматизацію вироб-

ництва, підвищувати точність нормування праці, сприяє розширенню кооперування та інтегрування підприємств, що проектують, виготовляють та експлуатують вироби. Недоліками повної взаємозамінності є підвищені вимоги до точності параметрів виробів і зумовлена цим вища їх вартість. Для забезпечення повної геометричної взаємозамінності деталей та вузлів розміри поверхонь, що поєднуються, виготовляють з високою точністю (5, 6 і 7 квалітети точності), а розмірні ланцюги, що визначають розміри відповідальних замикальних ланок для деталей, вузлів, мають бути якомога коротшими.

Неповною взаємозамінністю називають здатність виробів займати певне місце у складнішому виробі, але після додаткового часткового оброблення (припасування) заданих поверхонь; добирання поєднуваних складових частин внаслідок регулювання заданих розмірів за допомогою спеціально передбачених у конструкції відповідних ланок (поверхонь, деталей).

Зовнішньою вважають таку взаємозамінність, що забезпечує здатність виробів займати певне місце у складнішому виробі тільки за виконуваними функціями, габаритними та монтажними розмірами поєднуваних поверхонь виробів, а *внутрішньою* — таку взаємозамінність, що забезпечує здатність усіх складових частин складного виробу займати певне місце у ньому. Наприклад, кулькові підшипники за виконуваними функціями та монтажними розмірами зовнішнього та внутрішнього кілець є взаємозамінними, тобто вироби мають зовнішню взаємозамінність, але окремі частини їх (зовнішні та внутрішні кільця, кульки) не є взаємозамінними між собою, бо подаються для складання у вальниці тільки селективно дібраними комплектами, тобто не мають внутрішньої взаємозамінності. Будь-яка окрема частина кулькового чи роликового підшипника не є взаємозамінною.

1.3.2. Загальні поняття про розміри, їх відхилення та допуски

Взаємозамінність виробів за їх геометричними параметрами (формою та розмірами) доцільно вивчати на прикладах гладких циліндричних внутрішніх (отворів) і зовнішніх (валів) поверхонь. Термін *отвір* переважно застосовують не тільки для позначення внутрішніх поверхонь отворів, а й для всіх охоплювальних поверхонь, а термін *вал* — відповідно для всіх охоплюваних поверхонь і розмірів елементів виробів. Ці терміни використовують не тільки для циліндричних, а й для поверхонь будь-якої іншої форми (плоских, криволінійних). Наприклад, призматичну шпонку приймають як вал, а пази для неї у валу чи втулці (шківі, шестерні) — як отвір.

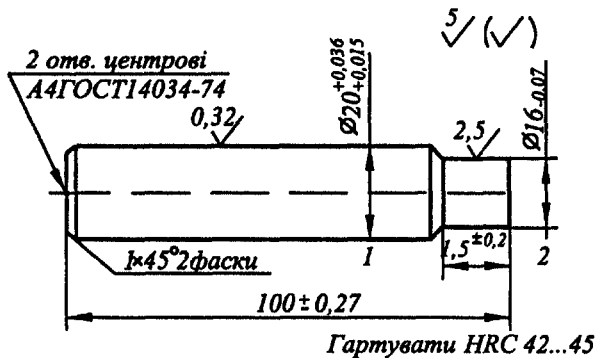


Рис. 1.3.1.

Значення геометричних параметрів оцінюють за допомогою розмірів, що є числовими значеннями лінійних чи куткових розмірів. Наприклад, діаметр, довжину, ширину, глибину, висоту оцінюють лінійними розмірами, а кути, нахили, конусності — кутковими розмірами. За призначенням розміри поділяють на номінальні, допускні та істинні.

Номінальними називають прийняті під час проектування розміри, подані у робочих кресленнях чи ескізах. Вал з чотирма номінальними розмірами ($\varnothing 20$; $\varnothing 16$; 100; 15) і двома фасками $1 \times 45^\circ$ зображений на рис. 1.3.1. Номінальні розміри служать для розрахунків і накреслення у заданому масштабі зображень чи проекцій виробів на робочих кресленнях (детальних і складальних). Їх отримують як результат розрахунків відповідних заокруглень з конструктивних (технологічних, естетичних) міркувань. З метою стандартизації їх значення добирають із рядів номінальних розмірів, встановлених стандартами на базі рядів переважних чисел. Розміри, що є похідними від інших розмірів (наприклад, ділильного діаметра та кроку зубчастих коліс, великого, середнього та малого діаметрів і кроків різьб, виконавчих розмірів калібрів, технологічних міжопераційних розмірів) подають на кресленнях та ескізах без заокруглень і незалежно від того, чи входять вони у ряди переважних чисел.

Найбільшим і найменшим граничними значеннями розмірів називають ті, які визначені вимогами забезпечення взаємозамінності виробів. Допускні значення розмірів у кресленнях та ескізах не наводять. Їх визначають за допомогою арифметичних розрахунків, додаючи до номінальних розмірів допускні для них відхилення, які проставляють у кресленнях чи ескізах справа (зверху, знизу та поруч) від номінальних розмірів. *Верхнім (нижнім)* називають відхилення розміру, додавання якого до номінального його значення дає змогу отримати найбільший (найменший) гра-

ничний розмір. Наприклад, на рис. 1.3.1 біля розміру $\varnothing 20$ наведено верхнє відхилення $+0,036$ і нижнє відхилення $+0,015$, біля розміру $\varnothing 16$ наведено верхнє відхилення 0 (на кресленнях та ескізах нульові відхилення не пишуть) і нижнє $-0,07$, біля розмірів 100 і 15 наведені відповідно верхні та нижні симетричні відхилення, які записані як $\pm 0,027$ і $\pm 0,2$, біля розмірів фаски допускні відхилення не зазначені. Це означає, що ці розміри можна виконувати за найнижчою відповідно до стандартів точністю. Для розмірів фасок верхні та нижні відхилення, як для лінійного розміру 1 , так і для кутового розміру 45° , можна прийняти відповідно за найнижчими квалітетом і ступенем точності. Згідно зі стандартами для розміру 1 і 17 квалітету точності маємо $\pm 0,5$ (половина допуску), а для кутового розміру 45° і 17 ступеня точності — $\pm 2'18''$.

Граничні відхилення розмірів дають змогу визначити їх найбільші та найменші значення. Шляхом додавання до номінальних розмірів їх верхніх відхилень отримують найбільші допускні розміри, а додаванням до номінальних розмірів їх нижніх відхилень — найменші допускні розміри. Наприклад, для розміру $\varnothing 20$ (рис.1.3.1) найбільший розмір буде $\varnothing 20 + 0,036 = \varnothing 20,036$ і найменший — $\varnothing 20 + 0,015 = \varnothing 20,015$; для розміру $\varnothing 16$ допускні розміри відповідно $\varnothing 16 + 0 = \varnothing 16$ і $\varnothing 16 + (-0,07) = \varnothing 15,93$; для розміру 100 допускні розміри — $100 + 0,27 = 100,27$ і $100 + (-0,27) = 99,73$; для розміру 15 допускні розміри — $15 + 0,2 = 15,2$ і $15 + (-0,2) = 14,8$; для розміру 1 фасок допускні розміри такі: $1 + 0,5 = 1,5$ (найбільший) і $1 - 0,5 = 0,5$ (найменший); для кутового розміру 45° граничні розміри становлять $45^\circ + 2'18'' = 47^\circ 18'$ (найбільший) і $45^\circ - 2'18'' = 42^\circ 42'$ (найменший).

Значення граничних розмірів, як і допускних відхилень, дають змогу визначити задану точність та дібрати контрольно-вимірювальні засоби. Наприклад, розмір $\varnothing 20^{+0,036}_{+0,015}$ потрібно вимірювати з точністю $\pm 0,001$ мм; розмір $\varnothing 16_{-0,07}$ — з точністю до $\pm 0,01$; розмір $10 \pm 0,27$ — з точністю $\pm 0,01$ мм; розмір $15 \pm 0,02$ — з точністю $\pm 0,01$ мм; розмір фаски $1 \pm 0,5$ з точністю $\pm 0,1$ мм, а кутовий розмір $45^\circ \pm 2'18''$ — з точністю $\pm 1'$. Відповідно добирають засоби вимірювання.

Істинними називають розміри, які отримують внаслідок виготовлення та вимірювання розмірів виробів. З визначення випливає, що похибки засобів вимірювання входять до результатів вимірювань істинних розмірів. Ці розміри можуть мати різні значення для кожного з виготовлених виробів і залежно від того, перебувають вони чи не перебувають у допускних межах, вироби належать відповідно до придатних чи бракованих. Якщо істин-

ний розмір виявився таким, що за допомогою додаткового оброблення можна ще отримати заданий розмір, то такі браковані вироби вважають непридатними і повертають виробнику на виправлення, якщо ж — ні, то їх відносять остаточно до непоправних і списують у витрати виробництва.

1.3.3. Графічне зображення розмірів, їх відхилень і допусків

Розглянемо умовну схему розмірів отвору та вала з їх відхиленнями (рис. 1.3.2). Для наочності зображення номінальних, граничних розмірів та їх відхилень наведені у різних масштабах (для розмірів — менші, а для відхилень — більші). Окрім цього, початок відліку для всіх розмірів зводять до однієї лінії, а номінальні розміри зображають тільки нульовою лінією. Номінальний, найбільший та найменший допускні розміри для отворів позначають як D , D_{\max} і D_{\min} , а для вала — відповідно як d , d_{\max} і d_{\min} . Значення верхнього та нижнього відхилень для розміру отвору позначають відповідно як ESD та EID , а для розміру вала — як esd та eid . Основним називають відхилення, яке є ближчим до номінального розміру (нульової лінії), а *істинним* — відхилення, отримане у результаті виготовлення та вимірювання розміру. Воно є алгебричною різницею між істинним і номінальним розмірами.

Різниці між найбільшими та найменшими розмірами чи верхніми та нижніми відхиленнями називають *допусками розмірів* отвору та вала і позначають відповідно як TD і Td . З рис.1.3.2 видно, що

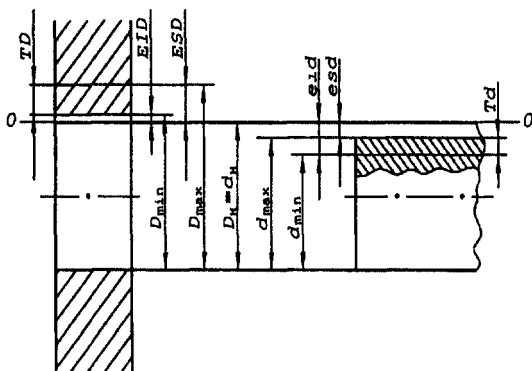


Рис. 1.3.2.

$$D_{\max} = D + ESD, \quad (1.3.1)$$

$$D_{\min} = D + EID, \quad (1.3.2)$$

$$d_{\min} = d + esd, \quad (1.3.3)$$

$$d_{\max} = d + eid, \quad (1.3.4)$$

а допуски розмірів отвору та вала

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = (D + ESD) - (D - EID) = ESD - EID, \quad (1.3.5)$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = (d + esd) - (d + eid) = esd - eid. \quad (1.3.6)$$

Відповідно для розмірів, зображених на рис.1.3.1, значення допусків: $+0,036 - (+0,015) = 0,021$ мм — для розміру $\varnothing 20$; $0 - (-0,07) = 0,07$ мм — для розміру 16 мм; $+0,027 - (-0,027) = 0,054$ мм — для розміру 100 мм; $+0,2 - (-0,2) = 0,4$ мм — для розміру 15; $+0,5 - (-0,5) = 1,0$ мм — для розміру 1 мм і $+2^{\circ}18' - (-2^{\circ}18') = 4^{\circ}36'$ — для розміру 45° .

Розміри, які більші від номінальних (над нульовою лінією) мають знак "+", а всі розміри, менші від номінальних (під нульовою лінією), мають знак "-". Усі відхилення розмірів, що не дорівнюють нулю, завжди мають відповідний знак "+" чи "-", тому на рисунках біля кожного значення відхилення розмірів ставлять відповідні знаки, а допуск розміру, що є різницею найбільшого та найменшого розмірів (чи відхилень) є додатною величиною. Біля значення допусків знаків не ставлять.

Для наочності і спрощення на схемах розмірів та їх відхилень часто зображають тільки нульову лінію і поля допусків розмірів малюють як прямокутники та заштриховують для розмірів отворів у один бік, а для розмірів валів — у другий. Усі відхилення та допуски на одному рисунку роблять у довільному, але одному масштабі. Така схема полів допусків для отворів і валів для розміру 50 зображена на рис.1.3.3. Поля допусків позначені відповідно до вимог стандартів, розглянутих у главі 1.1.4.

Приклад. Для заданих на рис.1.3.3, а і б полів допусків розрахувати отвір з найбільшими граничними розмірами та вал з найменшими граничними розмірами.

Розв'язання. Найбільші граничні розміри матиме отвір, поле допуску якого розміщене найвище над нульовою лінією. Цій умові відповідає поле допуску з відхиленнями $+0,130$ і $+0,169$, а допускні розміри зазначеного отвору такі: найменший $\varnothing 50 + 0,130 =$

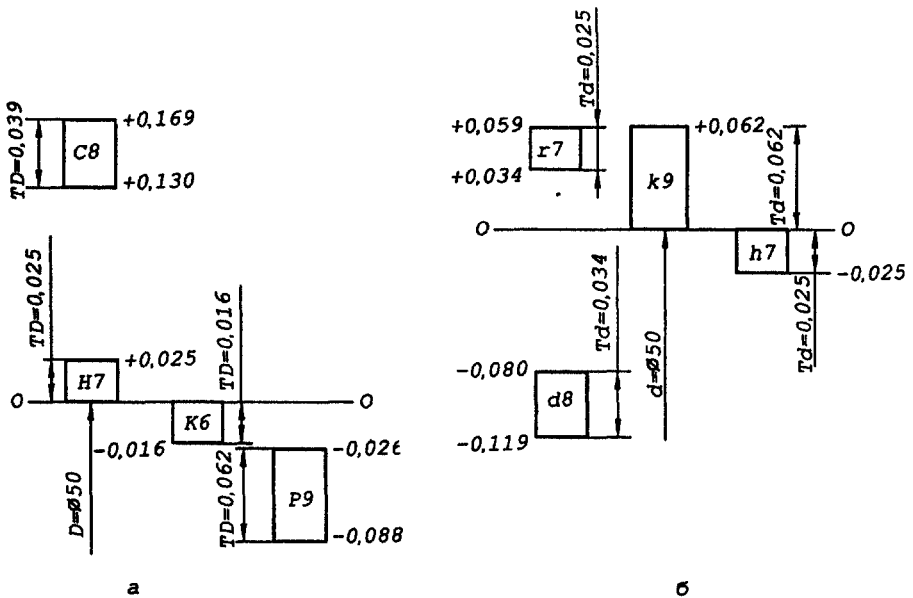


Рис. 1.3.3.

= $\varnothing 50,130$ мм і найбільший $\varnothing 50 + 0,169 = \varnothing 50,169$ мм. Відповідно найменші граничні розміри матиме вал, поле допуску якого найнижче від нульової лінії. Таке поле допуску має відхилення $-0,080$ і $-0,119$, а допускні розміри вала такі: найменший $\varnothing 50 + (-0,119) = \varnothing 49,881$ мм і найбільший $\varnothing 50 + (-0,080) = \varnothing 49,920$ мм.

Для іншого з'єднання, схема полів допусків якого зображена на рис.1.3.4, б, отвір має розмір $\varnothing 50_{-0,026}^{-0,080}$, а вал — $\varnothing 50_{+0,034}^{+0,059}$.

У цьому разі поле допуску вала знаходиться над полем допуску отвору, тому розмір вала буде завжди більшим від розміру отвору. Для отримання такого з'єднання потрібне відповідне зусилля для напресовування отвору на вал. У цьому разі різницю між розмірами вала та отвору називають натягом і позначають буквою N .

Веручи до уваги, що $D = d$, визначаємо найбільші та найменші значення проміжків та натягів для обох з'єднань:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EID) - (d + esd) = EID - esd = 0 - (-0,080) = 0,080;$$

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ESD) - (d + eid) = ESD - eid = +0,025 - (-0,119) = 0,144;$$

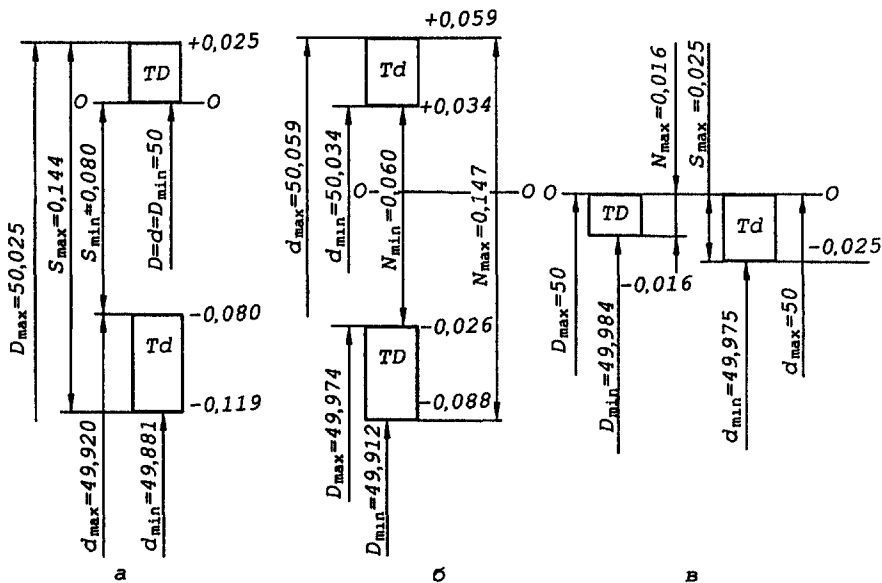


Рис. 1.3.4.

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = (d + eid) - (D + ESD) = eid - ESD = + 0,034 - (-0,026) = 0,060;$$

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = (d + esd) - (D + EID) = esd - EID = + 0,059 - (-0,088) = 0,147.$$

1.3.4. Загальна характеристика з'єднань робочих поверхень деталей

Як відомо, з'єднання деталей можуть забезпечувати відповідне їх відносно вільне переміщення або нерухомість. Все залежить від того, розмір якої з поверхонь отвору чи вала є більшим. Якщо розмір поверхні отвору більший від розміру поверхні вала, між ними буде відповідний проміжок, який забезпечує можливість їх взаємного переміщення. Цей проміжок, згідно з ДСТУ 2500-94 називають *зазором*. Схема полів допусків такого з'єднання зображена на рис.1.3.4, а. У разі більшого розміру поверхні вала від поверхні отвору з'єднати між собою такі деталі можна, тільки приклавши певне зусилля, наприклад шляхом запресування чи

використання температурного розширення матеріалів деталей (відповідно нагріваючи деталь з отвором чи охолоджуючи вал). Таке з'єднання буде нерухомим. Схема полів допусків такого з'єднання зображена на рис.1.3.4, б. Згідно з ДСТУ 2500–94, рухомі з'єднання називають *з'єднаннями з зазором*, а нерухомі — *з'єднаннями з натягом*. Величина проміжку чи натягу між робочими поверхнями визначає ступінь свободи відносного переміщення деталей чи ступінь опору цьому переміщенню.

Ще є з'єднання, які залежно від випадкових значень розмірів з'єднуваних поверхонь у межах допускних значень їх розмірів можуть бути рухомими чи нерухомими. Схема полів допусків такого з'єднання зображена на рис.1.3.4, в. Для цього з'єднання отвір має розмір $\varnothing 50_{-0,016}$, а вал — $50_{-0,025}$. Визначимо найбільші значення ймовірних проміжків і натягів у такому з'єднанні:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ESD - eid = 0 - (-0,025) = 0,025;$$

$$N_{\min} = d_{\max} - D_{\min} = esd - EID = 0 - (-0,016) = 0,016.$$

Як свідчить рисунок, поля допусків отвору та вала змішаного з'єднання, яке залежно від розмірів робочих поверхонь з'єднуваних деталей може бути рухомим чи нерухомим, перекриваються. Згідно з ДСТУ 2500–94, таке з'єднання називають *з'єднанням з перехідною посадкою*.

Для оцінки точності з'єднань інколи використовують суму допусків розмірів обох з'єднуваних поверхонь, які, згідно з ДСТУ 2500–94, називають *допуском посадки*. Наприклад, для з'єднань, схеми яких зображені на рис.1.3.4, зазначені суми допусків такі:

$$\text{для рухомого } TS = TD + Td = 0,025 + 0,039 = 0,064;$$

$$\text{для нерухомого } TN = TD + Td = 0,062 + 0,025 = 0,087;$$

$$\text{для змішаного } TS(TN) = TD + Td = 0,016 + 0,025 = 0,041.$$

Отримані результати свідчать, що найточнішим є змішане з'єднання, а з'єднання з натягом має найменшу точність. Окрім цього, у змішаних з'єднаннях розміри з'єднуваних поверхонь мають найменші відхилення від номінальних значень.

З метою уніфікації з'єднань у стандартах рекомендовані до використання так звані система отвору та система вала. *Системою отвору* називають такий набір з'єднань, де за основне приймають поле допуску отвору, а поле допуску вала добирають залежно від заданого характеру з'єднання (рис.1.3.5, а). Для такої системи за нижнє відхилення розміру отвору здебільшого приймають нуль.

Системою вала називають такий набір з'єднань, де за основне приймають поле допуску вала, а поле допуску отвору добирають залежно від заданого характеру з'єднання (рис.1.3.5, б). Для такої системи за верхнє відхилення розміру вала здебільшого приймають нуль.

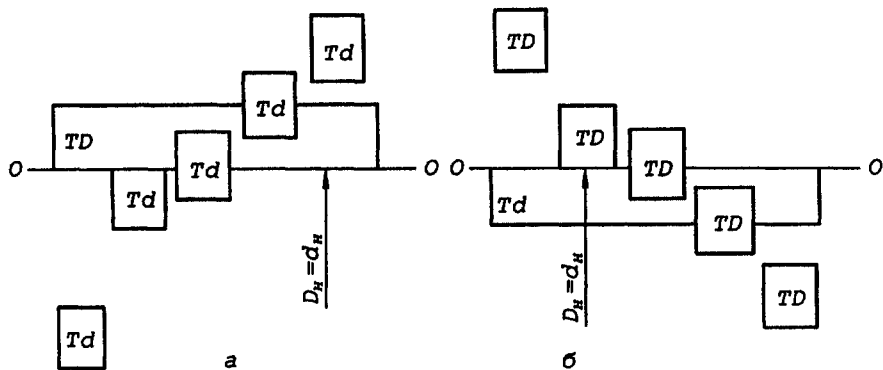


Рис. 1.3.5.

мають нуль. Основне відхилення вала добирають залежно від заданого характеру з'єднання. Наприклад, у парі з полем допуску отвору TD_1 поле допуску вала Td_0 забезпечує отримання рухомого з'єднання з найбільшим проміжком, а поле допуску Td_5 — з'єднання з найбільшим натягом.

Система отвору характерна тим, що для багатьох з'єднань з однаковим номінальним розміром отвори мають однакові граничні розміри, а вали переважно — різні відхилення для кожного зі з'єднань. Це дає змогу значно зменшити трудомісткість і вартість оброблення різанням заготованок, оскільки меншою є потрібна кількість мірних різальних інструментів (свердл, розвертачок, зенкерів тощо), якими обробляють внутрішні поверхні, а значна кількість розмірів зовнішніх поверхонь відповідно до кількості з'єднань за їх характером не зумовлює відповідної кількості різальних інструментів, оскільки зовнішні поверхні різних розмірів переважно обробляють обмеженою кількістю універсальних чи уніфікованих різальних інструментів (різців, фрез, шліфувальних кругів тощо). Окрім цього оброблення зовнішньої поверхні здебільшого має меншу трудомісткість, ці поверхні доступніші. Тому система отвору, як економічніша, стала більш поширеною.

Графічно для з'єднань малюють схему з двома полями допусків, відповідно для розмірів отвору та вала зі спільною нульовою лінією. Прикладом може бути схема полів допусків (див. рис.1.3.4, а) гладкого циліндричного з'єднання отвору (розміром $\varnothing 50^{+0,025}$) і вала (розміром $\varnothing 50_{-0,019}^{-0,080}$). Як бачимо, розміри отвору можуть мати значення у межах від $D_{\min} = \varnothing 50$ до $D_{\max} = \varnothing 50,025$, а розміри вала — відповідно від $d_{\min} = \varnothing 49,881$ до $d_{\max} = \varnothing 49,920$, тобто для заданого з'єднання які б розміри не мали отвори та вали, виготовлені у ме-

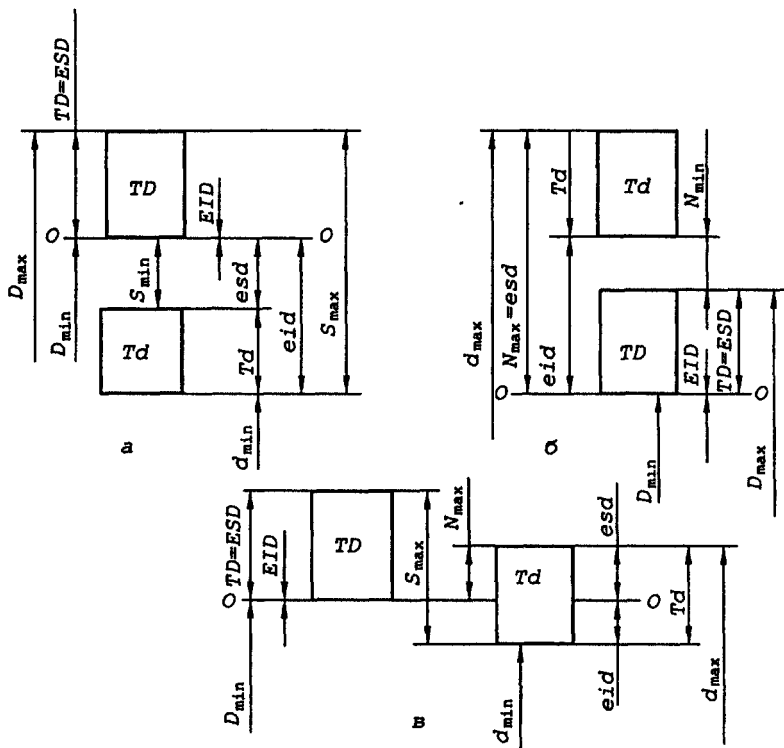


Рис 1.3.6.

жах допускних розмірів, вал буде завжди менший від отвору і між ними буде проміжок, який позначають буквою S . У цьому з'єднанні, як це видно з рис.1.3.4, *a*, поле допуску вала перебуває нижче від поля допуску отвору.

Для характеристики будь-якого з'єднання визначають граничні значення проміжків та натягів у ньому. Зі схем полів допусків з'єднань, зображених на рис.1.3.6, очевидними є такі співвідношення: для рухомого з'єднання (рис.1.3.6, *a*)

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ESD) - (d + eid) = ESD - eid; \quad (1.3.7)$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EID) - (d + esd) = EID - esd; \quad (1.3.8)$$

для нерухомого з'єднання (рис.1.3.6, *б*)

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = (d + esd) - (D + EID) = esd - EID; \quad (1.3.9)$$

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = (d + eid) - (D + ESD) = eid - ESD; \quad (1.3.10)$$

для змішаного з'єднання (рис.1.3.6, е)

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ESD) - (d + eid) = ESD - eid; \quad (1.3.11)$$

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = (d + esd) - (D + EID) = esd - EID. \quad (1.3.12)$$

Сумарні допуски відповідно для рухомого, нерухомого та змішаного з'єднань позначають $T(S)$, $T(N)$ і $T(S, N)$. З наведених на рис.1.3.6 схем полів допусків очевидні такі залежності:

для рухомого з'єднання (рис.1.3.6, а)

$$T(S) = TD + Td = S_{\max} - S_{\min};$$

для нерухомого з'єднання (рис.1.3.6, б)

$$T(N) = TD + Td = N_{\max} - N_{\min};$$

для змішаного з'єднання (рис. 1.3.6, в)

$$T(S, N) = TD + Td = S_{\max} + N_{\max}.$$

1.3.5. Поняття про одиницю допуску й квалітет точності

Відповідно до чинних стандартів (ГОСТ 25346-82) для визначення допусків розмірів введено поняття одиниці допуску та квалітету точності. *Одиницею допуску* називають множник чи коефіцієнт, що є функцією величини номінального розміру. Кількість одиниць допуску, яка визначає допуск розміру, називають *квалітетом точності розміру*. Квалітет точності визначає сукупність допусків однакового ступеня точності для всіх номінальних розмірів. Тому значення допуску будь-якого розміру

$$T = 0,001 i k, \quad (1.3.13)$$

де i — значення одиниці допуску, мкм; k — кількість одиниць допуску.

Значення одиниці допуску визначають за допомогою залежностей, які були встановлені експериментально, відповідно

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D, \quad (1.3.14)$$

для номінальних розмірів зі значеннями до 500 мм

$$i = 0,004 D + 2,1,$$

для номінальних розмірів зі значеннями понад 500 до 10 000 мм, де D — номінальне значення розміру, мм.

Отже, меншій кількості одиниць допуску відповідає вища точність розміру, а більшій кількості одиниць допуску — нижча точ-

ність розміру. У системі ISO встановлено 20 квалітетів точності, які позначають у порядку зменшення точності розмірів від 01 до 18.

Допуск розмірів позначають двома буквами *IT* або скорочено *T* (від англійського *tolerans*) разом з номером квалітету точності, наприклад *IT01 (T01)*, *IT7 (T7)*, *IT12 (T12)* тощо.

1.3.6. Добір допусків розмірів і характеру з'єднань

Значення допусків розмірів і характер з'єднань зумовлюють відповідну трудомісткість і вартість їх отримання. Що менший допуск розміру поверхні, то більша трудомісткість і вартість її отримання. З іншого боку, трудомісткішими та дорожчими є нерухомі з'єднання. Оптимальні рішення під час добору величин допусків і характеру з'єднань знаходять різними методами. Найпоширенішим є *метод аналогів (прецедентів)*, що полягає у пошуку аналогічних рішень в інших виробих машинобудування, які уже тривалий час використовуються. Конструктори та технологи під час конструювання виробів (вузлів, деталей), добираючи допуски розмірів робочих поверхонь деталей та характер з'єднань (як і матеріали, способи отримання виробів) аналогічні до уже випробуваних протягом тривалого часу, страхують себе від прийняття хибних рішень, економлять матеріальні й трудові ресурси, потрібні для розроблення та експериментальних досліджень, скорочують термін отримання результату. Наприклад, правильно дібрати допуск та характер з'єднань для вузла поршень — циліндр у компресорах чи двигунах внутрішнього згорання чи кільце — кулька — кільце у підшипниках кочення було б дуже складно, якби не використовували значний досвід виготовлення та експлуатації аналогічних виробів машинобудування, які уже давно виготовляють у масовому виробництві. Метод аналогів для таких задач безальтернативний і часто служить для перевіряння інших методів, теоретичних розрахунків і досліджень.

Як розвиток методу аналогів також часто застосовують *метод подібності*, який полягає у використанні результатів класифікації виробів машинобудування за конструктивними та експлуатаційними ознаками, що містяться у довідковій літературі, галузевих, фірмових рекомендаціях. За цим методом спочатку шукають аналогію конструктивних ознак та умов експлуатації проектованого виробу у літературі і відповідно знаходять потрібні рішення. Відмінністю цього методу від попереднього є те, що замість реального виробу, який перебуває у довгостроковій експлуатації, шукають потрібний аналог у довідковій літературі. Недоліком зазначеного методу є те, що конструктивні та експлуатаційні ознаки

переважно подають у якісних, а не кількісних показниках. Недоліком обох методів є часткова суб'єктивність рішень.

Не має перелічених недоліків *розрахунковий метод*, що полягає у розрахунку оптимальних значень параметрів з'єднань з урахуванням альтернативності між рівнем якості виробів і трудомісткістю їх виготовлення. Беручи до уваги значні обсяги виконаних раніше теоретичних і експериментальних досліджень, наявність довідкової літератури, методів і засобів обчислювальної техніки, можна сподіватися на отримання достовірних результатів. Деякі труднощі виникають при встановленні показників надійності та довговічності виробів. Під час використання найвідповідальніші деталі виробів здебільшого спрацьовуються, що зумовлює вихід показників якості виробів за допускні межі. Часто відмови виробів у процесі їх експлуатації спричинені не поломками, а поступовим зниженням працездатності окремих вузлів, елементів, зумовлених спрацюванням робочих поверхонь деталей. Крім цього, під час проектування виробів беруть до уваги неоднорідність матеріалів, їх фізичні властивості, можливі перевантаження, недостатню точність значень довідкових даних, методів розрахунку, коефіцієнтів запасу тощо.

Розраховуючи міцність виробів та інші показники їх якості, беруть до уваги не конструкторські, а технологічні допуски, які переважно є меншими від конструкторських і забезпечують так званий технологічний запас працездатності виробів. Залежно від відповідальності вузла чи окремого елемента виробу технологічні допуски становлять від 40 до 95% конструкторських. Аналогічно добирають і характер з'єднань для робочих поверхонь. Для рухомих з'єднань, враховуючи, що робочі поверхні спрацьовуються і відповідно змінюється характер з'єднання, допуски розмірів обох контактних поверхонь з'єднуваних деталей виробів добирають відповідно до якості та стану окремих деталей (матеріалів, твердості, шорсткості тощо).

Для нерухомих з'єднань, у яких розміри валів мають бути більшими, ніж розміри отворів, запас міцності створюють, добираючи відхилення розмірів так, щоб задовольнити умову передавання заданих силових навантажень і якомога менше навантажувати відповідальні деталі, враховуючи їх можливу втому, зміну фізичних властивостей, додаткові похибки контрольно-вимірювальних засобів, зумовлені зміною зовнішніх факторів (температури, вологості, магнітного поля тощо).

У розрахунках іноді користуються так званим *коефіцієнтом запасу точності окремої поверхні*, який визначають за допомогою відношення допускної похибки розміру поверхні виробу наприкінці терміну експлуатації до похибки розміру поверхні нової деталі

$$K_T = \frac{T_F}{T_K}, \quad (1.3.15)$$

де K_T — коефіцієнт запасу точності, T_F і T_K — відповідно допуски наприкінці терміну експлуатації та конструкторський, мм. Наприклад, якщо радіальне биття шпинделя нового оброблювального верстата дорівнює 0,005 мм, а допусчне биття його перед ремонтом — 0,010 мм, то $K_T = T_F / T_K = 0,010/0,005 = 2$.

Для рухомих з'єднань цей коефіцієнт визначають як

$$K_T = \frac{TS_F}{TS}, \quad (1.3.16)$$

де TS_F і TS — відповідно суми допусків розмірів наприкінці експлуатації та конструкторський, мм.

Контрольні запитання

1. Що таке взаємозамінність і як її забезпечують?
2. Види взаємозамінності.
3. Де використовують повну та неповну взаємозамінність?
4. Наведіть приклади використання повної та неповної взаємозамінності у машинобудуванні.
5. Як класифікують розміри та їх відхилення?
6. Що таке номінальний, істинний та граничний розміри?
7. Які Ви знаєте умовні позначення відхилень та полів допусків розмірів?
8. Класифікація з'єднань за їх характером.
9. Що таке системи отвору та вала, де їх використовують?
10. Перелічіть методи добирання відхилень і полів допусків для з'єднань.
11. Як добирають поля допусків для рухомих і нерухомих з'єднань?

Глава 1.4

Взаємозамінність гладких циліндричних з'єднань

1.4.1. Система допусків та основних відхилень ISO

Системи допусків та основних відхилень розмірів для машинобудування [5, 8, 23] будують на підставі єдиних принципів як у системі отвору, так і у системі вала. Значення допусків визначають за допомогою одиниці допуску та кількості одиниць допуску

(квалітетів точності), рядів допусків, інтервалів розмірів, основних відхилень і урахування нормальних умов вимірювання та контролю. Нижче розглянемо тільки систему допусків і відхилень розмірів *ISO*, у якій реалізовані всі перелічені принципи.

Для реалізації принципу системи отвору та вала за основні прийняті відхилення розмірів з нульовими значеннями (нижнього — для основного отвору та верхнього — для основного вала). Одиницю допуску визначають відповідно за формулами (1.3.7)–(1.3.9). Інтервал розмірів 0...500 мм поділено на 13 підінтервалів, для яких залежно від номерів квалітетів точності розмірів встановлені спільні значення допусків.

За нормальне значення температури прийнято 20°C. Для цієї температури встановлені допускні відхилення та допуски лінійних і кутових розмірів, а також всі нормовані параметри засобів вимірювання.

Система допусків і відхилень *ISO* є єдиною для всіх галузей промисловості. У ній передбачено 28 основних відхилень лінійних розмірів, які позначають літерами латинського алфавіту (рис. 1.4.1). Основним називають одне з двох відхилень лінійного розміру, що є меншим за абсолютним значенням. Наприклад, для

розмірів $\varnothing 50^{+0,169}_{-0,130}$; $\varnothing 50^{0,080}_{-0,119}$; $\varnothing 50 \pm 0,031$ і $\varnothing 50^{+0,002}_{-0,023}$ основними будуть відповідно відхилення +0,130; -0,080; -0,031 і +0,002. Основні відхилення для отворів позначають великими, а для валів — малими літерами латинського алфавіту. Літери, подібні за позначенням до цифр, не використовують. Для шести відхилень (*CD*, *cd*, *EF*, *ef*, *FG*, *fg*, *ZA*, *za*, *ZB*, *zb*, *ZC* і *zc*) передбачено дволітерні позначення, що пояснюється недостатньою кількістю літер у алфавіті .

Основні відхилення для отворів від *A* до *G* і для валів від *m* до *zc* розташовані над нульовою лінією, а основні відхилення для отворів від *M* до *ZC* і для валів від *a* до *g* — під нею. Основні відхилення *H* і *h* дорівнюють нулю. Другі відхилення для кожного з основних відхилень розміщені на відстані від основних на величину допусків розмірів у бік збільшення їх абсолютних значень, за винятком основних відхилень J_s і j_s , для яких обидва відхилення за абсолютними значеннями однакові, дорівнюють половині допуску та відрізняються між собою тільки різними знаками. Наприклад, якщо основні відхилення розмірів становлять відповідно +0,130; +0,050; +0,025; 0; -0,009 і -0,080, а допуски їх однакові та дорівнюють 0,025, то другі відхилення для зазначених розмірів відповідно +0,155; +0,075; -0,050; +0,025 або -0,025; -0,034 і -0,105.

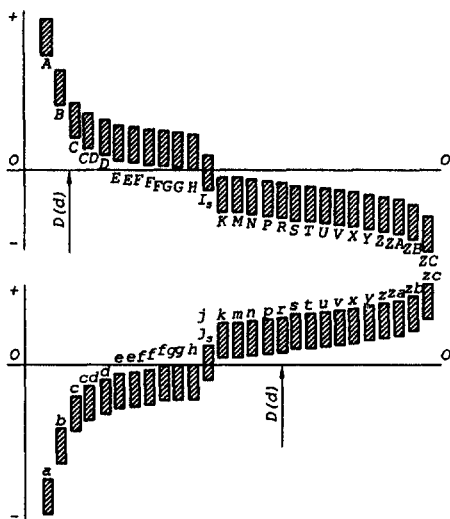


Рис 1.4.1.

Окрім основних відхилень у стандартах встановлено 20 квалітетів точності, які позначені у порядку зростання допусків (зменшення точності розмірів) цифрами 01; 0; 1; 2; 3;... 17; 18. Квалітети точності від 01 до 4 застосовують для розмірів еталонних і зразкових мір, а від 5 до 18 — для виробів машинобудування. 18 квалітет точності рекомендують використовувати для виробів з неметалевих матеріалів, що відрізняються значним усіданням як під час виготовлення, так і протягом їх тривалої експлуатації. Додатково ряд квалітетів точності від 5 до 18 поділяють на три групи: 5–8 квалітети належать до точних, 9–12 — до середньої точності, а 13–18 — до грубої точності.

Значення основних відхилень і допусків, визначені на підставі експериментів і розрахунків, стандартизовані та подані у довідковій літературі [1, 13, 14, 16]. Значення основних відхилень є функціями розмірів і назв основних відхилень, а значення допусків — функціями розмірів і номерів квалітетів точності. Що більший розмір, то більші основні відхилення та значення допусків; чим ближче до букв А (a) та ZC (zc) перебувають задані основні відхилення, чим більші номери квалітетів точності, тим більші значення основних відхилень і допусків розмірів.

Для будь-якого значення розміру, залежно від того, є він розміром отвору чи вала, може бути призначене будь-яке з 28 відхилень і встановлений будь-який із 20 квалітетів точності, тобто 616 $[(28 \cdot 2) + (28 \cdot 20)]$ різних відхилень. Беручи до уваги, що для

контролю кожного з них потрібні калібри та різальні інструменти, що економічно не вигідно, у стандартах наведені відповідні обмеження. Для кожного з 28 основних відхилень для отворів і валів рекомендовано використовувати не всі, а лише деякі квалітети точності. Винятки зроблено лише для відхилень H, h, JS і js , для яких дозволено використовувати всі квалітети точності розмірів.

З цією ж метою обмежено діапазон лінійних розмірів, на які поширюється система допусків і відхилень, від 0 до 40 000 мм. Зазначений діапазон лінійних розмірів поділено на два діапазони (від 0 до 3150 мм і понад 3150 до 40 000 мм), які мають ще дрібніший поділ. Основним для машинобудування є діапазон лінійних розмірів від 0 до 500 мм. З метою зменшення кількості значень відхилень і допусків розмірів згідно з чинними стандартами цей діапазон розділено на 13 діапазонів, для кожного з яких встановлені єдині (однакові) значення основних відхилень (від A та a до ZC та zc) і допусків (від 5 до 18 квалітетів точності), як середньоарифметичні значення, замість нескінченної їх кількості для кожного зі значень розмірів. Це дало змогу настільки зменшити кількість числової інформації, що всі основні відхилення та допуски розмірів діапазону від 0 до 500 мм можна розмістити на трьох сторінках стандарту. Ця інформація зменшиться ще удвічі, якщо взяти до уваги, що всі основні відхилення однакових розмірів для отворів та валів відрізняються між собою тільки знаком, тобто є симетрично розміщені відносно нульової лінії, а допуски мають лише додатні значення.

Для інших діапазонів стандарти регламентують інші обмеження, але у всіх діапазонах розмірів виділено переважні поля допусків. На рис. 1.4.2 зображені відхилення розмірів і поля допусків для розміру 50, для основних відхилень C, c, E, e, H, h, JS, js і квалітетів точності 5; 6 і 7. Як бачимо, основні відхилення разом з квалітетами точності утворюють ряди полів допусків (від найменшого для 01 квалітету точності до найбільшого допуску для 18 квалітету точності), які однаково віддалені (основне відхилення) від нульової лінії (номінального розміру), оскільки розмір для них один ($\varnothing 50$). З рисунка також видно, що допуски розмірів для всіх основних відхилень однакові для кожного з квалітетів точності, оскільки розмір у всіх випадках один ($\varnothing 50$).

Приклад. Користуючись даними рис. 1.4.2, визначити значення допускних відхилень розмірів з номінальним значенням $\varnothing 50$, для яких основні відхилення дорівнюють 0; +0,180; -0,080 мм, а квалітет точності — 7.

Розв'язання. Основне нульове відхилення для номінального розміру 50 можуть мати отвори з основними відхиленнями H і K та

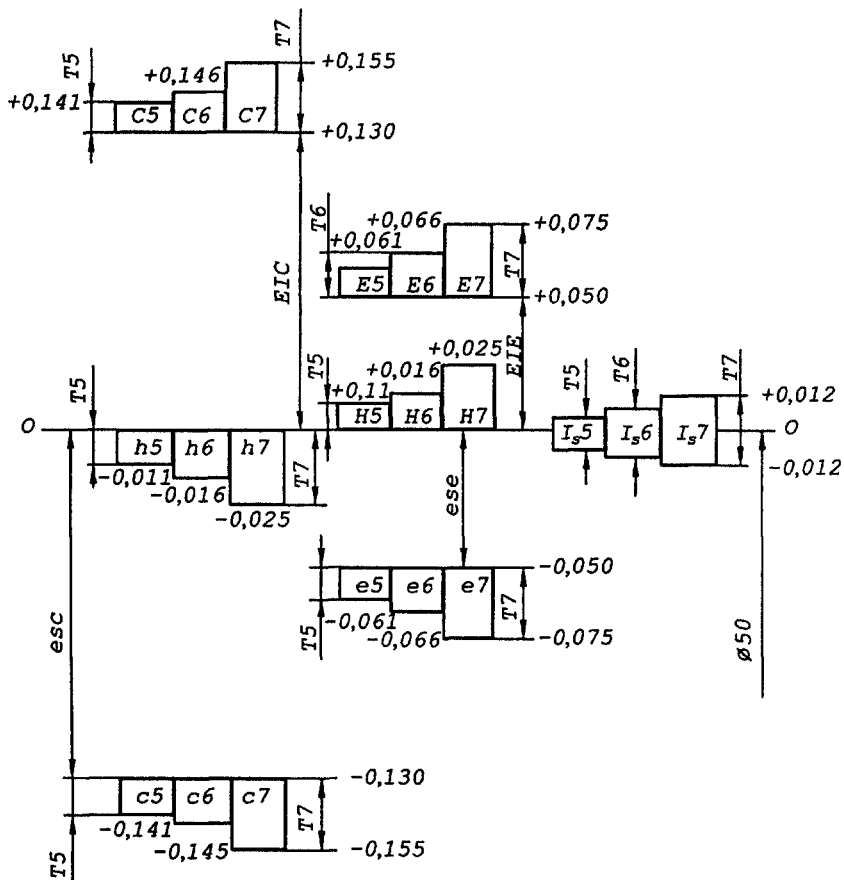


Рис. 1.4.2.

вали з основними відхиленнями h і k . Беручи до уваги, що допуск розміру 50 для 7 квалітету точності дорівнює 0,025 мм, поля допусків для відхилень H і k розміщені над нульовою лінією, а поля допусків h і K — нижче від нульової лінії, маємо другі допускні відхилення для H і k — $+0,025$ мм, а для h і K відповідно $-0,025$ мм. Для номінального розміру $\text{Ø}50$ значення основного відхилення $+0,180$ мають отвори тільки з основним відхиленням B , друге відхилення для якого — $+0,180 + 0,025 = 0,205$ мм. Для цього ж номінального розміру значення основного відхилення $-0,080$ має тільки основне відхилення d , друге відхилення для якого становить $-0,080 - 0,025 = -0,105$ мм.

У машинобудуванні для робочих і відповідальних за якість виробів поверхонь, які контактують між собою, добирають з'єднання високої точності, для менше відповідальних — з'єднання середньої точності. З'єднання грубої точності використовують переважно для неробочих поверхонь, які не контактують між собою. Такі розміри іноді називають *вільними*. Згідно з вимогами стандартів усі поверхні виробів повинні мати розміри з означеними відхиленнями. Для розмірів поверхонь, які не поєднуються з іншими, добирають квалітети грубої точності та основні відхилення, що рекомендовані стандартами та забезпечують рухомість з'єднань і характеризуються низькою трудомісткістю виготовлення. Такими основними відхиленнями здебільшого служать H, h, J_s і j_s для 15, 16 та 17 квалітетів точності.

Уніфікація розмірів, основних відхилень і допусків дає змогу значно зменшити асортимент різальних інструментів, технологічного спорядження, контрольно-вимірювальних засобів тощо. З'єднання, що не підлягають стандартним системам, як винятки застосовують в деяких випадках. Наприклад, без них неможливо обійтися у шліцьових та інших з'єднаннях складних за формою деталей, що зумовлено необхідністю забезпечити більші, ніж стандартні значення, проміжки для компенсації неточності кутових розмірів.

Задані параметри з'єднань забезпечують переважно у системах отвору чи вала залежно від визначених чи розрахованих найбільших і найменших значень проміжків і натягів. Добираючи основні відхилення та квалітети точності, керуються рекомендаціями стандартів, що обмежують їх використання.

1.4.2. Позначення розмірів та їх відхилень на кресленнях

За стандартами розрізняють три способи позначення розмірів на кресленнях [8]. На кресленнях завжди ставлять значення номінального розміру. *Перший спосіб* полягає у написанні справа від номінального розміру числових значень обох граничних відхилень. Наприклад, $\varnothing 50^{+0,169}_{+0,130}$; $\varnothing 50^{-0,080}_{-0,119}$; $\varnothing 50 \pm 0,031$; $\varnothing 50^{+0,002}_{-0,023}$. Цей спосіб застосовують переважно у робочих кресленнях виробів, призначених для одиничного та малосерійного виробництва. При цьому для визначення розмірів оброблюваних поверхонь використовують здебільшого універсальні вимірювальні засоби (лінійки, штангенінструменти, мікрометри тощо).

Другий спосіб позначення розмірів окремих елементів виробів полягає у написанні справа від номінального розміру літерного позначення основного відхилення та квалітету точності. Наприклад, $\varnothing 50C8$; $\varnothing 50H7$; $\varnothing 50J_6$; $\varnothing 50P6$; $\varnothing 50S5$; $\varnothing 50h8$; $\varnothing 50g7$; $\varnothing 50h16$;

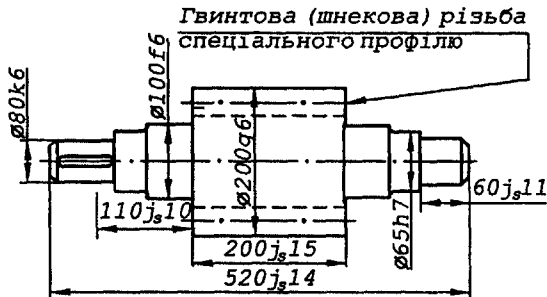


Рис.1.4.3.

$\varnothing 50J_s 15$; $\varnothing 50t6$ тощо. Такий спосіб позначень розмірів застосовують переважно у робочих кресленнях виробів, призначених для серійного та масового виробництва. Під час виготовлення розміри заготовок і виробів контролюють за допомогою калібрів чи автоматизованих контрольно-вимірювальних пристроїв, практично визначаючи тільки, чи перебуває контрольований розмір у заданих межах. Кількісні вимірювання можуть виконувати тільки під час налагодження контрольних пристроїв на задані розміри, тому числові значення відхилень розмірів у цьому разі практично непотрібні.

Третій спосіб (змішаний) позначення розмірів деяких елементів виробів полягає у застосуванні першого та другого способів водночас. При цьому справа від номінального розміру пишуть, як у другому способі, літерне позначення основного відхилення разом з квалітетом точності, а поруч, у круглих дужках, вказують цифрові значення обох відхилень розмірів, як у першому способі. Цей спосіб найчастіше застосовують у кресленнях, призначених для налагодження контрольно-вимірювальних, сортувальних автоматів і напівавтоматів у масовому виробництві, інколи у малосерійному виробництві, де для контролю деяких процесів оброблення заготовок використовують калібри та універсальні вимірювальні засоби. Робоче креслення ротора гвинтового компресора, призначене для серійного виробництва, зображене на рис. 1.4.3.

1.4.3. Розрахунок і добір основних відхилень і допусків розмірів рухомих з'єднань

Рухомі з'єднання робочих поверхонь широко використовують у підшипниках ковзання та кочення, поверхні тертя яких для збільшення експлуатації (зменшення спрацювання) змащують мастилом. У всіх підшипниках обертається може маточина (втул-

ка, цапфа, колесо, шків) або вісь (вал, вкладень). Під час обертання маточини відносно осі мастило захоплюється обертовими поверхнями та розміщується у проміжку між ними. У разі відсутності проміжку мастило не входить між поверхні. Тоді маємо сухе тертя, що зумовлює швидке спрацювання обох поверхонь. Спрацювання робочих поверхонь може відбуватись нерівномірно та неоднаково для обох деталей (залежно від їх матеріалу, твердості, шорсткості), що зумовлює поступову втрату підшипником здатності виконувати свої функції, вихід його з ладу.

Нормальною роботою підшипника вважають такий стан, коли мастило якомога рівномірніше розподіляється по всій поверхні контакту обох його частин. Залежно від того, яка частина підшипника обертається (маточина чи вісь), зусилля може передаватися у напрямку від осі до маточини, як у колесах залізничних вагонів, передніх (не тягових) колесах велосипедів, дитячого візочка, автомобіля або, навпаки, від маточини до осі, як у тягових колесах тепловозів, електровозів, автомобілів, велосипедів тощо.

У принципі роботи це нічого не змінює, тому розглянемо підшипник, у якого обертається маточина, а вісь закріплена до корпусу машини за допомогою пружного підчеплення і не обертається. У цьому разі взаємне розміщення поверхонь маточини та осі у стані спокою та за наявності між ними рідкого мастила буде подібним до зображеного на рис.1.4.4 (вісь зображена пунктирною лінією). Під дією сили тяжіння машини, що направлена від осі до маточини, мастило буде витіснене з нижньої частини з'єднання, вісь і маточина ввійдуть там у контакт, а весь проміжок буде у верхній частині робочих поверхонь. У процесі обертання маточини навколо осі за годинниковою стрілкою мастило буде поступово захоплюватись робочими поверхнями та розмащуватися по всій поверхні контакту. Залежно від швидкості обертання, в'язкості мастила, його зчеплення з робочими поверхнями у ньому буде створюватися гідродинамічний тиск, який протидіє силі притискання осі до маточини та зумовлює поступове вирівнювання товщини шару мастила між робочими поверхнями підшипника, віддаляючи вісь від маточини. За умови заданої швидкості обертання матриці відносно осі та незмінних значень всіх інших впливових факторів, настає рівновага сил гідродинамічного тиску у мастилi та дії осі на маточину.

Розміщення осі у маточині в стані зазначеної рівноваги сил визначають [24; 25] за допомогою значень абсолютного та відносного ексцентриситетів, що є змінними величинами. Товщина шару мастила у з'єднанні може змінюватись у межах від $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$ до $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$. Абсолютний геометричний ексцентриситет є величиною взаємного зміщення осей отвору маточини та осі і може змінюватись від нуля до найбільшого значення

$$e_{\max} = 1/2 S_{\max} = 1/2 (D_{\max} - d_{\min}), \quad (1.4.1)$$

де e_{\max} — найбільше значення абсолютного ексцентриситету, мм; S_{\max} — найбільше значення товщини шару мастила між поверхнями маточини та осі, мм; D_{\max} і d_{\min} — відповідно найбільше значення діаметра поверхні отвору у маточині та найменший діаметр осі, мм.

Відносним ексцентриситетом називають відношення

$$\chi = 2e / S, \quad (1.4.2)$$

де χ — відносний ексцентриситет; e - величина абсолютного ексцентриситету, мм.

Відносний ексцентриситет, як видно з (1.4.2), може мати значення від нуля для $e = 0$ до 1 для $e = 0,5 S$.

У стані рівноваги сил тиску осі на маточину та гідравлічного тиску у мастилі вісь займає відповідне положення відносно отвору маточини, у нижній частині між ними утворюється найменша товщина мастила h_{\min} , а у верхній частині відповідно найбільша h_{\max} . Як видно з рис. 1.4.4,

$$h_{\min} + h_{\max} = S. \quad (1.4.3)$$

Найменша товщина шару мастила пов'язана з відносним ексцентриситетом залежністю

$$h_{\min} = 0,5 S - e = 0,5 S (1 - \chi). \quad (1.4.4)$$

Для забезпечення рідинного тертя поверхонь найменша товщина шару мастила має бути такою, щоб між робочими поверхнями маточини та осі завжди був шар мастила, тобто

$$h_{\min} \geq R_{zm} + R_{zo} + \Delta_{\phi} + \Delta_p + \Delta_g + \Delta_H, \quad (1.4.5)$$

де h_{\min} — відповідно найменша товщина мастильного шару, мм; R_{zm} і R_{zo} — висота нерівностей (шорсткість) за параметром R_z поверхонь відповідно маточини та осі, мм; Δ_{ϕ} і Δ_p — поправки, що враховують неточність форми та взаємного розміщення маточини та осі, мм; Δ_g — поправка, що враховує вплив деформувань робочих поверхонь, мм; Δ_H — поправка, що враховує відхилення навантаження, швидкості обертання, температури від заданих умов, мм.

Методи визначення складових формули (1.4.5) подані у спеціальній літературі [24, 25]. Для полегшення розрахунків шару мастила замість (1.4.5) приймають спрощену формулу

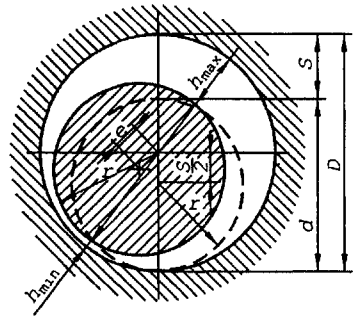


Рис. 1.4.4.

$$h_{\min} \geq k_m (R_{zm} + R_{zo} + \Delta_g), \quad (1.4.6)$$

де k_m — коефіцієнт запасу товщини шару мастила, звичайно беруть $k_m \geq 2$. Окрім цього, згідно з гідродинамічною теорією змащування, мастильний шар підшипника має забезпечувати несучу спроможність з'єднання

$$R \approx \frac{\mu \omega l d C_R}{\psi^2 \cdot 10^6}, \quad (1.4.7)$$

де R — радіальна сила, Н; μ — динамічна в'язкість мастила, Па·с; $\omega = 2\pi n/60$ — кутова швидкість відносного обертання маточини та осі, рад/с; n — кількість обертів за хвилину; l — довжина підшипника, мм; $d = D$ — номінальний діаметр осі та маточини, мм; $\psi = S/d$ — відносний проміжок; C_R — коефіцієнт навантаження підшипника, який визначають [24] залежно від коефіцієнта χ та відношення l/d , як

$$C_R = \frac{k}{1-\chi} - m, \quad (1.4.8)$$

де k і m — сталі коефіцієнти, що залежать від відношення l/d (табл. 1.4.1.). Радіальна сила зростає зі збільшенням в'язкості мастила, частоти обертання, розмірів підшипника та зі зменшенням відношення S/d . Залезить вона також від похибок форми та взаємного розміщення деталей підшипника, які зростають разом зі збільшенням його розмірів. Тому для більших за розмірами підшипників беруть відповідно більші значення коефіцієнта k_m у формулі (1.4.6).

Для визначення оптимальних значень товщини шару мастила використовують залежність, яку експериментально вивів Гюмбель [25]. Вона наближено зображена на рис. 1.4.5. Як бачимо, крива цієї залежності має максимум, який приймають за оптимальне значення товщини найменшого шару мастила. Найменше та найбільше функційні значення товщини шару мастила перебувають відповідно зліва та справа від оптимального. Якщо у новому підшипнику встановлено найменше функційне значення товщини шару мастила, то під час роботи поверхні спрацьовуються, а товщина шару мастила відповідно зростає до оптимального значення. Подальше спрацьовування поверхонь зумовлює збільшення шару та відповідне погіршення умов роботи. Тоді експлуатацію підшипника доцільно припини-

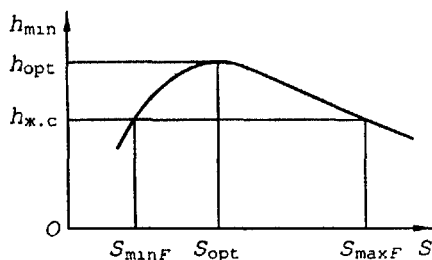


Рис. 1.4.5.

Таблиця 1.4.1

Значення безрозмірного коефіцієнта C_R навантаження підшипника

l/d	C_R для χ						
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75
0,4	0,0893	0,141	0,216	0,339	0,431	0,573	0,776
0,5	0,13	0,21	0,32	0,49	0,62	0,82	1,10
0,6	0,18	0,28	0,43	0,66	0,82	1,07	1,42
0,7	0,23	0,36	0,54	0,82	1,01	1,31	1,72
0,8	0,29	0,44	0,65	0,97	1,20	1,54	1,95
0,9	0,34	0,52	0,75	1,12	1,37	1,74	2,26
1,0	0,39	0,59	0,85	1,25	1,53	1,93	2,47
1,1	0,44	0,66	0,95	1,38	1,67	2,10	2,26
1,2	0,49	0,72	1,03	1,49	1,80	2,25	2,84
1,3	0,53	0,78	1,11	1,59	1,91	2,38	2,99
1,5	0,61	0,89	1,25	1,76	2,10	2,60	3,24

l/d	C_R для χ						
	0,8	0,85	0,9	0,925	0,95	0,975	0,99
0,4	1,079	1,775	3,195	5,035	8,393	21,00	65,26
0,5	1,57	2,43	4,26	6,62	10,7	25,62	75,86
0,6	2,00	3,04	5,21	7,96	12,6	29,17	83,21
0,7	2,40	3,58	6,03	9,07	14,1	31,88	88,90
0,8	2,75	4,05	6,72	9,99	15,4	33,99	92,89
0,9	3,07	4,46	7,29	10,8	16,4	35,66	96,35
1,0	3,37	4,81	7,77	11,4	17,2	37,00	98,95
1,1	3,58	5,11	8,19	11,9	19,7	38,12	101,15
1,2	3,79	5,36	8,53	12,4	18,4	39,04	102,90
1,3	3,97	5,59	8,83	12,7	18,9	39,81	104,42
1,5	4,27	5,95	9,30	13,34	19,7	41,07	106,84

ти. Для отримання формул з визначення функційних граничних значень товщини шару мастила спочатку обидві частини рівняння (1.4.7) ділять на $l \cdot d$ та, отримавши

$$\frac{R}{ld} \approx \frac{\mu \omega C_R}{\psi^2 \cdot 10^6}, \quad (1.4.9)$$

визначають коефіцієнт

$$C_R = \frac{R \psi^2 10^6}{ld \omega \mu}. \quad (1.4.10)$$

Беручи до уваги можливе витікання рідкого мастила на торцевих поверхнях матриці та осі, інколи користуються [24; 25] наближеною залежністю

$C_R = \frac{m}{1-\chi} - m$ замість (1.4.8), а коефіцієнт m знаходять залежно

від відношення l/d :

l/d	0,8	0,9	1	1,2	1,5
m	0,66	0,75	0,85	1	1,1

Ліва частина рівняння (1.4.9) є середнім тиском на одиницю площі проекції робочої поверхні підшипника на площину, яка проходить через вісь її симетрії, тобто

$$p = \frac{R}{l \cdot d}, \quad (1.4.11)$$

де p — середній тиск, Па.

З рівнянь (1.4.9) і (1.4.11) отримують формули

$$p = \frac{\mu\omega C_R}{\psi^2 \cdot 10^6}; \quad (1.4.12)$$

$$C_R = \frac{p\psi^2 10^6}{\omega\mu}. \quad (1.4.13)$$

На підставі формул (1.4.13) і (1.4.8) записують рівність

$$\frac{k}{1-\chi} - m = \frac{p\psi^2 10^6}{\omega\mu}. \quad (1.4.14)$$

Підставивши у рівняння (1.4.8) $\psi = S/d$ і $1 - \chi = 2k_{\min} / S$, визначені з (1.4.4), отримують

$$\frac{kS}{2h_{\min}} - M = \frac{pS^2 10^6}{\mu\omega d^2}. \quad (1.4.15)$$

Розв'язуючи квадратне рівняння (1.4.15) відносно S , знаходять його найменше та найбільше значення

$$S_{\min F} = \frac{k\mu_1\omega d^2 - \sqrt{(k\mu_1\omega d^2)^2 - 16ph_{\min}^2 \cdot 10^6 \cdot M\mu_1\omega d^2}}{4ph_{\min} \cdot 10^6}, \quad (1.4.16)$$

$$S_{\max F} = \frac{k\mu_2\omega d^2 - \sqrt{(k\mu_2\omega d^2)^2 - 16ph_{\min}^2 \cdot 10^6 \cdot M\mu_2\omega d^2}}{4ph_{\min} \cdot 10^6}, \quad (1.4.17)$$

де μ_1 і μ_2 — значення динамічної в'язкості мастила при температурі, що має мастило під час роботи підшипника, коли значення товщини шару мастила перебувають у межах $S_{\min F} \dots S_{\max F}$. Для

визначення значень цих температур виконують тепловий розрахунок [24].

Оскільки цей метод розрахунку посадок рухомих з'єднань складний та трудомісткий, запропоновано [24] інший спрощений метод їх розрахунку, який полягає у визначенні оптимального значення товщини шару мастила S_{opt} за формулою

$$S_{opt} = \psi_{opt} d, \quad (1.4.18)$$

де S_{opt} — оптимальна товщина шару мастила, що забезпечує найкращі умови роботи підшипника, мм; ψ_{opt} — безрозмірна величина, яку рекомендують визначати за емпіричною формулою

$$\psi_{opt} = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{V}, \quad (1.4.19)$$

де V — колова лінійна швидкість поверхні отвору маточини відносно поверхні осі, м/с

$$V = \frac{\pi dn}{60000}. \quad (1.4.20)$$

Визначивши колову лінійну швидкість V за формулою (1.4.20) та значення ψ_{opt} за (1.4.19), за формулою (1.4.18) визначають оптимальну товщину шару мастила S_{opt} , а за формулою (1.4.11) — коефіцієнт C_R . За відношенням l/d і C_R знаходять значення відносного ексцентриситету χ , за формулою (1.4.4) — найменшу товщину шару мастила h_{min} .

Відповідно прийнявши коефіцієнт запасу товщини шару мастила k_m , за формулою (1.4.6) визначають найменшу товщину шару мастила h_m .

За формулою (1.4.6) визначають отриманий коефіцієнт запасу товщини шару мастила

$$k_m = \frac{h_{min}}{R_{zm} + R_{zo} + \Delta_g}, \text{ що має бути більшим за 2.}$$

Рухомі з'єднання розраховують за такими рекомендаціями: оскільки оброблення зовнішніх поверхонь простіше та дешевше за оброблення внутрішніх поверхонь, точність розмірів отворів переважно приймають меншою на один-два квалітети від точності розмірів валів;

для відповідальних з'єднань, що вимагають точного центрування деталей, добирають рухомі з'єднання з мінімальними гарантованими проміжками (5–7 квалітети точності розмірів та основні відхилення H, h, G, g, F, f, E, e);

такі ж основні відхилення з 8 і 9 квалітетами точності розмірів призначають для з'єднань з невисокими вимогами до точності центрування деталей;

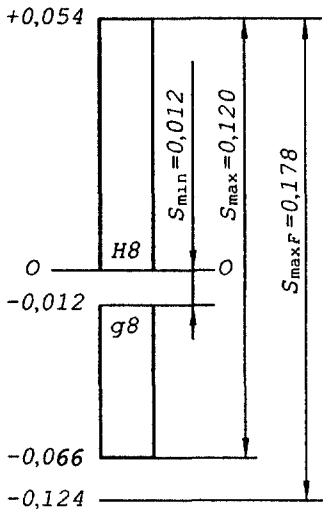


Рис. 1.4.6.

припасування з нульовим найменшим значенням проміжку допускають тільки для нерухомих з'єднань;

нульові значення проміжків між робочими поверхнями допускають тільки для нерухомих з'єднань;

поля допусків для 10–12 квалітетів точності використовують тільки для з'єднань з низькими вимогами до їх точності.

Розглянемо порядок добору полів допусків для рухомих з'єднань за заданими значеннями найменших і найбільших проміжків. Оскільки проміжок під час роботи з'єднання збільшується, що зумовлено спрацюванням робочих поверхонь, для нових чи відновлених з'єднань добирають такі поля допусків, які забезпечують значення проміжків, що близькі до найменшого за розрахунком. Це збільшує довговічність їх роботи. Порівняно

невисокої вартості з'єднань досягають, приймаючи переважно 8, 7 і 6 квалітети точності розмірів. П'ятий квалітет точності розмірів застосовують тільки в обґрунтованих випадках для відповідальних з'єднань. Для отримання з'єднань з дуже малими значеннями проміжків чи натягів використовують селективне складання, яке розглянемо у главі 1.8.

Приклад. Для заданого рухомого циліндричного з'єднання з $D = d = \varnothing 100$ мм, $S_{\max} = 0,178$ мм і $S_{\min} = 0,010$ мм дібрати поля допусків розмірів отвору та вала.

Розв'язання. Приймавши, як дешевшу систему отвору, тобто основне відхилення H та 8 квалітет точності для розміру отвору, відповідно до стандарту знаходимо верхнє відхилення розміру і отримуємо розмір отвору $\varnothing 100 H8 = \varnothing 100^{+0,054}$ мм (рис.1.4.6). Для забезпечення $S_{\min} = 0,010$ мм верхнім відхиленням вала може бути тільки g , а для забезпечення значення $S_{\max} = 0,178$ мм згідно з (1.3.10) нижнє відхилення розміру вала має бути більшим від $eid = ESD - S_{\max F} = 0,054 - 0,178 = -0,124$ мм. Тоді допуск вала не має перевищувати $Td = S_{\max F} - TD - S_{\min} = 0,178 - 0,054 - 0,012 = 0,112$ мм. Згідно зі стандартом з урахуванням наведених вище рекомендацій знаходимо для розміру вала $\varnothing 100$ значення допуску 0,054 мм. Тоді розмір вала можна записати як $\varnothing 100 g8 = \varnothing 100_{-0,066}^{0,012}$ мм.

Визначимо значення S_{\max} і S_{\min} для дібраного з'єднання:

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (100 + 0,054) - (100 - 0,065) = 100,054 - 99,935 = 0,119 \text{ мм} < 0,178 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (100 + 0) - (100 - 0,012) = 100 - 99,988 = 0,012 \text{ мм} > 0,010 \text{ мм}, \text{ що задовольняє задану умову.}$$

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати та дібрати стандартні поля допусків для рухомих з'єднань згідно з даними табл. 1.4.2 і 1.4.3. Марку матеріалів маточини та осі дібрати самостійно.

Приклад. За табл. 1.4.2 і 1.4.3 задано: $d = 100 \text{ мм}$; $l = 120 \text{ мм}$; $n = 500 \text{ хв}^{-1}$; $R = 30 \text{ кН}$, вкладень підшипника з цинкового стопу ЦАМ 10-5, з $R_{zm} = 2,5 \text{ мкм}$; вал сталевий з $R_{zo} = 1,6 \text{ мкм}$; мастило індустриальне Й-20А з динамічною в'язкістю $\mu = 0,017 \text{ Па}\cdot\text{с}$ при температурі 50°C .

Розв'язання. Визначивши колову лінійну швидкість обертання поверхні отвору маточини

$$V = \frac{\pi d n}{60} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 500}{60} \approx 2617 \text{ мм/с} \approx 2,617 \text{ м/с}$$

та кутову швидкість обертання

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 500}{60} \approx 52,33 \text{ рад/с},$$

за формулою (1.4.16) знайдемо коефіцієнт

$$\psi = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{V} = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{2,617} \approx 0,00102.$$

Тоді за рівнянням (1.4.18) визначимо

$$S_{\text{opt}} = \psi \cdot d = 0,00102 \cdot 100 = 0,102 \text{ мм}.$$

За формулою (1.4.10) знайдемо коефіцієнт

$$C_R = \frac{R \psi^2 10^6}{1 d \omega \mu} = \frac{30000 \cdot 0,00102^2}{120 \cdot 100 \cdot 52,33 \cdot 0,017} \approx 2,924,$$

а за табл. 1.4.1 для відношення $l/d = \frac{120}{100} = 1,2$ і $C_R = 2,924$ отримуємо $\chi = 0,76$.

Тоді за (1.4.4)

$$h_{\min} = 0,5 \cdot S_{\text{opt}}(1 - \chi) = 0,5 \cdot 0,102 \cdot (1 - 0,76) = 0,01224 \text{ мм.}$$

Прийнявши $k_m = 2$ і $\Delta_g = 2$ мкм, за формулою (1.4.6) отримаємо найменшу товщину шару мастила

$$h_{\min} = k_m(R_{zm} + R_{zo} + \Delta_g) = 2(2,5 + 1,6 + 2) = 12,4 \text{ мкм} = 0,0124 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт запасу за товщиною шару мастила

$$k_m = \frac{h_{\min}}{R_{zm} + R_{zo} + \Delta_g} = \frac{12,4}{2,5 + 1,6 + 2} \approx 2,0066 > 2,$$

тобто запас достатній.

Таблиця 1.4.2

Вихідні дані за передостанньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	30	40	50	60	70	25	35	55	65	80
l , мм	45	60	75	90	100	40	50	70	95	110
Олива	И-40	И-40	И-40	Т-22	И-40	И-40	И-40	И-40	Т22	И-40
індустріальна, марки	И-30А	И-40	И-20А	Т-22	И-40	И-30А	И-40	И-20А	Т-22	И-40

Таблиця 1.4.3

Вихідні дані за останньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R , кН	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5	6,5	7,0	7,5	8,0
n , хв ⁻¹	800	900	1000	1100	1200	1400	1500	1600	1700	1800
R_{z0} , мкм	1,25	2,50	3,20	6,3	12,5	25,0	16,0	8,0	5,0	10,0
R_{zo} , мкм	2,5	3,2	6,3	12,5	25,0	32,0	25,0	12,5	8,0	12,5
t , °С	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75

Для величин $h_{\min} = 0,01224$ мм і $S_{\text{opt}} = 0,102$ мм добираємо з'єднання у системі отвору за умови, що $S_{\min} \geq h_{\min}$ і $S_{\max} = 2(S_{\text{opt}} - S_{\min})$.

Приймаємо з деяким наближенням $S_{\min} = 0,012$, $S_{\max} = 2(0,102 - 0,013) = 0,178$. Задавшись полем допуску отвору $H8$, добираємо поле допуску вала, що перебуває у межах між лініями $S_{\min} = 0,010$ мм і $S_{\max} = 0,178$ мм. Таким полем допуску може бути $g8$, а умовне позначення розміру з'єднання становитиме $\varnothing 100 H8/g8$ (рис. 1.4.6).

1.4.4. Розрахунок і добір основних відхилень і допусків розмірів для нерухомих з'єднань

Нерухомі з'єднання призначені для передавання навантажень (осьових сил та їх моментів) між з'єднаними деталями в обох напрямках. Відносна нерухомість деталей забезпечується силами тертя (чи зчеплення) між їх поверхнями. Нерухомість з'єднань створюють різницею діаметрів вала та зовнішньої деталі, а з'єднують деталі силовим запресуванням, яке виконують іноді шляхом підігрівання зовнішньої чи охолодженням внутрішньої деталі (вала, осі).

Нерухомі з'єднання з натягом розраховують, виходячи з необхідності задоволення двох умов — міцності деталей (на розтяг для зовнішньої деталі та стиск — внутрішньої) та міцності їх зчеплення, з умови передавання заданого навантаження від однієї до другої деталей. Методика розрахунку розроблена [24, 25] для з'єднання порожнистого вала та циліндричної втулки, зображених на рис. 1.4.7. Натяг N перед запресуванням деталей визначають як різницю діаметрів вала та отвору у втулці. Під час запресування відповідно до міцності обох деталей вони обидві деформуються — отвір у втулці збільшується на N_D , а вал зменшується на значення N_d за умови, що

$$N = N_D + N_d \quad (1.4.21)$$

У нерухомих з'єднаннях можуть відбуватися пружні, пластичні та змішані деформації обох з'єднаних деталей. Залежно від виду деформації застосовують різні методи розрахунків. На питання, який питомий тиск на поверхнях з'єднаних деталей зумовлює їх пластичні деформації (текучість), немає однозначної відповіді. Аналізуючи найпоширеніші теорії (найбільших нормальних і дотичних напружень і потенційних енергій) та порівнюючи отримані за їх допомогою результати для з'єднань з різними товщинами стінок, роблять висновок, що вони дають різні результати тільки для товстостінних деталей, які переважно і застосовують у машинобудуванні. Перевагу здебільшого віддають теорії Ляме.

Для визначення напружень і деформацій у товстостінних порожнистих циліндрах [24] беруть відомі залежності $\frac{N_D}{D} = p \frac{C_1}{E_1}$ і $\frac{N_d}{D} = p \frac{C_2}{E_2}$.

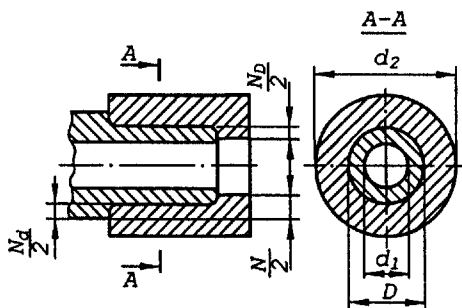


Рис. 1.4.7.

Підставивши звідси значення N_d і N_d у (1.4.21), отримують

$$N = pD \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \quad (1.4.22)$$

де N — розраховане заздалегідь чи задане значення натягу, мм; p — питомий тиск на поверхні контакту вала та втулки, зумовлений натягом, МПа; D — номінальний діаметр спряжених поверхонь, мм; E_1 і E_2 — модулі пружності матеріалів втулки та вала, МПа; C_1 і C_2 — коефіцієнти Ляме, які визначають за геометричними розмірами вала та втулки як

$$C_1 = \frac{d_2^2 + D^2}{d_2^2 - D^2} + \mu_1; \quad (1.4.23)$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d_1^2}{D^2 - d_1^2} - \mu_2, \quad (1.4.24)$$

де D , d_1 і d_2 — відповідно номінальний діаметр з'єднуваних поверхонь втулки та вала й діаметри поверхні внутрішнього отвору вала та зовнішньої поверхні втулки, мм; μ_1 і μ_2 — коефіцієнти Пуассона (для сталей $\mu \approx 0,28-0,3$; для чавунів $\mu \approx 0,25-0,27$, для бронзи $\mu \approx 0,33-0,35$ тощо).

Щоб забезпечити міцність з'єднання, створюють необхідний питомий тиск між поверхнями з'єднуваних деталей, який визначають з умови передавання заданих навантажень від вала до втулки чи навпаки, що можуть бути осьовою силою, крутильним моментом сил або їх сумою. У разі наявності тільки осьової сили потрібний питомий тиск між поверхнями вала та втулки

$$p_p \geq \frac{P}{\pi D l f_1}, \quad (1.4.25)$$

де p_p — питомий тиск між поверхнями вала та втулки за умови наявності тільки осьової сили, МПа; P — осьова сила, що передається від вала до втулки, Н; l — довжина спільної поверхні контакту між валом та втулкою, мм; f_1 — коефіцієнт тертя (зчеплення) між поверхнями вала та втулки за умови їх повздовжнього переміщення.

У разі наявності тільки крутильного моменту сил між валом і втулкою потрібний тиск

$$p_m \geq \frac{2M_{кр}}{\pi D l f_2}, \quad (1.4.26)$$

де p_m — питомий тиск між поверхнями вала та втулки за умови наявності крутильного моменту сил, МПа; $M_{кр}$ — крутильний момент сил, що передаються від вала до втулки, $H \cdot \text{мм}$; f_2 — коефіцієнт тертя (зчеплення) між поверхнями вала та втулки за умови їх відносного обертання.

За одночасної дії осьової сили та крутильного моменту потрібний питомий тиск між поверхнями вала та втулки

$$p \geq \frac{1}{\pi D l f} \sqrt{\frac{4M_{кр}^2}{D^2} + P^2}, \quad (1.4.27)$$

де p — питомий тиск між поверхнями вала та втулки за умови наявності осьової сили та крутильного моменту, МПа; f — коефіцієнт тертя між поверхнями вала та втулки за умови одночасного осьового зсуву та обертання вала відносно втулки.

Коефіцієнт тертя у з'єднаннях з натягом залежить від матеріалів вала та втулки, шорсткості їх поверхонь, наявності між ними мастила, забруднень поверхонь, температури матеріалів тощо. За результатами експериментальних досліджень [24, 25] встановлено, що для сталі та чавуну без мастила $f = 0,12 \dots 0,15$; для змащених поверхонь $f = 0,05 \dots 0,08$; для запресування деталей у холодному стані приймають $f = 0,08$, а для запресування їх у нагрітому стані $f = 0,14$. На підставі формул (1.4.22), (1.4.25) і (1.4.26) найменший натяг

для осьового навантаження

$$N_{P_{\min}} = \frac{P}{\pi D l f_1} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right); \quad (1.4.28)$$

для крутильного

$$N_{M_{\min}} = \frac{2M_{кр}}{\pi D l f_2} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right); \quad (1.4.29)$$

для одночасного осьового та крутильного навантажень

$$N_{\min} = N_{P_{\min}} + N_{M_{\min}} = \frac{1}{\pi D l} \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \cdot \left(\frac{P}{f_1} + \frac{2M_{кр}}{f_2} \right). \quad (1.4.30)$$

Другою умовою працездатності з'єднань з натягом є їх здатність протистояти деформуванню обох деталей. За теорією найбільших дотичних напружень у матеріалах обох деталей умовою їх міцності є відсутність пластичних деформацій, тобто внутрішні напруження не мають перевищувати граничні величини для їх матеріалів. Найбільші допустимі напруження у втулці та валі визначають за границею текучості

$$P_{ДВТ} \leq 0,58 \cdot \sigma_{ТВТ} \left(1 - \frac{D^2}{d_2^2} \right) \text{ — для втулки} \quad (1.4.31)$$

$$P_{ДВ} \leq 0,58 \cdot \sigma_{ТВ} \left(1 - \frac{D_1^2}{D^2} \right) \text{ — для вала,} \quad (1.4.32)$$

де $P_{ДВТ}$ і $P_{ДВ}$ — допускні напруження для матеріалів відповідно втулки та вала, МПа; $\sigma_{ТВТ}$ і $\sigma_{ТВ}$ — границя текучості матеріалів відповідно втулки та вала, МПа. Найбільші натяги деталей, у яких виникають допускні напруження, знаходять за формулами:

$$N_{D_{\max}} \leq P_{ДВТ} D \frac{C_1}{E_1}; N_{d_{\max}} \leq P_{ДВ} D \frac{C_2}{E_2}. \quad (1.4.33)$$

Сумарний найбільший допускний натяг у з'єднанні

$$N_{\max} \leq D \left(P_{ДВТ} \frac{C_1}{E_1} + P_{ДВ} \frac{C_2}{E_2} \right). \quad (1.4.34)$$

Отримані вище формули для визначення граничних функціональних натягів не враховують усіх факторів, що впливають на якість нерухомого з'єднання. Серед них найістотніший вплив має висота мікронерівності поверхонь обох деталей за параметром R_z . Беручи до уваги, що ці нерівності під час запресування деталей частково зминаються, наближене значення поправок для визначення найменшого натягу, отриманого за (1.4.29), записують у вигляді

$$N_{п.т} = k (R_{z_{вт}} + R_{z_в}) 10^{-3}, \quad (1.4.35)$$

де $N_{п.т}$ — додатковий натяг у з'єднанні для компенсації мікронерівностей шорсткості поверхонь вала та втулки, мм; k — коефіцієнт, що враховує матеріал з'єднуваних деталей, способи отримання поверхонь, запресування деталей, їх температуру, наявність на поверхнях мастила тощо; приймають $k = 0,4 \dots 0,9$; більші значення беруть для м'яких матеріалів, з меншою шорсткістю поверхонь, наявністю мастил, з нагріванням (чи охолодженням) однієї з деталей; $R_{z_{вт}}$ і $R_{z_в}$ — висота нерівностей поверхонь відповідно втулки та вала за параметром R_z , мкм.

У спеціальній та довідковій літературі [24, 25] наведені також рекомендації, отримані за допомогою експериментальних досліджень, щодо визначення відповідних поправок до розрахунків натягу залежно від впливу різних факторів. Серед них відчутний вплив мають нерівності форми поверхонь, температури деталей під час запресування, відцентрові сили для з'єднань зі значною частотою обертання, геометричні форми біля торцевих поверхонь, вібрації та

удари у роботі з'єднань, втома матеріалів, релаксація напружень у них, дифузія у матеріалах, їх залежність від плину часу тощо. На жаль, обсяг посібника не дає змоги розглянути зазначені фактори.

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати та дібрати поля допусків деталей з'єднання з натягом для даних згідно з табл. 1.4.4 і 1.4.5. Марку матеріалів втулки та вала дібрати самостійно.

Приклад. За табл. 1.4.4 і 1.4.5 задано: $D=100$ мм; $d_1=80$ мм; $d_2=125$ мм; $l=120$ мм; $P=450$ кН; $M_{кр}=1800$ Н·м; матеріал вала та втулки — сталь марки 40, шорсткість поверхонь $R_{Z_{вт}}=6,3$ мкм, $R_{Z_b}=4$ мкм, $f_1=f_2=f=0,12$.

Розв'язання. За умовами завдання $E_1 = E_2 = E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа; $f_1 = f_2 = f = 0,12$; $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,3$, тому спочатку визначаємо геометричні коефіцієнти для обох деталей за (1.4.23) і (1.4.24)

$$C_1 = \frac{d_2^2 + D^2}{d_2^2 - D^2} + \mu = \frac{125^2 + 100^2}{125^2 - 100^2} + 0,3 = 4,856;$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d_1^2}{D^2 - d_1^2} - \mu = \frac{100^2 + 80^2}{100^2 - 80^2} - 0,3 = 4,256.$$

Таблиця 1.4.4

Вихідні дані за передостанньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , мм	40	50	60	70	80	90	100	120	150	160
l , мм	60	75	90	100	120	135	150	180	220	240
d_1 , мм	25	40	50	60	70	80	90	100	120	125
d_2 , мм	55	65	75	90	110	120	130	140	175	185

Таблиця 1.4.5

Вихідні дані за останньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P , кН	0	5	10	15	20	0	10	8	4	2
$M_{кр}$, Нм	200	150	100	50	150	250	120	180	80	60
R_{Z_b} , мкм	1,25	2,50	3,20	6,3	12,5	25,0	16,0	8,0	5,0	10,0
$R_{Z_{вт}}$, мкм	2,5	3,2	6,3	12,5	25,0	32,0	25,0	12,5	8,0	12,5

За формулами (1.4.30) визначаємо найменший натяг для з'єднання

$$N_{\min} = \frac{(C_1 + C_2)(P + 2M_{кр})}{\pi D l E f} = \frac{(4,856 + 4,256)(450000 + 2 \cdot 18000)}{3,14 \cdot 100 \cdot 120 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,12} = 0,00466378 \text{ мм.}$$

Поправку для натягу за шорсткістю поверхонь визначимо за (1.4.35), прийнявши $k \approx 0,5$,

$$N_{п.т} = k(R_{Z_{вт}} + R_{Z_B})10^{-3} = 0,5 \cdot (6,3 + 4) \cdot 10^{-3} = 0,0057 \text{ мм.}$$

Тоді сумарна величина мінімального натягу

$$N_{\min F} = N_{\min} + N_{п.т} = 0,0047 + 0,0057 = 0,0104 \text{ мм.}$$

Найбільший допускний натяг у з'єднанні визначаємо за (1.4.34), попередньо знайшовши для цього допускні величини напружень у матеріалах втулки та вала за (1.4.31) і (1.4.32), пам'ятаючи, що $\sigma_{т.вт} = \sigma_{т.в} = 315 \text{ МПа}$,

$$p_{Двт} \leq 0,58 \cdot \sigma_{т.вт} \left(1 - \frac{D^2}{d_2^2}\right) = 0,58 \cdot 315 \cdot \left(1 - \frac{100^2}{125^2}\right) = 65,672 ;$$

$$p_{Дв} \leq 0,58 \cdot \sigma_{т.вт} \left(1 - \frac{d_1^2}{D^2}\right) = 0,58 \cdot 315 \cdot \left(1 - \frac{80^2}{100^2}\right) = 65,672 ;$$

$$N_{\max} \leq D \left(p_{Двт} \frac{C_1}{E_1} + p_{Дв} \frac{C_2}{E_2} \right) =$$

$$= 100 \left(65,672 \cdot \frac{4,856}{2,1 \cdot 10^5} + 65,672 \cdot \frac{4,256}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,2849539 \text{ мм} \approx 0,285 \text{ мм}$$

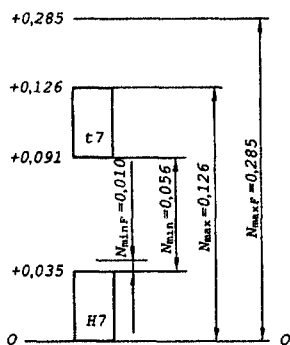


Рис 1.4.8.

Як видно зі схеми полів допусків (рис. 1.4.8), для проектованого з'єднання вал може мати відхилення від $+0,045$ до $+0,285$ мм. З деяким запасом міцності з'єднання як за значенням зчеплення деталей, так і за їх міцністю приймаємо середнє поле допуску $t7$, яке матиме нижнє та верхнє відхилення відповідно $+0,091$ і $+0,126$ мм. Тоді найменший і найбільший натяг під час виготовлення деталей за стандартом

$$N_{\minст} = 0,056 > N_{\min F} = 0,010,$$

$$\text{а } N_{\maxст} = 0,126 < N_{\max F} = 0,285.$$

1.4.5. Рекомендації з добору основних відхилень і допусків розмірів для змішаних з'єднань

У системі отвору (чи вала) змішані з'єднання переважно утворюють за допомогою основних відхилень j , k , m і n (чи J , K , M і N), а у виробках чи деталях, для яких стандартами рекомендовані інші основні відхилення та поля допусків, відповідно добирають такі основні відхилення, що забезпечують задані значення проміжків чи натягів.

Змішані з'єднання застосовують для деталей, що вимагають точного взаємного центрування та забезпечення можливості частой заміни окремих з них. Наприклад, змінні зубчасті колеса, шківни, муфти, фланці, підшипники кочення, напрямні втулки, вкладні з'єднують з осями, валами та корпусами з найменшими проміжками чи натягами, що дає змогу забезпечити їх надійне взаємне центрування та складання чи розкладання у разі ремонту чи заміни спрацьованих деталей новими за допомогою незначного зусилля. Для передавання значних зусиль чи моментів кручення між окремими частинами виробу у таких з'єднаннях додатково використовують шпонки, шліци, гвинтові затискачі тощо.

У точних з'єднаннях здебільшого застосовують розміри від 5 до 8 квалітетів точності. З технологічних міркувань для валів переважно призначають точність розмірів на один—два квалітети вище, ніж для отворів. Змішані з'єднання добирають залежно від виду навантажень деталей та їх міцності. Для навантажених з'єднань, що призначені працювати в умовах вібрацій, ударів та з'єднань, які вимагають точного центрування, добирають поля допусків обох деталей, що забезпечують переважні натяги. Добирають поля допусків здебільшого методом аналогів чи подібності, визначаючи тільки ймовірність отримання з'єднань зі заданими величинами проміжків чи натягів та граничні їх значення для дібраних полів допусків робочих поверхонь обох деталей з'єднання.

За значенням ймовірності отримання рухомих і нерухомих з'єднань визначають технологічність і трудомісткість операцій складання з'єднань. Дешевшими є з'єднання з більшими значеннями ймовірності отримання проміжків, а ліпше взаємне центрування деталей з'єднання забезпечують більші значення ймовірності отримання натягів.

Рекомендують такий порядок добирання та розрахунку полів допусків для розмірів поверхонь змішаних з'єднань:

для дібраних розмірів деталей з'єднання визначають допуски розмірів поверхонь з'єднуваних деталей, допускові величини натягу чи проміжку та їх середньоарифметичне значення;

приймавши нормальний чи інший закон розподілу випадкових величин та умову щодо суміщення центра розсіювання розмірів, натягів і проміжків з середніми їх величинами, визначають середнє квадратичне відхилення для заданого з'єднання

$$\sigma_{SN} = \frac{1}{6} \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_S^2}, \quad (1.4.36)$$

де σ_{SN} — середнє квадратичне відхилення з'єднання, мм; $\sigma_N = \frac{1}{6} N_{\max}$;

$$\sigma_S = \frac{1}{6} S_{\max};$$

визначають межу інтегрування (для $N_{\text{сеп}} = S_{\text{сеп}} = 0$ за допомогою

$$Z_N = \frac{N_{\text{сеп}}}{\sigma_{SN}} \text{ чи } Z_S = \frac{S_{\text{сеп}}}{\sigma_{SN}}; \quad (1.4.37)$$

за отриманим значенням $Z_N (Z_S)$ визначають функцію Лапласа $\Phi (Z)$;

обчислюють ймовірність отримання нерухомих з'єднань

$$P'_N = 0,5 + \Phi_Z \text{ для } Z > 0, \quad (1.4.38)$$

$$P'_N = 0,5 - \Phi_Z \text{ для } Z < 0 \quad (1.4.39)$$

та відсоток нерухомих з'єднань

$$P_N = P'_N \cdot 100\%. \quad (1.4.40)$$

Тоді ймовірність отримання рухомих з'єднань така

$$P_S = 1 - P_N, \quad (1.4.41)$$

а їх відсоток

$$P_S = P_S \cdot 100\%. \quad (1.4.42)$$

Завдання для самостійної роботи

Розрахувати ймовірність отримання рухомих і нерухомих з'єднань для заданих діаметрів і полів допусків поверхонь з'єднуваних деталей згідно з вихідними даними, наведеними у табл. 1.4.6 і 1.4.7.

Приклад. За табл. 1.4.6 і 1.4.7 задано: з'єднання $\varnothing 50 H7/m6$. Схема полів допусків зображена на рис. 1.4.9.

Таблиця 1.4.6

Вихідні дані за передостанньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Діаметр з'єднання, мм	20	30	40	50	60	70	80	100	120	150

Таблиця 1.4.7

Вихідні дані за останньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Поле допуску отвору	H5	H6	H7	H8	K8	M7	N6	J _s 5	H6	H7
Поле допуску вала	k5	m6	n7	j _s 8	h7	h6	h5	h6	n5	m6

Розв'язання. Найбільший натяг у з'єднанні

$$N_{\max} = esd - EID = 0,033 - 0 = 0,033 \text{ мм}.$$

Найбільший проміжок у з'єднанні

$$S_{\max} = ESD - eid = 0,025 - 0,017 = 0,008 \text{ мм}.$$

Середній натяг

$$N_{\text{сеп}} = d_{\text{сеп}} - D_{\text{сеп}} = emd - emD = 0,025 - 0,0125 = 0,0125 \text{ мм}.$$

Середнє квадратичне відхилення для натягів

$$\sigma_N = \frac{1}{6} N_{\max} = \frac{1}{6} \cdot 33 = 5,5$$

і для проміжків —

$$\sigma_S = \frac{1}{6} S_{\max} = \frac{1}{6} \cdot 8 = 1,33.$$

Тоді

$$\begin{aligned} \sigma_{SN} &= \frac{1}{6} \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_S^2} = \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{5,5^2 + 1,33^2} = 5,658. \end{aligned}$$

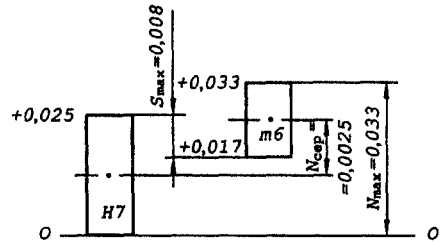


Рис. 1.4.9.

Границя інтегрування

$$Z_N = \frac{N_{\text{ср}}}{\sigma_{SN}} = \frac{2,5}{5,658} = 2,21.$$

Визначивши величину $\Phi_{(Z)}$ для $Z_N = 2,21$, отримаємо ймовірність натягів

$$P'_N = 0,5 + \Phi_{(Z)} = 0,5 + 0,4914 = 0,9914,$$

відносну кількість нерухомих з'єднань

$$P_N = P'_N \cdot 100 = 0,9914 \cdot 100 = 99,14 \%$$

та відносну кількість рухомих з'єднань

$$P_S = P'_S \cdot 100 = (1 - P'_N) \cdot 100 = 100 \% - 99,14 \% = 0,86 \%.$$

1.4.6. Добір основних відхилень і допусків розмірів поверхонь для з'єднань з підшипниками кочення

Підшипники кочення (ГОСТ 3478–79) широко застосовують для рухомих з'єднань, особливо у швидкісних механізмах зі значними відносними швидкостями обертання маточин відносно осей та у механізмах зі значними навантаженнями та високими вимогами до точності їх центрування. Прикладами їх широкого використання можуть бути як ненавантажені кінематичні механізми вимірювальних засобів, так і навантажені транспортні засоби.

Через високу точність (малі допуски) їх виготовляють методом селективного добору. Тому вони мають зовнішню та не мають внутрішньої взаємозамінності (складових частин). Їх зовнішню геометричну взаємозамінність забезпечують такими параметрами: зовнішній та внутрішній діаметри, ширина та висота підшипників. Виготовляють їх багатьох типорозмірів і відповідних класів точності. З метою уніфікації та зручності застосування всі типорозміри підшипників стандартизовані та пронумеровані. Номер підшипника визначає його тип (конструкцію), всі монтажні та габаритні розміри (включно з радіусами заокруглень, фасками тощо). Окрім розмірів для кожного типорозміру підшипників у стандартах наведені їх допускні навантаження.

За точністю монтажних розмірів кулькові, роликові, радіальні та радіально-упорні підшипники поділяють на класи точності (ГОСТ 520–89), яким присвоєно номери у порядку зростання точності 0; 6; 5; 4; 2 і Т. Для роликових конічних підшипників кочення встановлені класи точності 0; 6X; 6; 5; 4 і 2. Клас точності, який характеризує їх якість і вартість, добирають залежно від функційного їх призначення. Для прецезійних, вимірювальних,

високошвидкісних механізмів добирають 5, 4, 2 і Т класи точності, а для силових, тихохідних механізмів — 0 та 6 класи точності. Наприклад, для металообробних верстатів (особливо шпинделів), двигунів внутрішнього згорання, електродвигунів, стартерів, генераторів застосовують підшипники 2 та Т класів точності.

Для використання у механізмах з низькою точністю стандартом додатково встановлено 8 і 7 класи точності, які за точністю розмірів нижчі, ніж для нульового класу. Окрім цього, залежно від наявності додаткових вимог щодо рівня вібрацій, точності розмірів і допускних відхилень форми, шорсткості робочих поверхонь, встановлено ще три категорії А, В і С. До категорії А належать підшипники класів точності 5, 4, 2 і Т; до категорії В — підшипники класів точності 0, 6Х, 6 і 5, а до категорії С — підшипники класів точності 8, 7, 0 і 6 (до них не висувають жодних додаткових вимог). Шорсткість поверхонь підшипників, залежно від їх точності, має перебувати у межах 0,063 ... 1,25 мкм за параметром Ra.

Умовне позначення підшипників містить умовний номер їх типорозміру та клас точності, записані через риску. Наприклад, підшипник 308-4 — це радіальний підшипник, однорядний середньої серії, з монтажними розмірами 78×40×21, четвертого класу точності.

Під час роботи підшипників завжди якесь з його кілець обертається, а інше залишається нерухомим, тому, добираючи припасування, для них враховують, яке з кілець обертається. Відхилення розмірів підшипників, встановлені стандартами, залежать тільки від їх класу точності та розмірів діаметрів. На рис. 1.4.10 зображені поля допусків обох діаметрів $D = 55$ мм і $d = 120$ мм радіального підшипника тільки для п'яти класів точності. Як видно з рис. 1.4.10, верхні відхилення для зазначених розмірів поверхонь дорівнюють нулю (за винятком класу 6, для якого встановлене відхилення близьке до нульового). Тому добір основних відхилень для з'єднань з підшипниками кочення має свої особливості. Добираючи основні відхилення та квалітети точності розмірів поверхонь вала та отвору у корпусі, дотримуються певних рекомендацій.

1. Найліпшими полями допусків розмірів деталей, що контактують з підшипниками кочення, вважають ті, які забезпечують найменші натяги та проміжки. Добираючи потрібні поля допусків, рекомендують для одного з кілець підшипника, що обертається, під час його роботи, забезпечувати більшу ймовірність отримання нерухомих з'єднань, а для другого кільця, що обертається, — більшу ймовірність отримання рухомих з'єднань. Це забезпечує рівномірність спрацювання напрямних доріжок на нерухомих

кільцях маточини, що зумовлено частковим прокручуванням цього кільця підшипника у напрямку руху його рухомого кільця та кульок.

2. Дібравши типорозмір і клас точності підшипника згідно з його призначенням, добирають такий квалітет точності та якість поверхонь вала й отвору у корпусі, які сумісні з параметрами якості підшипника (допуск розмірів, шорсткості, стану поверхонь тощо). Допуски розмірів вала та отвору у корпусі не мають перевищувати допуски відповідних розмірів поверхонь кільця підшипника більше ніж у 1,5–2 рази, а відхилення форми поверхонь та параметри шорсткості не мають перевищувати відповідних значень підшипника більше ніж на 25–50%. Для повнішої оцінки відхилень форми поверхонь у стандартах наведені також допуски відхилення середніх діаметрів робочих поверхонь кільця (середні арифметичні від найбільшого та найменшого діаметрів, виміряних у різних площинах перетину перелічених поверхонь маси машини, що сприймається тільки якоюсь частиною робочих поверхонь).

3. Для добору відхилень розмірів поверхонь вала та отвору у корпусі враховують не тільки абсолютну величину робочого навантаження на підшипник, але і його характер.

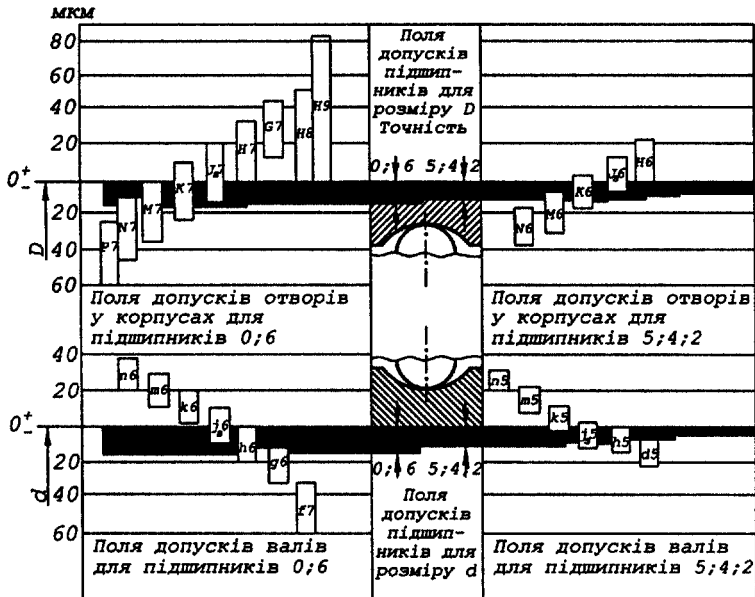


Рис. 1.4.10

У техніці розрізняють такі навантаження з'єднань з підшипниками:

місцеве та стале за напрямком дії, наприклад, натяг тягового паса, дія зубчастого колеса, сили маси машини, що сприймається тільки якоюсь частиною робочих поверхонь:

циркуляційне — полягає у передаванні радіального навантаження послідовно у всіх радіальних напрямках, наприклад, навантаження на підшипник, встановлений на осі, яка з'єднує корбу з гонком у корбово-гонковому механізмі;

коливальне — полягає у передаванні радіального навантаження послідовно, як у циркуляційному, але не у всіх радіальних напрямках, а тільки на обмеженій ділянці, наприклад, навантаження на підшипник, встановлений на осі, що з'єднує гонки з повзуном корбово-гонкового механізму.

Для всіх навантажень з метою забезпечення рівномірного спрацювання робочих поверхонь дотримуються рекомендації, викладеної у п.1. На рис. 1.4.10 зображено ряд полів допусків розмірів поверхонь вала та отвору у корпусі, рекомендованих деякими стандартами для роботи з підшипниками кочення.

Іноді поля допусків розмірів робочих поверхонь деталей, що контактують з підшипниками кочення, добирають за умовною інтенсивністю їх навантаження [38], яку визначають за формулою

$$P_R = R \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{1}{b}, \quad (1.4.43)$$

де P_R — інтенсивність навантаження з'єднання, Н/мм; R — радіальне навантаження на нього, Н; k_1 і k_2 — коефіцієнти, що залежать відповідно від характеру навантаження, ступеня зменшення натягів, зумовлених порожнистістю чи тонкостінністю валів, корпусів і конструкції підшипника; k_3 — коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між рядами кульок для багаторядного підшипника; b — ширина робочої частини поверхні, $b = B \cdot 2 \cdot r$, B — ширина, мм; r — радіус заокруглення чи фасок біля торців підшипника, мм. За наявності перевантаження з'єднання до 150% і слабких вібрацій $k_1 = 1$, а для перевантаження до 300% і наявності сильних вібрацій та ударів $k_1 = 1,8$.

Значення коефіцієнта k_2 беруть із табл. 1.4.8, де d і D — відповідно діаметри зовнішнього та внутрішнього кілець підшипника, мм; d_k — діаметр зовнішньої поверхні тонкостінного корпусу, мм; D_0 — діаметр отвору порожнистого вала, мм. Значення коефіцієнта k_3 коливається від 1 до 2 і залежить від кількості рядів кульок, особливостей конструкції, наявності осьових

навантажень тощо. Менші його значення беруть для простих, а більші — для складніших конструкцій.

Рекомендовані [38] поля допусків для поверхонь валів і корпусів, що з'єднані з відповідними поверхнями підшипників, наведені у табл. 1.4.9 (ГОСТ 3325–85).

За отриманими значеннями P_R згідно з табл. 1.4.9 визначають поля допусків для розмірів поверхонь вала та корпуса.

Завдання для самостійної роботи

Дібрати поля допусків поверхонь деталей, що контактують з підшипниками кочення згідно з вихідними даними, наведеними в табл. 1.4.10 і 1.4.11

Приклад. За табл. 1.4.10 і 1.4.11 задано: радіальний підшипник кочення №306-5 за умови, що з'єднання навантажене радіальним зусиллям 10 кН, допуском перевантаженням 150%, з обертовим корпусом, відношенням $D_0/D = 0$ і $d/d_k = 0,8$.

Розв'язання. Перший спосіб. Згідно з рекомендаціями п. 1 допуски для діаметрів отвору у корпусі і вала приймаємо рівними двом допускам розмірів відповідних поверхонь підшипника. Тоді допуск діаметра поверхні у корпусі становитиме $TD = 2 \cdot Td = 2 \cdot 0,009 = 0,018$ мм; $TD = 2 \cdot Td = 2 \cdot 0,005 = 0,010$ мм. Для діаметрів отвору у корпусі ($d = 72$ мм) допуск 0,018 мм відповідає 6 квалітету точності, а для вала ($D = 30$ мм) допуск 0,010 мм відповідає також 6 квалітету точності.

Оскільки обертається корпус, то поле допуску для поверхні отвору в корпусі добираємо з умови забезпечення переважного натягу, а для поверхні вала — з умови забезпечення переважної рухомості з'єднання. Таким умовам відповідають поля допусків K6 і h6. Отримуємо умовне позначення розміру з'єднання для поверхонь великого діаметра $\varnothing 72 \frac{K6 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,019 \end{pmatrix}}{- \begin{pmatrix} 0 \\ -0,009 \end{pmatrix}}$, а для малого —

Таблиця 1.4.8

Значення коефіцієнта k_2

D_0/D або d/d_k		Значення коефіцієнта k_2 для			
		вала			корпуса
понад	до	$d/D \leq 1,5$	$1,5 < d/D \leq 2,0$	$2,0 \leq d/D \leq 3,0$	Для інших
–	0,4	1	1	1	1
0,4	0,7	1,2	1,4	1,6	1
0,7	0,8	1,5	1,7	2	1,4
0,8	–	2	2,3	3	1,8

Таблиця 1.4.9

Рекомендовані поля допусків для поверхонь валів і корпусів залежно від інтенсивності навантаження

Діаметр D отвору внутрішнього кільця, мм		Допускні значення P_R ; Н/мм			
		Для припасувань з валом			
понад	до	$js5; js6$	$k5; k6$	$m5; m6$	$n5; n6$
18	80	до 300	300-1400	1400-1600	1600-3000
80	180	до 600	600-2500	2000-2500	2500-4000
180	360	до 700	700-3000	3000-3500	3500-6000
360	630	до 900	900-3500	3500-4500	4500-8000

Діаметр d отвору зовнішнього кільця, мм		Для припасувань з отвором у корпусі			
		$K6; K7$	$M6; M7$	$N6; N7$	$P7$
понад	до	До 800	800-1000	1000-1300	1300-2500
50	180	До 1000	1000-1500	1500-2000	2000-3300
180	360	До 1200	1200-2000	2000-2600	2600-4000
360	630	До 1600	1600-2500	2500-3500	3500-5500

відповідно $\varnothing 30 \frac{-\begin{pmatrix} 0 \\ -0,005 \end{pmatrix}}{h6 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,009 \end{pmatrix}}$. Допускні значення натягів та проміжків

будуть мати значення для поверхонь великого діаметра $N_{\max} = 0,019$ мм; $S_{\max} = 0,009$ мм, а для поверхонь малого діаметра відповідно $N_{\max} = 0,005$ мм; $S_{\max} = 0,013$ мм.

Другий спосіб. Згідно з (1.4.43), підставивши $R = 10$ кН, $k_1 = 1$; $k_2 = 1,5$ (оскільки $d/D = 30/72 \approx 0,4 < 1,5$); $k_3 = 1$, $b = 19 - 2 \cdot 2 = 15$ мм, отримаємо

$$P_r = 10 \cdot 000 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 / 15 = 1000 \text{ Н/мм.}$$

Згідно з табл. 1.4.9 маємо рекомендовані поля допусків для вала $k5$ і $k6$; а для поверхні отвору у корпусі $M6$ і $M7$. Якщо прийняти відповідно $k6$ і $M6$, то отримаємо для обох поверхонь

з'єднання з гарантованим натягом. Для поверхні вала $\varnothing 30 \frac{6 \begin{pmatrix} +0,013 \\ 0 \end{pmatrix}}{-\begin{pmatrix} 0 \\ -0,005 \end{pmatrix}}$,

з натягом $N_{\min} = 0$ і $N_{\max} = 0,018$ мм; для поверхні корпуса

$\varnothing 72 \frac{-\begin{pmatrix} 0 \\ -0,009 \end{pmatrix}}{M6 \begin{pmatrix} -0,011 \\ -0,030 \end{pmatrix}}$, з натягом $N_{\min} = 0,002$ і $N_{\max} = 0,030$ мм. У цьому

разі перевіримо міцність кілець підшипника. Найбільший натяг

Таблиця 1.4.10

Вихідні дані за передостанньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
№ підшипника	205	208	216	307	310	315	409	411	413	415
Клас точності	5	6	0	5	6	0	5	6	0	5
D_o/D	0	0,8	0	0,6	0	0,5	0	0,3	0	0,4
d_k/d	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,55	0,63	0,7	0,8	0,85

Таблиця 1.4.11

Вихідні дані за останньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R , кН	5,5	8,0	10	12	15	3,5	4,0	6,5	10	8,5
Перевантаження, %	150		300		150		300		150	
Що обертається?	Корпус		Вал		Корпус		Вал		Корпус	
Осьове навантаження, % від R	5		10		15		0		5	

для підшипника не має перевищувати допускну натягу [24] $N_{\text{доп}} =$

$$= \frac{11,4\sigma_d N'D}{(2N'n-2)10^5} \cdot \text{Прийнявши допускні напруження для сталі } \sigma_d \approx 400$$

$\text{МН/м}^2 = 400 \cdot 10^6 / 10^6 = 400 \text{ Н/мм}^2$, для середньої серії підшипників

$$\text{коефіцієнт } N' = 2,3, \text{ отримаємо } N_{\text{доп}} = \frac{11,4 \cdot 400 \cdot 2,3 \cdot 30}{(2 \cdot 2,3 - 2) \cdot 10^5} = \frac{314640}{260000} \approx 1,21$$

мм, що значно переважає значення найбільших граничних натягів у обох його кільцях.

Контрольні запитання

1. Які Ви знаєте ряди основних відхилень системи допусків і відхилень розмірів ISO?
2. Перелічіть квалітети точності лінійних розмірів.
3. Функцією яких параметрів є значення основних відхилень і допусків лінійних розмірів?

4. Які Ви знаєте умовні позначення полів допусків розмірів і з'єднань у кресленнях?
5. Як добирають поля допусків і відхилення розмірів у системах отвору та вала?
6. Які є способи позначення розмірів на кресленнях?
7. Який порядок розрахунку рухомих з'єднань?
8. Від яких факторів залежить найменша товщина мастильного шару?
9. Які параметри визначають під час розрахунку рухомих з'єднань?
10. Який порядок добору полів допусків і відхилень розмірів робочих поверхонь деталей у рухомих з'єднаннях?
11. На чому базується скорочений метод розрахунку рухомих з'єднань?
12. За яких умов визначають граничні значення натягів?
13. Як добирають поля допусків після визначення граничних значень натягів?
14. Де застосовують змішані з'єднання, як їх добирають?
15. Як добирають і розраховують поля допусків розмірів робочих поверхонь деталей для змішаних з'єднань?
16. Як добирають поля допусків поверхонь, що контактують з підшипниками кочення?
17. Які Ви знаєте способи добирання полів допусків розмірів поверхонь для з'єднань з підшипниками кочення?

Глава 1.5

Взаємозамінність гладких конічних з'єднань

1.5.1. Система допусків кутових розмірів та їх відхилень

Стандартна система допусків і характеристик гладких конічних з'єднань побудована на базі системи ISO. Кутові розміри широко використовують для конічних поверхонь деталей пневмо- та гідроарматури, інструментальних конусів для хвостовиків різальних і вимірювальних інструментів; отворів у шпинделях обробних верстатів і допоміжних технологічних інструментів; фіксаторів, виливків, кованок тощо.

Класифікують кутові розміри так само, як і лінійні. Розрізняють розміри номінальні, граничні та істинні. Стандартом (ГОСТ 8908–81) встановлені ряди номінальних кутових розмірів з використанням рядів переважних чисел з деякими заокругленнями. Наприклад, перший ряд номінальних значень кутових розмірів має такий вигляд: 0; 5; 10; 15; 20; 30; 45; 75; 90; 120°;...; другий ряд: 0°; 30'; 1°; 2; 3; ...; 10; 40; 75°; ... тощо.

На відміну від лінійних, які за основну одиницю мають метр і похідні від нього часткові та кратні одиниці, для вимірювання

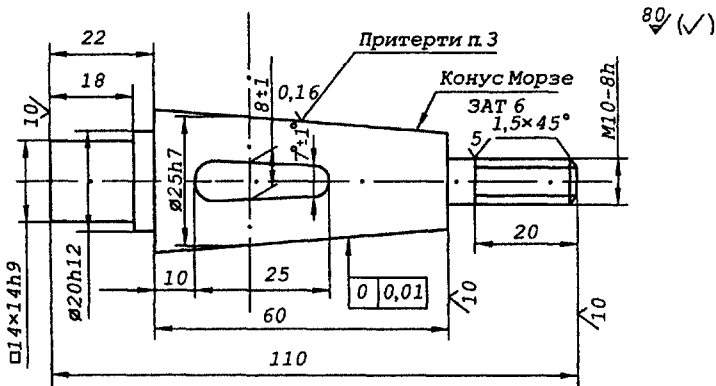
кутових розмірів встановлено дві одиниці: радіан (для плоского кута) та стерадіан (для просторового кута). Окрім цього, дозволено використовувати стару одиницю куткових розмірів — градус (°) та часткові одиниці (хвилину ' та секунду ''), що становлять відповідно одну шістдесятю частину старої одиниці.

Граничні кутові розміри отримують, підсумовуючи їх номінальні значення та граничні (верхнє чи нижнє) відхилення. *Допуском кутового розміру* AT_α називають різницю між найбільшим і найменшим допустимими кутовими розмірами, тобто

$$AT_\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} . \quad (1.5.1)$$

Розглянемо креслення вала крана з трьома конічними поверхнями: робочою поверхнею крана, виконаною у вигляді конуса Морзе №3 з точністю кутового розміру $AT_D 6$, яка згідно зі стандартом [3] становить 0,012 мкм на заданій довжині 79 мм твірної конуса, з шорсткістю поверхні 0,032 за параметром Ra, що притерта разом з конічною поверхнею корпусу; плоскою поверхнею внутрішнього отвору вала з кутом $7^\circ \pm 1'$, отриманою під час лиття заготовки вала, та фаскою $1,5 \times 45^\circ$, для якої точність кута не зазначена, що дає змогу виготовляти її за останнім, тобто 17 ступенем точності, з відхиленням даного розміру $\pm 2'18''$ (рис. 1.5.1).

За чинними стандартами [2, 8] є кілька способів позначати кутові розміри на кресленнях: цифровими значеннями номінальних розмірів та їх граничними відхиленнями ($30^\circ \pm 2'$; $10^\circ \pm 30'$; $3^\circ \pm 15''$; $25^\circ \pm 2'$; 25°_{-1} ; тощо); номінальними цифровими кутовими розмірами та літерними позначеннями їх точності; номерами ступенів точності ($30^\circ + AT_\alpha 7$; $30^\circ - AT_\alpha 9$; $10^\circ \pm 0,5 AT_\alpha 5$); умовними по-



1. j₁₅
Рис 1.5.1.

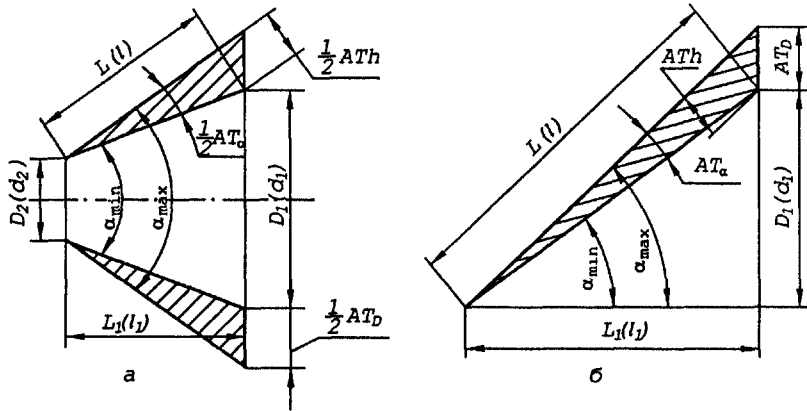


Рис. 1.5.2

значеннями конусних поверхонь (метричний конус № 80 AT_6 , конус Морзе № 4 AT_7), номінальними кутовими розмірами без написання допускних відхилень (фаска $1,5 \times 45^\circ$; нахил 7° ; нахил 1:10; конусність 1:5 тощо).

Окрім допусків куткових розмірів в куткових одиницях (радіан, градус), стандарт регламентує ще два додаткових способи написання значень відхилень за допомогою лінійних розмірів (рис. 1.5.2, *a* і *б*). Відхилення кута α , заданого в куткових одиницях, визначають також за допомогою допуску AT_D діаметра D_1 (d_1) великої основи конуса, що містяться у площині, віддаленій на задану відстань $L(l)$ від вершини кута чи базової поверхні конуса, або відрізка, перпендикулярного до твірної конуса AT_h . Обидва відхилення задають за допомогою лінійних розмірів.

Допуск AT_h призначають для конічних поверхонь з конусністю, більшою від 1:3, залежно від довжини твірної конуса $L(l)$. Залежність між допусками AT_h і AT_α як для конуса, так і для кутника можна записати у вигляді

$$AT_h = AT_\alpha \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (1.5.2)$$

де AT_h — допуск куткового розміру, виражений довжиною відрізка, перпендикулярного до твірної конуса чи сторони кута кутника, мкм; AT_α — допуск куткового розміру, мкрад; L — довжина твірної конуса чи сторони кутника, мм.

Для конічних поверхонь з конусністю, меншою від 1:3, з деяким наближенням приймають, що $L \approx L_1$, а $AT_h \approx AT_D$. У цьому разі допускні відхилення куткових розмірів призначають за допомогою допуску AT_D . Для конічних поверхонь з конусністю, більшою ніж 1:3, значення допуску AT_D визначають, як

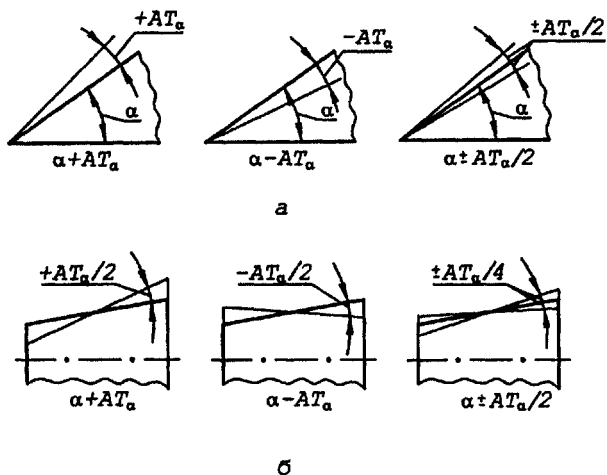


Рис 1.5.3.

$$AT_D = \frac{AT_h}{\cos \alpha}, \quad (1.5.3.)$$

де α — номінальне значення кутового розміру конічної поверхні, °.

У системі допусків кутових розмірів [2, 8] значення допусків обчислюють залежно від ступенів точності та довжини коротшої його сторони, незалежно від значення кута. Ступені точності позначені цифрами в порядку зменшення точності 1; 2; 3;; 16 і 17. Стандарт (ГОСТ 8908–81) допускає використання додаткових (з меншими допусками) ступенів точності 0 і 01, значення допусків для яких отримують діленням значень допусків 1 ступеня послідовно на спільний дільник $\varphi = 1,6$. Значення допусків у кресленнях рекомендують, якщо це можливо, заокруглювати. Заокруглені значення допусків AT_α наведені у стандарті (у куткових градусах, мінутах і секундах). Стандартні розміри довжини коротшої сторони кутів можуть мати розміри від 0 до 2500 мм. Цей діапазон поділено на менші діапазони, для кожного з яких наведено середні значення допусків для чотирьох способів їх визначення (AT_α — у радіанах і градусах, AT_D та AT_h — у міліметрах). Як бачимо, залежність допусків від ступеня точності і від довжини коротшої сторони кута є значною. Наприклад, допуск для довжин коротшої сторони кута від 3 до 10 мм становить 10'' — для 1 ступеня і 4'35'1'' — для 17 ступеня точності.

Стандарт регламентує три способи написання відхилень кутових розмірів: два однобічні та симетричний. Схема полів допусків для кутових розмірів зображена на рис. 1.5.3.

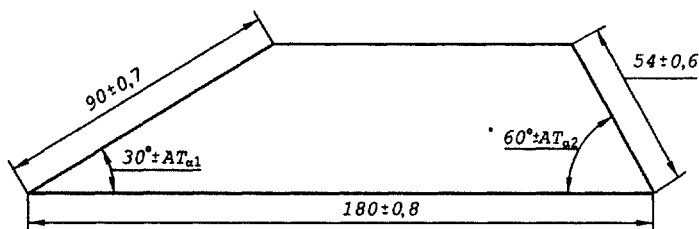


Рис 1.5.4.

Приклад. Встановити допускні відхилення для кутових розмірів 30° і 60° плоского шаблона (рис. 1.5.4) для умови, що деталі, виготовлені за його допомогою, повинні мати граничні відхилення кутових розмірів відповідно до 12 ступеня точності.

Розв'язування. Довжина меншої сторони кута 30° дорівнює 90 мм. За стандартом допуск кутового розміру для контрольованих деталей за 12 ступенем точності дорівнює $8'35''$. Приймаючи допуск кутового розміру шаблона у чотири рази точнішим, отримуємо допуск кутового розміру $8'35''/4 \approx 2'09''$, що за стандартом відповідає 9 ступеню точності. Аналогічно, для кутового розміру 60° довжина меншої сторони кута дорівнює 54 мм. Згідно зі стандартом допуск кутового розміру для 12 ступеня точності становить $10'49''$. Приймаючи допуск кутового розміру шаблона у чотири рази точнішим, отримуємо допуск кутового розміру $10'49''/4 \approx 2'42''$, що за стандартом також відповідає 9 ступеню точності.

1.5.2. Взаємозамінність конусів

Конуси та конічні поверхні служать для отримання з'єднань, які дають змогу забезпечувати високу точність центрування деталей, герметичність з'єднань, регулювати їх характер, передавати крутні моменти сил тощо.

Внутрішню та зовнішню конічні поверхні конуса характеризують відповідно діаметрами D_1 і d_1 великих (рис.1.5.5) та D_2 і d_2 малих його основ, довжиною твірних L і l , кутом конуса α і кутом нахилу $0,5\alpha$. Зазначені параметри мають геометрично-тригонометричний зв'язок.

Конічним (конусним) називають з'єднання двох виробів (деталей), що мають конічні поверхні з однаковими кутовими номінальними розмірами, які контактують між собою. *Конусом* називають виріб (деталь, заготованку), що має хоча б одну конічну поверхню. *Конусністю* називають відношення різниці діаметрів

основи конічної поверхні до її довжини, тобто

$$k_{BT} = \frac{D_1 - D_2}{L} = 2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha \text{ — для внутрішньої конічної поверхні, (1.5.4)}$$

$$kB = \frac{d_1 - d_2}{l} = 2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha \text{ — для зовнішньої конічної поверхні. (1.5.5)}$$

Нахилом поверхні називають відношення половини різниці діаметрів конічної поверхні до її довжини, тобто

$$H_{BT} = \frac{D_1 - D_2}{2L} = \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha \text{ — для внутрішньої конічної поверхні та (1.5.6)}$$

$$H_B = \frac{d_1 - d_2}{2l} = \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha \text{ — для зовнішньої конічної поверхні. (1.5.7)}$$

Розглянемо конічне з'єднання втулки з внутрішньою та конуса із зовнішньою конічними поверхнями (рис.1.5.5). Розрізняють такі основні параметри конічних з'єднань: D_0 і d_0 — діаметри відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь у основній площині; D_1 і D_2 — діаметри відповідно великої та малої основ внутрішньої конічної поверхні втулки; d_1 і d_2 — діаметри відповідно великої та малої основ зовнішньої конічної поверхні конуса; L і l — довжини відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь конічного з'єднання; $Z_{вт}$, Z_B і Z — базові відстані відповідно втулки, вала та з'єднання.

Основною площиною конічного з'єднання називають площину, перпендикулярну до осі її симетрії, в якій задано номінальний розмір діаметра з його відхиленнями. Основною може бути будь-яка площина, розміщена у межах довжини конічної поверхні. *Базовою поверхнею втулки чи вала* називають поверхні, перпендикулярні до осі їх симетрії, від яких задають координати (розміри)

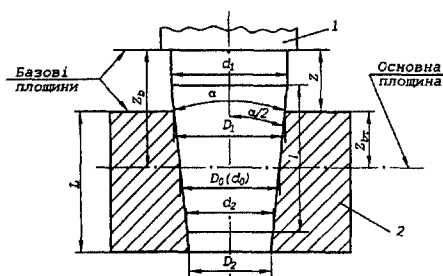


Рис. 1.5.5.

ри) розміщення їх основних площин. За базові приймають переважно реальні поверхні втулки та конуса, перпендикулярні до їх осей (торців, буртів, виточень тощо), які забезпечують зручність вимірювання та контролю розмірів, що визначають розміщення основних поверхонь.

Базовою відстанню конічного з'єднання називають відстань

між базовими поверхнями з'єднаних деталей (втулки та конуса), а *базовою відстанню втулки чи конуса* — відстань між їх основною площиною та базовою поверхнею. Точність конічного з'єднання забезпечують відповідно точністю суміщення основних площин обох з'єднаних деталей та припасування їх конічних поверхонь після складання деталей у вузол, тобто — точністю базової відстані конічного з'єднання. Базові відстані з'єднання та обох його деталей пов'язані рівнянням

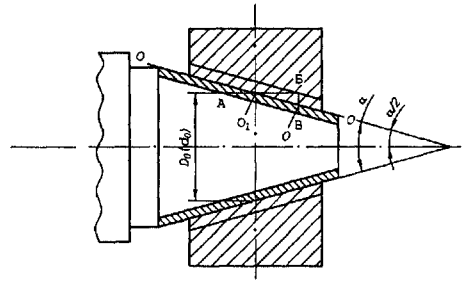


Рис. 1.5.6.

$$Z = Z_{BT} - Z_B, \quad (1.5.8)$$

де Z , Z_B і Z_{BT} — базові відстані відповідно з'єднання, конуса та втулки, мм. Формула (1.5.6) правильна за умови, що кутовий розмір обох деталей з'єднання виконаний без відхилень. Схема полів допусків такого з'єднання зображена на рис. 1.5.6. Нульова лінія зображає номінальне значення діаметрів D_0 і d_0 з'єднаних поверхонь. У разі складання конічних деталей з найбільшим діаметром конічної поверхні конуса та найменшим діаметром конічної поверхні втулки обидві деталі займуть взаємне положення, зображене на рисунку. При складанні з'єднання з найменшим діаметром конічної поверхні конуса та найбільшим діаметром конічної поверхні втулки точка A , що знаходиться на поверхні конуса, контактуватиме з точкою B , що знаходиться на конічній поверхні втулки. Тобто вал переміститься вправо на відстань AB за умови незмінного положення втулки. Відстань AB є допуском базової відстані конічного з'єднання

$$TZ = AB = AO_1 + O_1B = TZ_B + TZ_{BT} = \frac{Td_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + \frac{TD_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (1.5.9)$$

де TZ — допуск базової відстані конічного з'єднання, мм; Td_0 і TD_0 — допуски діаметрів конічних поверхонь відповідно вала та втулки в основній площині, мм.

Як випливає з (1.5.7), для малих кутів конуса допуски базових відстаней з'єднаних деталей та конічного з'єднання можуть бути значними. Для їх зменшення відповідно зменшують допуски діаметрів обох деталей та добирають їх відхилення так, щоб поля

допусків перекривались. Це дає змогу зменшити більше ніж удвічі допуск базової відстані конічного з'єднання.

У разі рівності допусків діаметрів втулки та вала (їх суміщення) формула (1.5.9) матиме вигляд

$$TZ = TZ_B = TZ_{BT} = \frac{Td_o}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{TD_o}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (1.5.10)$$

а для нерівних значень допусків діаметрів вала та втулки у формулі (1.5.10) для визначення допуску базової відстані беруть більший з допусків розмірів вала чи втулки.

Беручи до уваги формули (1.5.2) і (1.5.3), рівняння (1.5.10) можна записати як

$$TZ = \frac{Td_o}{k_B} = \frac{TD_o}{k_{BT}}. \quad (1.5.11)$$

Визначення залежності допуску базової відстані від відхилень кутових розмірів обох деталей конічного з'єднання є складною геометричною задачею, розв'язки якої залежать не тільки від відхилень кутових розмірів з'єднуваних поверхонь, а й від розміщення основної площини конічного з'єднання відносно базових поверхонь, тобто величин базових відстаней з'єднуваних деталей. Тому на практиці розв'язують часткові задачі, беручи до уваги додаткові умови для конічного з'єднання. Такими додатковими умовами є: рівність діаметрів обох з'єднуваних конічних поверхонь у основній площині їх номінальному значенню; розміщення основної площини у межах робочої довжини конічних поверхонь; суміщення основної площини конічного з'єднання з однією з базових поверхонь з'єднуваних деталей.

На рис.1.5.7, а зображено з'єднання конічних деталей зі суміщенням основної площини з базовою поверхнею втулки, за яку служить її верхня торцева поверхня. Великий діаметр конічної втулки дорівнює номінальному діаметру конічного з'єднання в основній площині (D_o і d_o). Як бачимо, у цьому випадку з'єднання деталей можливе за умови, що кут конічної поверхні втулки менший від кута конічної поверхні вала. На рис.1.5.7, б зображено конічне з'єднання, в якому основна площина суміщена з базовою площиною конічної поверхні вала, за яку служить його нижня торцева поверхня. У цьому разі з'єднання деталей можливе тільки за умови, що кут конічної поверхні вала менший від кута конічної поверхні втулки. Визначити залежність зміни базової відстані від відхилень кутів конічних поверхонь як в одному, так і у другому

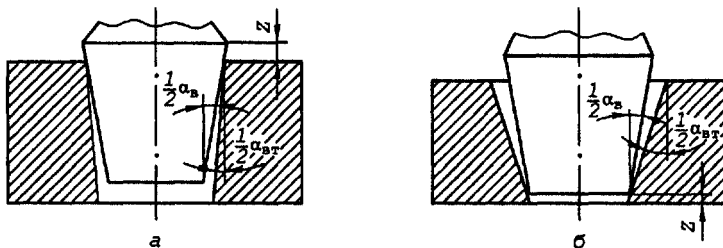


Рис. 1.5.7.

з'єднанні практично неможливо, оскільки будь-яка зміна базової відстані можлива тільки за умови деформування конічних поверхонь (відповідної зміни діаметрів конічних поверхонь).

Ще складніше визначити залежність зміни базової відстані від відхилень кутів конічних поверхонь тоді, коли основна площина розміщена між базовими поверхнями обох з'єднуваних деталей, або поза їх межами.

Отож, кути конічних поверхонь з'єднуваних деталей виконують з високою точністю, а для відповідальних з'єднань конічні поверхні припасовують одну до одної, забезпечуючи практичну рівність їх кутових розмірів. Тому деталі таких конічних з'єднань переважно виготовляють парами, притираючи робочі поверхні обох деталей та відмовляючись від їх взаємозамінності.

Приклад. Визначити базову відстань m (рис.1.5.8, б) між торцями уступу калібру-втулки для контролю конічної поверхні упорного центра (рис.1.5.8, а) та номінальне значення діаметра конуса в основній площині конуса з параметрами $d_1 = 80$ мм; $d_2 = 62$ мм; точність кута конуса АТ8; $l_1 = 180$ мм; $a = 8$ мм і $k = 0,05$. У якій площині задано номінальний розмір діаметра конічної поверхні калібру-втулки (рис.1.5.8, б)?

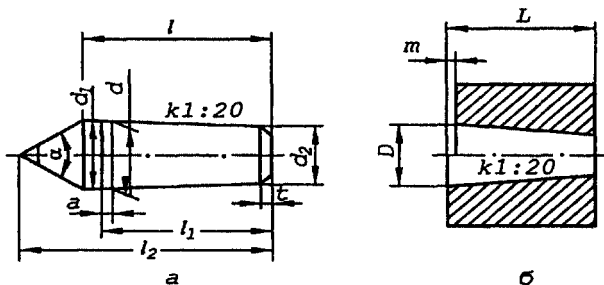


Рис.1.5.8.

Розв'язання. Порівняння значень параметрів d_1 і d_2 свідчить, що за номінальний діаметр конічної поверхні калібру-втулки прийнято великий діаметр D її конічної поверхні в основній площині, яка суміщена з торцевою поверхнею калібру-втулки. Ось чому доцільно поле допуску номінального діаметра D калібру-втулки прийняти з мінусовим значенням, як і для номінального діаметра метричного конуса 80 з відхиленням "-АТ8". За [2] відхилення кута метричного конуса 80 на довжині конічної поверхні 180 мм становить $TA_D = 0,040$ мм. Тоді допуск базової відстані з'єднання конус-калібр

$$m = \frac{1}{k} TA_D = \frac{1}{0,05} 0,040 = 0,8 \text{ мм.}$$

Торець калібру-втулки має позначати найбільше граничне значення номінального діаметра конічної поверхні упорного центра, а торець уступу — найменше граничне значення номінального його діаметра. В основній площині упорного центра на конічній його поверхні роблять контрольну позначку, за допомогою якої визначають її придатність.

1.5.3. Поля допусків і відхилень розмірів поверхонь для конічних з'єднань

Стандарти передбачають рухомі, нерухомі та змішані конічні з'єднання. Схеми полів допусків конічних з'єднань зображені на рис. 1.5.9. Особливістю конічних з'єднань є те, що їх характер може змінюватись залежно від взаємного переміщення з'єднуваних деталей вздовж осі симетрії. Взаємний рух з'єднуваних деталей, тобто зменшення базової відстані з'єднання відповідно зумовлює спочатку зменшення проміжку між конічними поверхнями до нуля, а потім створення заданого натягу. Забезпечуючи дібрані осьові переміщення, визначають заданий характер з'єднання у межах граничних відхилень розмірів конічних поверхонь. Відповідно до цього стандартами передбачені такі характери конічних з'єднань: зі заданими взаємними зміщеннями деталей, зусиллями запресування та базовою відстанню з'єднання.

Якість конічних поверхонь з'єднуваних деталей має бути високою (шорсткість від 0,016 до 0,032 за параметром R_a , для герметичних з'єднань робочі поверхні ще додатково притирають за допомогою спеціальних паст.

Приклад. Визначити осьове зміщення, потрібне для затягування інструментального конуса Морзе ЗАТ_D 7 за допомогою гвин-

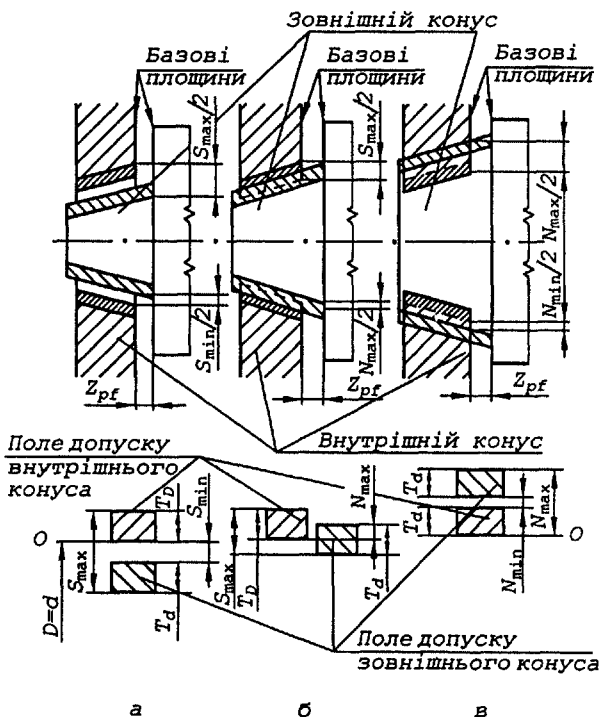


Рис. 1.5.9.

та, який вкручують у різьбовий отвір d_1 у торцевій поверхні конуса (рис.1.5.10, а) з урахуванням таких вихідних даних: конічна поверхня конуса виконана з найбільшими граничними похибками конусності, прямолінійності та округлості; конічні поверхні з'єднаних деталей конуса та корпусу мають контактувати між собою вздовж усієї їх довжини; значення натягу в основній площині з'єднання має бути більшим від 0,030 мм.

Розв'язання. Допустивши рівність значень діаметрів конічних поверхонь конуса та отвору у корпусі в основній площині ($D_0 = d_0$) та симетрію їх граничних відхилень кутових розмірів, розглянемо два можливих варіанти у заданому конічному з'єднанні: у першому кут конічної поверхні вала більший від кута конічної поверхні отвору у корпусі, а у другому кут конічної поверхні вала менший від кута конічної поверхні отвору. На рис.1.5.10, б обидва можливі варіанти з'єднання зображені пунктирними лініями. Додатне відхилення кута вала та від'ємне відхилення кута отвору зумовлюють отримання значень розмірів малих діаметрів вала та

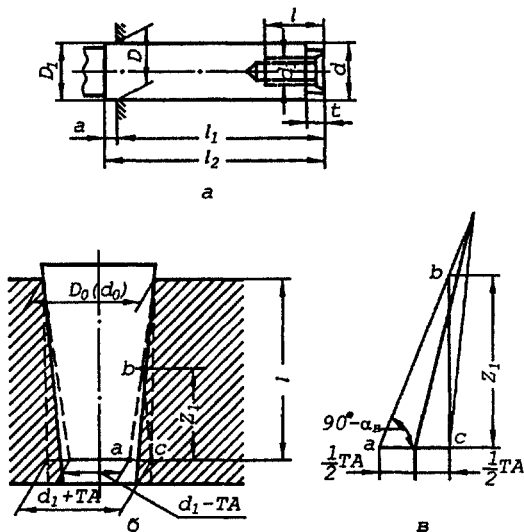


Рис. 1.5.10.

отвору у площині, розміщеній на відстані l від основної площини з'єднання, відповідно

$$d_1 - \frac{TA_D \gamma}{2} \text{ — для конічної поверхні конуса та } d_1 - \frac{TA_D \gamma}{2} \text{ — для}$$

конічної поверхні отвору у корпусі, де $TA_D \gamma$ — граничне відхилення кута конуса на довжині його твірної, мм. Із [2,8] для конуса Морзе $3AT_D \gamma$ знаходимо $TA_D \gamma = 0,020$ мм, а із трикутника abc (рис.1.5.10, в) знаходимо потрібне значення осевого зміщення конуса відносно корпусу з'єднання для контакту між собою обох конічних поверхонь, як $Z_1 = \frac{2TA_D \gamma}{k}$, де k — конусність конічної

поверхні конуса. Підставивши із [2,8] $k = 0,05020$, отримаємо потрібне осеве зміщення конуса відносно отвору корпусу

$$Z_1 = \frac{2 \cdot 0,020}{0,05020} = 0,797 \text{ мм. Беручи до уваги граничні відхилення коніч-}$$

ної поверхні конуса від прямолінійності Δ_n та округлості Δ_k , які згідно з [2, 8] відповідно $\Delta_n = 0,005$ мм і $\Delta_k = 0,010$ мм, отримаємо сумарне граничне відхилення

$$TA_D \gamma_c = TA_D \gamma + D_n + D_k = 0,020 + 0,005 + 0,010 = 0,035 \text{ мм.}$$

Сумарне осьове зміщення $Z_{1c} = \frac{2TA_D 7_c}{k} = \frac{2 \cdot 0,035}{0,05020} = 1,394$ мм, а потрібний найбільший сумарний натяг у основній площині $N_c = k \cdot Z_{1c} = 0,05 \cdot 1,394 = 0,070$ мм. Отримане значення натягу більше від заданого 0,030 мм, що задовольняє умову задачі.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється система допусків конічних з'єднань від системи допусків циліндричних з'єднань?
2. Як класифікують кутові розміри?
3. Які відхилення кутових розмірів рекомендовані у стандартах?
4. Як позначають кутові розміри на кресленнях?
5. Скільки є ступенів точності кутових розмірів і де їх застосовують?
6. У яких одиницях подані допуски кутових розмірів у стандартах?
7. Від чого залежить допуск кутового розміру?
8. Дайте визначення конуса та конічного з'єднання.
9. Як забезпечують точність конічних з'єднань?
10. Що таке основна площина, базова поверхня та базова відстань?
11. Які знаєте основні параметри конічних з'єднань?
12. Як підвищують точність конічних з'єднань?
13. Перелічіть характери конічних з'єднань і способи їх забезпечення.

Глава 1.6

Взаємозамінність і поля допусків розмірів для виробів з багатьма робочими поверхнями

1.6.1. Загальні положення

Деталі, що мають не одну, а більше робочих поверхонь, якими вони контактують з іншими деталями у з'єднанні, належать до складних. Якщо з'єднувані поверхні пов'язані між собою відповідними розмірами, то забезпечення їх взаємозамінності є складною задачею. До якості таких поверхонь (точності розмірів, шорсткості, стану поверхні) ставлять здебільшого підвищені вимоги, зумовлені заданими параметрами готових виробів. Забезпечення якості виробів з багатьма спряженими поверхнями тим складніше, чим більша їх кількість і нижча якість деталей, з яких складають виріб чи окремий вузол.

Економічно прийнятною якістю поверхонь у сучасному машинобудуванні є точність розмірів до 5–6 квалітетів точності та шор-

сткість поверхні до 0,125...0,25 мм за параметром Ra , а якість з'єднань з однією парою робочих поверхонь є технологічно забезпечена тільки у 5–7 квалітетах точності, тобто граничні похибки їх близькі за значеннями, тому для успішного розв'язання таких задач потрібні рішення, які дають змогу розв'язувати їх переважно за точністю головних параметрів, застосовуючи методи неповної взаємозамінності, селективного складання, регулювання та припасування розмірів окремих ланок за потребою. Однак, якщо згадані вище методи та способи придатні для процесів складання виробів з кількох деталей, то виготовлення складних за формою та суцільних деталей, забезпечення з'єднань їх з іншими деталями за заданими характеристиками для умов серійного та масового виробництва вимагають інших рішень.

До складних виробів належать вироби зі шпонковими, шліцьовими, різбовими, зубчастими, конічними поверхнями.

1.6.2. Взаємозамінність шпонкових з'єднань

Шпонкові з'єднання призначені для передавання крутних моментів між валами, осями, з одного боку, та зірками, шківками, зубчастими колесами, муфтами, втулками, ручками — з іншого. Залежно від виконуваних функцій шпонкові з'єднання бувають рухомими та нерухомими. Ці з'єднання можуть мати призматичні, конічні, сегментні, тангенціальні шпонки.

Шпонкові з'єднання містять у собі щонайменше два взаємопов'язані з'єднання деталей з плоскими поверхнями, для яких шпонка є спільною, та одне з'єднання циліндричних деталей. Розглянемо з'єднання вала з умовною втулкою за допомогою призматичної шпонки, яке складається з таких з'єднань: вала та отвору у втулці, шпонки з бічними поверхнями пазів на валу і в отворі втулки зі спільною шпонкою, повздовжніми та торцевими плоскими поверхнями шпонки та поверхнями у заглибленнях пазів вала та отвору втулки (всього шість простих з'єднань поверхонь) (рис. 1.6.1).

Окрім цього, відсутність співвісності чи симетрії пазів на валу та у втулці, зумовлених неточністю взаємного розміщення їх поверхонь, ставить додаткові вимоги до точності розмірів шпонки та поверхонь пазів.

Одночасне забезпечення якості всіх шести з'єднань практично неможливе і, як свідчить практика, й непотрібне. Частина з перелічених з'єднань роблять рухомими, значно знижуючи вимоги до точності розмірів і шорсткості окремих поверхонь. Наприклад, висоту h та довжину l шпонки роблять значно меншими від сума-

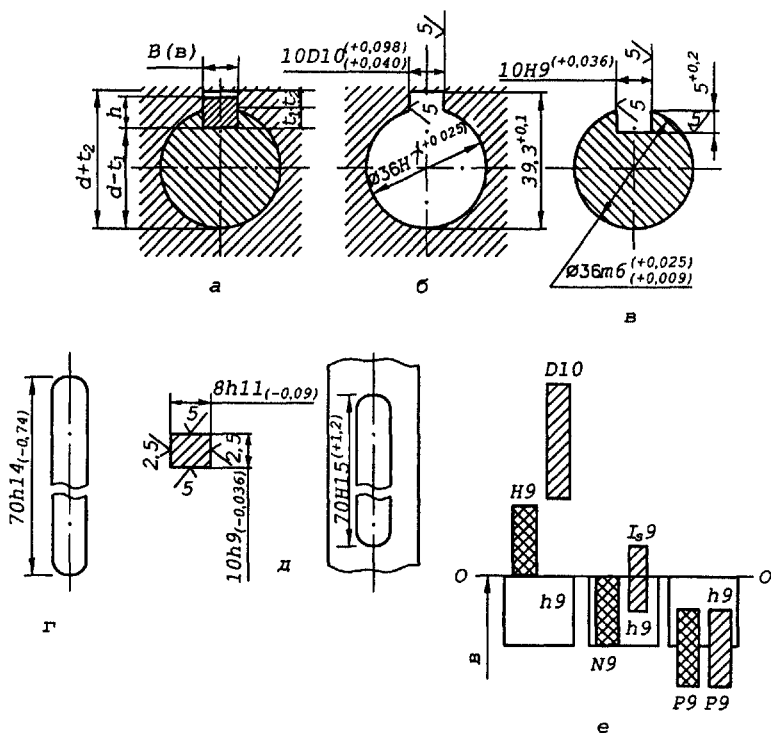


Рис. 1.6.1.

рної глибини та довжини пазів у валі та втулці $t_1 + t_2$ та L_B і L_{BT} , що дає змогу виконувати ці розміри за грубими квалітетами точності (14–17).

Відсутність співвісності поверхонь пазів на валу та у втулці компенсують відповідним збільшенням проміжків у їх посадках (припасуваннях) зі шпонкою. Тому якість шпонкових з'єднань за чинними стандартами (ГОСТ 23360–78) забезпечують, добираючи поля допусків розмірів тільки бічних поверхонь шпонки з відповідними бічними поверхнями пазів на валу і у втулці. А це вже задача реальна.

Беручи до уваги, що шпонка є спільною для вала та втулки, для цих з'єднань добирають систему вала, за який служить шпонка, для розміру ширини якої рекомендують поле допуску $h9$. Для бічних поверхонь шпонки з відповідними поверхнями паза на валу, незалежно від характеру шпонкового з'єднання (рухоме чи нерухоме), забезпечують здебільшого нерухоме з'єднання. Це забезпечує зручність складання та розкладання шпонкового з'єд-

нання під час його ремонту та промивання деталей перед повторним складанням.

Поля допусків бічних поверхонь шпонки та відповідних поверхонь паза у втулці добирають залежно від заданого характеру шпонкового з'єднання. Для нерухомих шпонкових з'єднань беруть відповідно нерухоме, а для рухомих — рухоме з'єднання пари паз-шпонка. За характером з'єднань стандартом встановлено три типи шпонкових з'єднань: вільне, нормальне та щільне. Для вільного з'єднання рекомендують для розміру ширини паза вала поле допуску $H9$, а для розміру паза в отворі втулки — $D10$; для нормального з'єднання — відповідно $N9$ і J_s9 ; для щільного з'єднання — однакове поле допуску для розмірів пазів на валі та в отворі втулки — $P9$.

Під час розрахунків шпонкових з'єднань враховують граничні похибки симетричності розміщення пазів у втулках і валах. З метою компенсації похибок симетричності поверхонь пазів на валу та в отворі втулки основні відхилення для них беруть такі, які б забезпечили збільшені проміжки або зменшені натяги. Розглянемо перерізи втулки та вала для нерухомого їх шпонкового з'єднання з полями допусків циліндричних поверхонь втулки з валом $H7/m6$, шпонки з пазом на валу $H9/h9$ і шпонки з пазом у отворі втулки $D10/h9$ (рис. 1.6.1, б, в). Усі інші розміри шпонки та втулки виконують за 14 і 15 квалітетами точності (рис. 1.6.1, з і д). Конструкції та розміри шпонкових з'єднань стандартизовані (ГОСТ 23360-78; ГОСТ 24071-97).

Приклад. Для шпонкового з'єднання, зображеного на рис. 1.6.1, дібрати поля допусків для всіх розмірів та позначити їх за вимогами стандартів.

Розв'язання. Нерухомість шпонкового з'єднання забезпечують за допомогою добору відповідних полів допусків основних з'єднань. Тому для гладкого циліндричного з'єднання $\varnothing 36$ та з'єднання шпонки з пазом вала з номінальним розміром 10 доберемо нерухоме з'єднання, а для з'єднання шпонки з пазом в отворі втулки доберемо поля допусків, які гарантують мінімальні натяги. Беручи до уваги наявність відхилень форми поверхонь, взаємного розміщення пазів на валу, отворів втулки та гладких циліндричних поверхонь відносно площин симетрії у межах граничних відхилень розмірів і те, що вони завжди зумовлюють збільшення натягів між з'єднаними поверхнями, доберемо змішане з'єднання для бічних поверхонь шпонки та паза в отворі втулки. Для довжини шпонки добираємо поле допуску $h14$, а для довжини паза на валу — $H15$. Тоді розміри шпонкового з'єднання повинні бути такими:

$\varnothing 36 \frac{H7\left(\begin{smallmatrix} +0,025 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)}{p6\left(\begin{smallmatrix} +0,042 \\ +0,026 \end{smallmatrix}\right)}$ — для гладкого циліндричного з'єднання,

$10 \frac{S8\left(\begin{smallmatrix} -0,023 \\ -0,045 \end{smallmatrix}\right)}{h8\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,022 \end{smallmatrix}\right)}$ — для з'єднання паза на валу зі шпонкою,

$10 \frac{J_s 9(\pm 0,018)}{h8\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,022 \end{smallmatrix}\right)}$ — для з'єднання паза в отворі втулки зі шпонкою.

Розміри шпонкового з'єднання та дібрані для них поля допусків зображені на рис. 1.6.1.

1.6.3. Взаємозамінність шліцьових з'єднань

Шліцьові з'єднання призначені для передавання значних крутних моментів між осями та валами, з одного боку, та втулками (зубчастими колесами, зірками, напівмуфтами) — з іншого. Порівняно зі шпонковими шліцьові з'єднання забезпечують вищу точність центрування та рівномірність навантаження обох з'єднаних деталей.

За конструкцією та поперечним перерізом шліцьові з'єднання бувають з прямокутними, трикутними та евольвентними профілями робочих поверхонь. Основними параметрами *шліцьового з'єднання з прямокутними шліцями* (рис. 1.6.2.) є великий діаметр D_1 (d_1), малий діаметр D_2 (d_2), ширина шліців B (b) та їх кількість z .

Залежно від експлуатаційних і технологічних вимог добирають один з трьох способів взаємного центрування шліцьових валів і втулок, зображений на рис. 1.6.2. Для шліцьового з'єднання (рис. 1.6.2, а) прийнято центрування за великим діаметром D_1 (d_1)

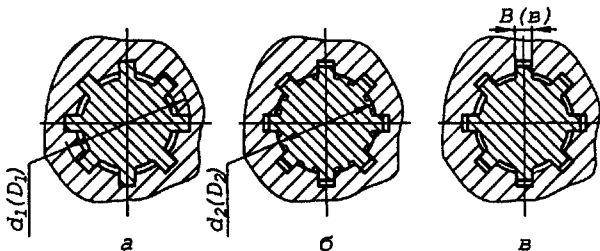


Рис. 1.6.2.

і шириною шліців $B(b)$; для шліцьового з'єднання (рис. 1.6.2, б) — центрування за малим діаметром $D_2(d_2)$ і шириною шліца $B(b)$, а для шліцьового з'єднання (рис. 1.6.2, в) — центрування тільки за шириною шліців $B(b)$.

Для параметрів центрування добирають відповідно до характеру шліцьового з'єднання поля допусків розмірів (рухомого, нерухомого чи змішаного). Враховуючи, що шліцьові з'єднання є складними, а на працездатність їх впливає чимало факторів, зокрема, похибки кутових розмірів між осями шліцьових виступів на валах і відповідних пазів у втулках, поля допусків розмірів з'єднаних поверхонь добирають з урахування можливого збільшення натягів, зумовленого впливом деяких з них. Дібрані поля допусків мають сприяти отриманню заданих характеристик з'єднань незалежно від значень істинних відхилень чи похибок кутових розмірів. Рекомендовані стандартом (ГОСТ 1139-80) поля допусків розмірів поверхонь шліцьових валів і отворів у втулках утворюють за допомогою полів допусків отворів $D9, D10, F8, F10, H6-H8, J_s10$ та валів $d8, d9, e8, e9, f7-f9, g5, g6, h7-h9, j_s5-j_s7, k7$. Поля допусків розмірів окремих поверхонь добирають залежно від способу центрування шліцьових деталей.

Для діаметрів нецентрувальних поверхонь, на які не впливають перелічені вище кутові розміри, рекомендують добирати поля допусків відповідно до заданого характеру з'єднань (для гладких поверхонь — у системі отвору чи вала та квалітетів точності переважно 11 і 12). Наприклад, для розмірів отворів здебільшого беруть $H11$ і $H12$, а для розмірів валів — $a11$.

Центрування за допомогою поверхонь великого діаметра рекомендують використовувати для термічно необроблених втулок, які допускають оброблення їх поверхонь протягуванням. Цей спосіб центрування є технологічним і дешевим, але його використовують переважно для нерухомих або для легко навантажених рухомих з'єднань. Центрування за допомогою поверхонь малого діаметра застосовують у разі значної твердості матеріалу втулки, яку не можна обробляти протягуванням. Точні розміри поверхонь малого діаметра обох деталей отримують шліфуванням. Цей спосіб центрування використовують здебільшого для рухомих з'єднань.

Центрування за допомогою поверхонь ширини шліців застосовують у навантажених знакозмінними зусиллями та реверсивних механізмах з низькою точністю центрування.

Стандарти подають умовні позначення поверхонь шліцьових з'єднань та окремих деталей, у яких вказують практично всі основні параметри. Наприклад, шліцьове з'єднання легкої серії з центруванням за допомогою поверхонь великого діаметра $D_1(d_1)$ і ширини

шліців B (b), з кількістю шліців 8, розмірами діаметрів та полів допусків відповідно $\text{Ø}32\text{H}12/\text{a}11$; $\text{Ø}36\text{H}7/\text{f}7$ і шириною шліців $6\text{D}9/\text{f}8$, позначають як $D_1(d_1) - 8 \times 32\text{H}16/\text{a}12 \times 36\text{H}7/\text{f}7 \times 6\text{D}9/\text{f}8$ — ГОСТ 1139–80, поверхню втулки як $D_1 - 8 \times 32\text{H}16 \times 36\text{H}7 \times 6\text{D}9$ — ГОСТ 1139–80, а вала як $d_1 - 8 \times 32\text{a}12 \times 36\text{f}7 \times 6\text{f}8$ — ГОСТ 1139–80.

Шліцьове з'єднання з центруванням за допомогою поверхонь малого діаметра $D_2(d_2)$ і ширини шліців позначають як $D_2(d_2) - 8 \times 32\text{H}7/\text{g}6 \times 36\text{H}16/\text{a}11 \times 6\text{F}9/\text{f}8$ — ГОСТ 1139–80, шліцьові поверхні окремих деталей позначають, як і для першого з'єднання.

Евольвентні шліцьові з'єднання відрізняються від прямобічних формою бічних поверхонь шліців і пазів у втулках, яким надають евольвентного профілю. Порівняно з прямобічними, евольвентні шліцьові з'єднання є технологічнішими (менш трудомісткими), міцнішими (можуть передавати більші крутні моменти), забезпечують вищу точність центрування деталей з'єднання, тому вони значно поширеніші у машинобудуванні. Для евольвентних шліцьових з'єднань встановлені три способи їх центрування, найчастіше застосовують центрування за шириною пазів (товщиною шліців).

Позначення розмірів для цих з'єднань, як і умовні позначення їх на кресленнях, за стандартами дещо відрізняються від позначень прямобічних з'єднань. З перерізу евольвентного шліцьового з'єднання (рис. 1.6.3) видно, що діаметри отвору втулки познача-

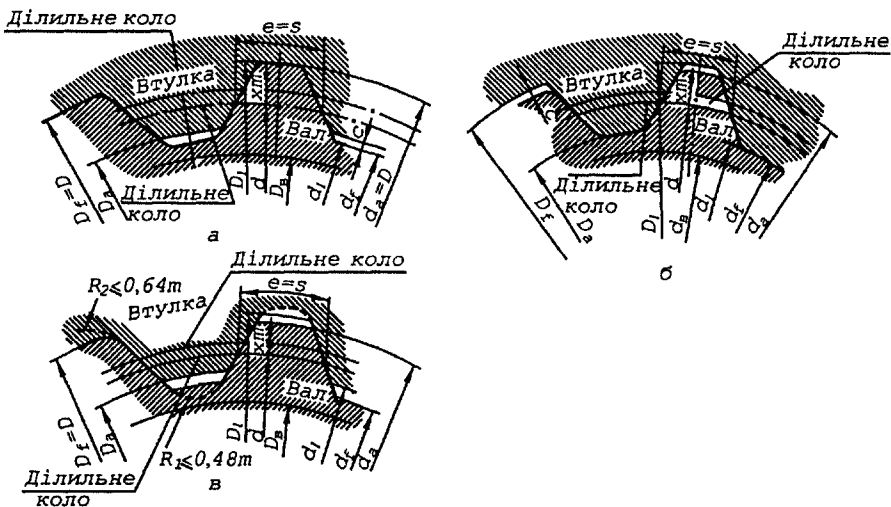


Рис. 1.6.3.

ють великою буквою латинського алфавіту D , а діаметри вала — малою d . Для позначення діаметрів виступів шліців вала та втулки використовують індекс a , для западин вала та втулки — індекс f . За основний розмір бічних евольвентних поверхонь беруть довжину сталої хорди, яку для западин втулки позначають буквою e , а для товщини шліців — буквою s .

Добирають характер евольвентних шліцевих з'єднань так само, як і для прямобічних, з тією тільки різницею, що для розміру ширини западин e та товщини шліців s замість полів допусків, призначених для гладких поверхонь, добирають відповідні види з'єднань (як і для зубчастих коліс і передач). У цьому разі замість основних відхилень добирають види з'єднань, які позначають також великими буквами латинського алфавіту, а квалітети точності замінюють ступенями точності. В умовних позначеннях для шліцевих з'єднань першим ставлять ступінь точності (цифру), а для циліндричних з'єднань — на першому місці — основне відхилення (літера).

Розміри шліцевих з'єднань розраховують за спеціальними формулами, наведеними у довідковій літературі [2]. Відхилення розмірів ширини пазів і товщини шліців добирають із рядів основних відхилень (рис. 1.6.4). Як видно із зображеної на рисунку схеми, залежно від ступеня точності, розмірів e (s) та виду з'єднання (від a до r) встановлено не два (як для гладких циліндричних поверхонь), а три відхилення. Додаткове (третє) відхилення, нижнє для розмірів пазів і верхнє для розмірів товщини шліців, служить для визначення розмірів прохідних калібрів шліцевих поверхонь.

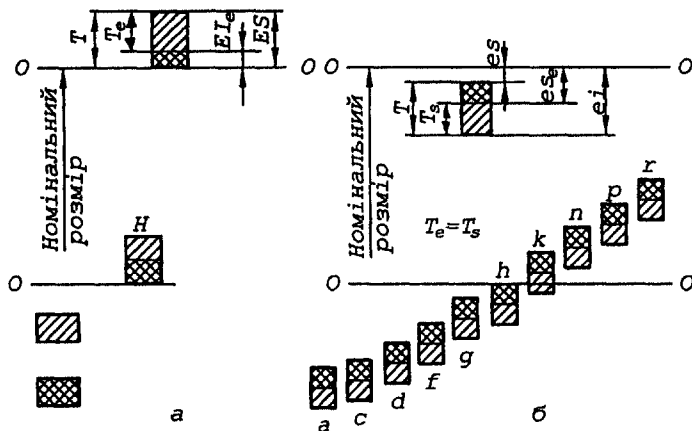


Рис. 1.6.4.

Умовні позначення евольвентного шліцевого з'єднання з номінальними розмірами великого діаметра 50 мм, модулем 2 мм та центруванням за допомогою поверхонь великих діаметрів (западин для втулок і виступів для валів), полями допусків для них $H7/g6$ та видом з'єднання для розміру $e(s)$ $9H/8g$ позначають як $50 \times H7/g6 \times 2 \times 9H/8g$ — ГОСТ 6033–80.

Таке ж шліцеве евольвентне з'єднання з центруванням за допомогою поверхонь малих діаметрів (виступів для отворів втулок і западин для валів) позначають із використанням малої букви "i", яку ставлять перед умовним позначенням шліцевої поверхні, наприклад, $i = 50 \cdot H7/g6 \times 2 \times 9H/8g$ — ГОСТ 6033–80, таке ж евольвентне шліцеве з'єднання з центруванням тільки за допомогою бічних поверхонь шліців валів і западин у отворах втулок позначають як $50 \times 2 \times 9H/8g$ — ГОСТ 6033–80.

Окрім розглянутих вище, у машинобудуванні застосовують також спеціальні шліцеві з'єднання трикутного профілю. Вони мають порівняно нижчу точність, можуть передавати менші крутні моменти, менш трудомісткі, дешевші у виготовленні (можуть виготовлятися без зняття стружки, литтям, тисненням тощо). Здебільшого такі шліцеві з'єднання використовують для закріплення на валах чи осях різних ручок, держаків, корб, важелів тощо.

Завдання для самостійної роботи

Для заданих у табл. 1.6.1 і 1.6.2 вихідних даних, відповідно до позначень параметрів шліцевих з'єднань згідно з рис 1.6.2 і 1.6.3 визначити всі основні розміри, дібрати поля допусків розмірів окремих поверхонь деталей шліцевого з'єднання та навести умовні позначення шліцевих поверхонь для з'єднань і окремих деталей.

Приклад. Задано прямобічне шліцеве з'єднання, рухоме середньої точності, з центруванням за допомогою поверхонь великого діаметра, легкої серії, з номінальним діаметром 50 мм, кількістю шліців 8.

Розв'язання. За стандартом [8] знаходимо основні розміри шліцевого з'єднання легкої серії $Z \cdot D_2 \cdot D_1 = 8 \cdot 46 \cdot 50$, $d_2 = 44,6$ мм і $b = 9$ мм. До середньої точності належать 8–10 квалітети точності, тому для робочих поверхонь центрувального великого діаметра добираємо поля допусків $H9$ і $f8$. Для розмірів ширини пазів і товщини шліців добираємо поля допусків, які гарантують рухомість з'єднання, наприклад, з основними відхиленнями відповідно для ширини пазів і товщини шліців $f10$ і $D10$. Решта розмірів можуть бути виконані з низькою точністю, за яку приймають

Таблиця 1.6.1

**Вихідні дані для індивідуальних завдань за передостанньою цифрою
номера залікової книжки**

Параметр з'єднання	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Профіль шліців	прямобічний		евольвентний			прямобічний		евольвентний		
Спосіб центрування	великий діаметр			малий діаметр			ширина пазів (шліців)			
Назва серії	середня			—			важка		—	
Номінальний великий діаметр, мм	20	42	72	20	30	35	40	60	40	45
Кількість шліців	6	8	8	8	10	12	10	16	14	28

Таблиця 1.6.2

**Вихідні дані для індивідуальних завдань за передостанньою цифрою
номера залікової книжки**

Параметр з'єднання	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Характер з'єднання	рухоме			нерухоме			змішане			
Точність	низька			висока			середня		висока	

11–17 квалітети точності. Прийємо для малого діаметра отвору допуск $H12$, а для вала — $a11$. Всі дібрані поля допусків перевіряємо відповідно до вимог стандарту "Рекомендовані до використання допуски розмірів" [8;14]. У разі невідповідності приймають найближчі до дібраного та рекомендовані стандартом поля допусків.

Умовні позначення поверхонь дібраного шліцевого з'єднання такі:

$D_1(d_1) - 8 \cdot 46 \frac{H12}{a11} \cdot 50 \frac{H9}{f8} \cdot 9 \frac{D10}{f10}$ — ГОСТ 1139–80 — для шліцевого з'єднання,

$D_1 - 8 - 46H12 \times 50H9 \times 9D10$ — ГОСТ 1139–80 — для втулки,

$d_1 - 8 - 46a11 \times 50f8 \times 9f10$ — ГОСТ 1139–80 — для вала.

1.6.4. Взаємозамінність різбових з'єднань

Різбові з'єднання широко застосовуються у машинобудуванні. У деяких виробках половина деталей має різбові поверхні. За призначенням і виконуваними функціями різьби поділяють на кріпильні, кінематичні, вимірювальні, ущільнювальні, трубні, арматурні; за формою поверхонь, на яких нанесена різьба, — на метричні, дюймові, трапеційні, упорні, круглі, прямокутні тощо.

Вимоги до точності параметрів різбових з'єднань ставлять залежно від їх призначення. Наприклад, до кінематичних, вимірювальних, ущільнювальних різбових з'єднань висувають високі вимоги до точності їх основних параметрів; до кріпильних різбових з'єднань вимоги до їх точності значно нижчі, однак високі вимоги до їх міцності, а до кінематичних різбових з'єднань, призначених для переміщення робочих органів і механізмів обробних верстатів, високі вимоги висувають як до точності, так і до їх міцності.

Різбові з'єднання мають чимало параметрів, високі вимоги до яких водночас забезпечити практично неможливо, особливо в умовах серійного та масового виробництва. Тому, як і для інших виробів складної конструкції, у різбових з'єднаннях залежно від поля допусків призначення добирають основні параметри, а для них задані їх поверхонь і точність розмірів. Оскільки правила забезпечення взаємозамінності для різних різбових з'єднань подібні, то розглянемо це на прикладі тільки метричних різбових з'єднань.

До параметрів метричних різбових з'єднань належать великий, середній та малий діаметри, крок, правий та лівий кути профілю різьби. Такий параметр, як кількість заходів різьби, практичного значення для взаємозамінності не має.

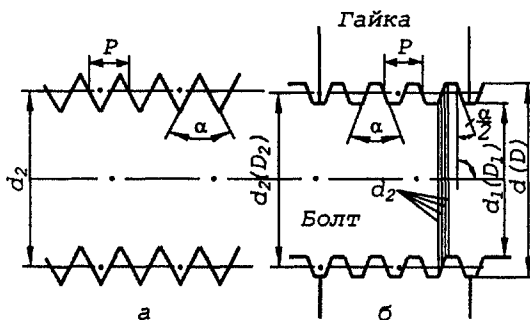


Рис. 1.6.5.

На профілю метричної різьби (рис. 1.6.5), зазначені всі основні параметри, а спосіб утворення теоретичного профілю метричної різьби шляхом усунення частини гострих кутів трикутного профілю зображений на рис. 1.6.6, *а*. Як видно з рис. 1.6.6, *б*, номінальний діаметр різьби є великим її діаметром. Значення всіх діаметрів різьби, які є функцією висоти теоретичного трикутного профілю, регламентовані відповідними стандартами. Середній діаметр D_2 , d_2 профілю різьбового з'єднання — це відстань між протилежними відносно осі симетрії різьбового з'єднання твірними різьбової поверхні з правого та лівого боку.

Крок різьби P є відстанню між двома сусідніми паралельними твірними кожного витка різьби. Для багатозахідних різьб застосовують ще термін *хід різьби*, що є добутком кількості заходів n на *крок* кожного одного витка різьби P .

Кут профілю різьби є сумою правої та лівої частин кутів її профілю, які відповідно є кутами між правою та лівою твірними різьбових поверхонь та перпендикулярною лінією до осі симетрії різьбового профілю.

Зовнішній (великий) діаметр різьбового з'єднання служить за номінальний її розмір, а середній діаметр є основним її параметром, який забезпечує точність і взаємозамінність різьбового з'єднання. Поверхні гайки та болта, що мають зовнішній (великий) та внутрішній (малий) діаметри, практично між собою не контактують. Між ними здебільшого є значні проміжки для мастильних матеріалів.

Ряди основних відхилень діаметрів для різьбових з'єднань, регламентовані відповідними стандартами, позначають літерами латинського алфавіту (великими для основних відхилень гайок, а малими — для основних відхилень болтів). Наприклад, для утворення рухомих різьбових з'єднань для гайок згідно з ГОСТ

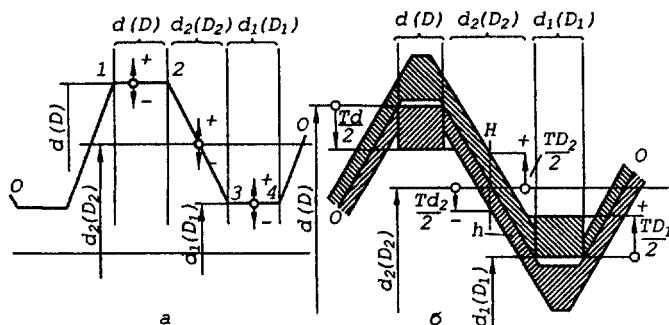


Рис. 1.6.6.

16093–81 встановлено чотири основні відхилення H , G , F і E , а для болтів — п'ять h , g , f , e і d ; для утворення змішаних з'єднань за ГОСТ 24834–81 для гайок рекомендовано основне відхилення H , а для болтів — чотири основні відхилення jh , j , jk і m ; а для утворення нерухомих різьбових з'єднань за ГОСТ 4608–81 — відповідно основні відхилення для гайок H і для болтів n , p і r .

Для різьбових з'єднань стандарти визначають ступені точності від 1 до 10, у порядку зменшення їх точності. З метою уніфікації різьб стандарти подають рекомендовані для використання поля допусків (класи точності) різних діаметрів гайок і болтів.

Поля допусків для різьбових поверхонь визначені залежно від розмірів діаметрів за допомогою основних відхилень і ступенів точності. Оскільки номінальний (нульовий) профіль різьбового з'єднання є ламаною лінією, то й поля допусків мають таку ж форму. Профіль різьби та межі полів допусків для всіх трьох діаметрів зображені на рис. 1.6.7. Відхилення розмірів кроку різьби, кутів нахилу лівої та правої різьбових поверхонь до прямої відносно осі симетрії різьби лінії не зображені, оскільки стандартами вони не регламентовані. Для визначення заданої точності різьби гайки

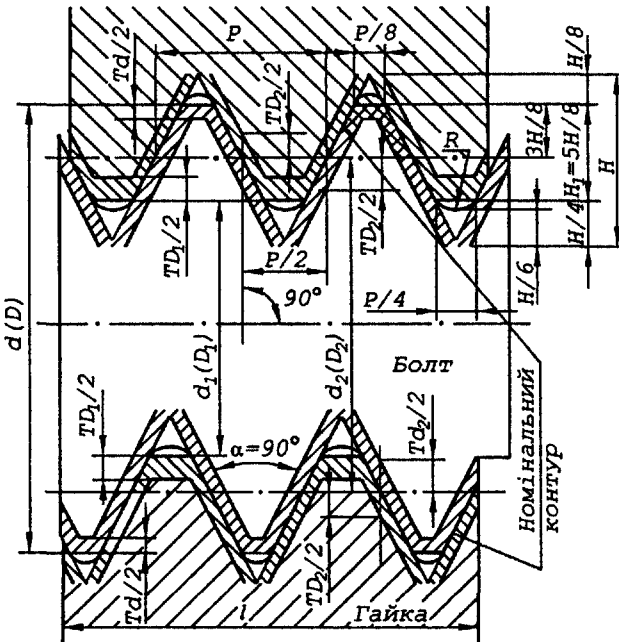


Рис. 1.6.7.

чи болта за допускні відхилення кутових розмірів і кроку приймають такі, які забезпечують знаходження дійсного профілю різьб болта та гайки у межах полів допусків для розмірів середніх діаметрів різьб.

Для кількісної оцінки точності різьб, які мають відхилення розмірів середнього діаметра, кроку і кутів профілю введено поняття діаметральної компенсації похибок кроку і половин кутів профілю та *зведених розмірів середніх діаметрів різьби гайки та болта*

$$D_{2зв} = D_{2в} - f_p - f_\alpha \quad \text{— для гайки,} \quad (1.6.1)$$

$$d_{2зв} = d_{2в} + f_p + f_\alpha \quad \text{— для болта,} \quad (1.6.2)$$

де $D_{2зв}$ і $d_{2зв}$ — розміри зведених діаметрів різьби відповідно гайки та болта, мм; $D_{2в}$ і $d_{2в}$ — істинні чи виміряні розміри середніх діаметрів різьби відповідно гайки та болта, мм; f_p і f_α — так звані діаметральні компенсації похибок (найбільших відхилень від номінальних розмірів відповідно кроку та половини кута профілю).

У довідковій літературі [21, 23] наведені формули для точного чи наближеного визначення діаметральних компенсацій похибок, отримані за допомогою тригонометричних розрахунків. Серед них такі:

для метричної різьби

$$f_p = \Delta p \operatorname{ctg} \alpha / 2 = 1,732 P; \quad (1.6.3)$$

$$f_\alpha = 0,29 P \Delta \alpha / 2 \cdot 10^{-3}; \quad (1.6.4)$$

для трубної різьби з $\alpha = 55^\circ$

$$f_p = 1,921 \Delta P; \quad (1.6.5)$$

$$f_\alpha = 0,35 P \Delta \alpha / 2 \cdot 10^{-3}; \quad (1.6.6)$$

для трапеційної різьби з $\alpha = 30^\circ$

$$f_p = 3,732 \Delta P; \quad (1.6.7)$$

$$f_\alpha = 0,582 P \Delta \alpha / 2 \cdot 10^{-3}; \quad (1.6.8)$$

для упорної різьби з $\beta = 30^\circ$ і $\gamma = 3^\circ$;

$$f_p = 3,175 \Delta P; \quad (1.6.9)$$

$$f_\alpha = 0,4 P (\Delta \beta + 0,75 \Delta \gamma) \cdot 10^{-3}, \quad (1.6.10)$$

де f_p і f_α — діаметральні компенсації похибок відповідно кроку та кута профілю різьби, мм; Δp — абсолютна величина похибки кро-

ку, мм; P — крок різьби, мм; $\Delta\alpha/2$, $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$ — абсолютні величини похибок відповідно кутів α , β і γ , кутових мінут.

Отже, допуски розмірів середніх діаметрів різьб гайки та болта є сумою похибок самих розмірів середніх діаметрів і діаметральних компенсацій похибок кроків і кутів профілю різьби, тобто

$$TD(Td) = \Delta D(\Delta d) + f_p + f_a, \quad (1.6.11)$$

де $TD(Td)$ — допуски розмірів середніх діаметрів різьб відповідно гайки та болта, мм; $\Delta D(\Delta d)$ — похибки розмірів середнього діаметра цих різьб, мм.

Умовні позначення розмірів і точності різьб на кресленнях дещо відрізняються від умовних позначень лінійних розмірів. Оскільки числові значення основних відхилень і допусків для діаметрів гайок і болтів відрізняються від аналогічних відхилень і допусків лінійних розмірів, то в умовних позначеннях розмірів різьб основні відхилення ставлять не перед, а після номера ступеня точності. Наприклад, різьбове з'єднання для метричної різьби з номінальним діаметром 12мм, кроком різьби 0,75 мм, з основними відхиленнями для всіх трьох діаметрів різьби гайки та болта відповідно H і g , ступенями точності для гайки 7 і для болта 6 позначають як $M12 \times 0,75 - 7H/6g$, а відповідно різьбу гайки як $M12 \times 0,75 - 7H$ і болта як $M12 \times 0,75 - 6g$. Для різьб з найбільшими кроками, передбаченими стандартами, в умовних позначеннях розмір кроку не вказують.

Стандарти регламентують також норми точності форми поверхонь різьбових виробів за допомогою так званої *довжини згвинчування*. Наведено по три значення довжин згвинчування для кожного з розмірів різьбових поверхонь. Задану довжину згвинчування зазначають в умовному позначенні різьби. Наприклад, $M12 \times 0,75 - 7H/6g - 20L$. Цифрою 20 позначено найменшу допускну довжину згвинчування, а літерою L — лівий напрямок нарізання різьби. Відсутність перелічених позначень означає, що різьба має правий напрямок нарізання, а довжина її згвинчування має бути середньою за стандартом. За довжиною згвинчування визначають найменшу довжину прохідного різьбового калібру.

Завдання для самостійної роботи

Для заданих у таблицях 1.6.3 і 1.6.4 вихідних даних відповідно до позначень параметрів з'єднання з метричною однозахідною різьбою визначити всі основні розміри, дібрати припасування та навести умовні позначення різьбових поверхонь для з'єднань й окремих деталей.

Таблиця 1.6.3

Вихідні дані для індивідуальних завдань за передостанньою цифрою
номера залікової книжки

Параметр з'єднання	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Крок різьби	малий		великий		малий		великий		малий	
Значення кроку, мм	1	1,25	2,0	4,0	1,5	2,0	5,0	6,0	3,0	4,0

Таблиця 1.6.4

Вихідні дані для індивідуальних завдань за останньою цифрою
номера залікової книжки

Параметр з'єднання	Варіант										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
Призначення різьби	кріпильна				кінематична			вимірювальна			
Характер з'єднання	рухоме		нерухоме		змішане		рухоме		змішане		рухоме

Приклад. Задано різьбове з'єднання з малим кроком $P = 0,75$ мм, з кінематичною різьбою, зі змішаним характером з'єднання.

Розв'язання. За стандартом [8] для 1 ряду знаходимо розмір номінального діаметра, який для кроку $P = 0,75$ мм може мати значення від 6 до 30 мм. Враховуючи, що кінематична різьбова поверхня вимагає достатньо високої міцності та точності, приймаємо для розрахунків діаметр 16 мм. Відповідно до стандартів [8] знаходимо значення інших діаметрів різьби. Середній діаметр

$$d_2(D_2) = d(D) - 1 + 0,513 = 16 - 1 + 0,513 = 15,513 \text{ мм,}$$

малий діаметр

$$d_1(D_1) = d(D) - 1 + 0,188 = 16 - 1 + 0,188 = 15,188 \text{ мм.}$$

Поля допусків можна визначити за стандартами [8] або за рекомендаціями розділу 1.6.4, у якому для різьбових поверхонь гайок рекомендовано основне відхилення H , а для гвинтів (болтів) — основні відхилення jh , j , jk і t . Пам'ятаємо, що різьбове з'єднання визначене умовами завдання як кінематичне, тобто рухоме і добираємо для різьби болта відхилення з найменшим натягом шостого ступеня точності. Тоді поля допусків різьбового з'єднання

будуть $\frac{6H}{6jh}$. Користуючись стандартами [2], знаходимо відхилення:

$6H_0^{(+0,190)}$ — для малого діаметра гайки D_1 ,

$6H_0^{(+0,140)}$ — середнього діаметра гайки D_2 ,

$6jh_{(-0,130)}^{(-0,040)}$ — номінального діаметра гвинта d_1 ,

$6jh_{(-0,146)}^{(-0,040)}$ — середнього діаметра гвинта d_2 .

Умовні позначення різьбових поверхонь такі:

$M16 \times 0,75 - \frac{6H}{6jh}$ — для з'єднання, $M16 \times 0,75 - 6H$ — для

гайки та $M16 \times 0,75 - 6jh$ — для гвинта.

Контрольні запитання

1. Які вироби називають складними?
2. Перелічіть деталі, які з'єднують одночасно за допомогою кількох поверхонь.
3. За допомогою яких параметрів забезпечують взаємозамінність шпонкових з'єднань?
4. Як добирають поля допусків для розмірів поверхонь шпонкових з'єднань?
5. Перелічіть способи центрування шліцьових з'єднань, назвіть їх особливості.
6. Які поля допусків добирають для параметрів шліцьових з'єднань?
7. Чим відрізняються умовні позначення прямобічних та евольвентних шліцьових поверхонь з'єднань та окремих деталей?
8. За допомогою яких параметрів забезпечують взаємозамінність різьбових з'єднань?
9. Які основні відхилення та ступені точності визначені для різьбових поверхонь?
10. Поясніть умовні позначення різьбових поверхонь на кресленнях.
11. Що таке зведений середній діаметр різьбової поверхні?
12. На які параметри різьбової поверхні деталей у стандартах немає відхилень і чому?

Взаємозамінність зубчастих коліс і передач

1.7.1. Загальні положення

Зубчасті колеса та передачі широко застосовуються у машинобудуванні. Вони служать для передавання сил і крутних моментів, перетворення частоти обертання та напрямку руху, лінійного руху в обертовий та навпаки тощо.

За призначенням зубчасті передачі поділяють на кінематичні, вимірювальні, силові, загального, спеціального призначення; за формою робочих поверхонь зубчастих коліс — на циліндричні, конічні, гвинтові, шнекові, гіпоїдні, рейкові; за напрямком зубів — на прямо-, косозубі, шевронні; за профілем зубів — на евольвентні, циклоїдні, колові; за розміщенням зубів на колесі — на колеса зі зовнішнім і внутрішнім зчепленням.

За швидкістю обертання зубчасті передачі бувають тихохідними та швидкісними. Наприклад, колова швидкість обертання зубчастих коліс турбінних редукторів може досягати 100 м/с, а потужність, що передається ними — 50 Мвт. Зубчасті передачі засобів вимірювання призначені для передавання мізерних навантажень, але вимоги до їх точності дуже високі. До тихохідних належать також зубчасті передачі редукторів транспортерів, ескалаторів, для яких значними є силові навантаження та низькі вимоги до їх точності. Поширені у техніці також реверсивні зубчасті передачі, окремою вимогою до яких є відсутність проміжків тощо.

Велике розмаїття зубчастих коліс і передач ставить до них різні вимоги, які можуть бути несумісними. Тому уніфікація та стандартизація параметрів, методів і засобів їх вимірювання та контролю — це складне й актуальне завдання.

1.7.2. Система уніфікації параметрів зубчастих коліс і передач

Практично для більшості типів зубчастих коліс і передач їх основні параметри уніфіковані. Розглянемо тільки систему стандартизованих параметрів циліндричних зубчастих коліс з евольвентним профілем зубів, зовнішнього та внутрішнього зчеплення, з прямими, косозубими та шевронними колесами. Ці передачі відрізняються простотою їх проектування, технологічністю виготовлення та високою якістю роботи.

Простота проектування полягає у тому, що для розроблення конструкції зубчастого колеса чи передачі достатньо дібрати за силовим навантаженням модуль та довжину зуба, а за коловою чи

лінійною швидкістю — коефіцієнт її перетворення. Розраховують і добирають решту параметрів за поданими у довідковій літературі [2, 8] рекомендаціями.

Незважаючи на складність форми профілю зуба (за спіраллю Архімеда), для виготовлення зубчастого колеса достатньо встановити та закріпити за допомогою поверхні базового отвору циліндричну заготованку на оправку зубонарізного верстата, встановити дібраний стандартний різальний інструмент (модульну фрезу, довбанку чи рейку) на заданий розмір і ввімкнути верстат. В автоматичному режимі роботи отримують практично готові колеса, які за потреби відправляють ще на термічне та кінцеве оброблення для отримання заданої якості робочих поверхонь зубів.

Евольвентний профіль зубів забезпечує плавний коефіцієнт перетворення руху від одного до іншого зубчастого, шнекового колеса, чи рейки. Це зумовлює забезпечення заданої точності параметрів зубчастих передач і плавність їх роботи, що має вагоме значення для прецизійних, вимірювальних та високошвидкісних механізмів.

Визначаючи параметри зубчастого колеса чи передачі, виходять з того, що вони є основними ланками у складних виробках (редукторах, коробках швидкостей, диференційних передачах, механізмах перетворення рухів), і визначають якість, надійність та довговічність їх роботи.

Похибки зубчастих передач розглядають як відхилення руху зубчастих коліс заданої передачі від закону відносного руху коліс ідеально точної передачі

$$F(\varphi) = f(\varphi) - f_0(\varphi), \quad (1.7.1)$$

де $F(\varphi)$ — функція кінематичної похибки реальної зубчастої передачі; φ — координата, що визначає миттєве положення тягового зубчастого колеса чи передачі; $f(\varphi)$ і $f_0(\varphi)$ — закони відносного руху зубчастих коліс відповідно істинної та ідеальної передач. Для аналізу функцій кінематичної похибки зубчастого колеса чи передачі використовують ряди Фур'є, представляючи функцію кінематичної похибки зубчастого колеса у вигляді

$$F(\varphi) = \sum_{n=1}^5 c_n \sin(k\varphi + \varphi_n), \quad (1.7.2)$$

де c_n і φ_n — амплітуда та фазовий кут синусоїдальної складової похибки, що характеризує взаємне розміщення похибок; φ — біжуче значення кута повороту зубчастого колеса; n — порядковий номер гармонік, який приймають для кінематичних похибок $n = 5$. Формула (1.7.2) не містить нульового члена функції, оскільки стала складова похибки не впливає на її характер.

Стандарти (ГОСТ 1643–81 і ГОСТ 9178–81) регламентують норми взаємозамінності зубчастих коліс і передач з діаметром ділильного кола до 6300 мм, модулем зубів від 0,1 до 55 мм та шириною зубчастого вінця чи напівшеврона до 1250 мм. За стандартами визначено 12 ступенів точності зубчастих коліс і передач, які позначають у порядку зменшення точності як 1; 2;...; 12. Для кожного ступеня точності встановлені норми граничних відхилень і допусків параметрів, що визначають кінематичну точність, плавність роботи та якість контакту зубів для окремих зубчастих передач і коліс.

Наведені у стандартах (ГОСТ 1643–81; ГОСТ 9178–81) норми граничних відхилень параметрів, як і ступені точності зубчастих коліс і передач, можуть визначатися незалежно одна від одної для заданого зубчастого колеса чи передачі, що дає змогу виготовляти їх із певними характеристиками відповідно до їх експлуатаційного призначення. Наприклад, для коліс кінематичних передач, для яких вимоги до кінематичної точності вищі, ніж вимоги до плавності їх роботи чи якості контакту зубів, або, навпаки, зазначені норми можуть бути встановлені за відповідними до цих вимог ступенями точності. Але, оскільки параметри зубчастих коліс і передач є здебільшого геометричними і між ними існує взаємний зв'язок, то дібрані ступені точності для допускних відхилень різних параметрів не мають відрізнятися між собою більше ніж на 1–2 ступені точності.

Окрім точності зубчастих коліс і передач для виконання ними експлуатаційних функцій, забезпечення надійності та довговічності їх роботи, усунення можливого заклинювання зубів їх товщина має бути завжди меншою від ширини пазів між ними. Це забезпечує розміщення мастил між поверхнями зубів. Проміжок, що утворюється між поверхнями зубів і пазів з'єднаних коліс згідно з ГОСТ 1643–81 і ГОСТ 9178–81 називають бічним зазором. Залежно від його значення розрізняють шість, а для зубчастих коліс з відносно малими модулями — п'ять видів зубчастих з'єднань, які позначають великими літерами латинського алфавіту *H, E, D, C, B* і *A* чи *H, G, F, E* і *D* — для зубчастих коліс з малими модулями.

Для кожного із видів зубчастих з'єднань у стандартах встановлено значення різниці ширини пазів і товщини зубів робочих коліс, які позначають j_n . Значення цієї різниці розмірів очевидно залежить від видів з'єднань обох коліс, допусків на розміри ширини пазів, товщини зубів, а також міжосьової відстані між зубчастими колесами. Встановлено шість класів відхилень міжосьової відстані, що позначаються цифрами від I до VI у порядку зменшення точності. Стандарти регламентують для кожного виду з'єднань відповідні класи відхилень міжосьової відстані: для з'єднань *H* і *E* — II клас; для з'єднань *D, C, B* і *A* — III, IV і V класи

відповідно. За стандартами можна змінювати цю відповідність.

За стандартами встановлені такі види допусків для розміру j_n , які позначають малими літерами латинського алфавіту — x, y, z, a, b, c, d і h . Для з'єднань H і E рекомендують добирати вид допуску h , для з'єднань D, C, B і A — відповідно види допусків d, c, b і a . Види допусків z, y і x добирають для будь-яких з'єднань відповідно до вимог експлуатації.

У стандартах наведені означення та умовні позначення показників всіх трьох груп точності та параметрів зубчастих з'єднань. Вони згруповані у так звані *комплекси контрольованих параметрів*, які здебільшого мають один-два параметри. Під час добору цих параметрів керуються їх впливом на задані показники якості зубчастих коліс.

1.7.3. Параметри точності та види з'єднань зубчастих коліс і передач

У зв'язку з обмеженим обсягом книги нижче наведемо лише деякі означення нормованих згідно зі стандартами параметрів точності та видів з'єднань зубчастих коліс і передач і методи їх вимірювання. Група параметрів кінематичної точності характеризує узгодженість кутів повороту веденого та тяжного зубчастих коліс. Для забезпечення кінематичної точності встановлені норми, які обмежують кінематичні похибки як зубчастого з'єднання, так і окремого зубчастого колеса. Якщо контролюють кінематичну точність зубчастого з'єднання, то контролювати кінематичну точність окремих зубчастих коліс не обов'язково. Кінематичну точність зубчастого колеса характеризують похибки, що з'являються один раз на повному куті його повертання.

Найбільша кінематична похибка характеризує різницю між істинним і номінальним (розрахунковим чи теоретичним) значенням кутів повороту заданого зубчастого колеса на його робочій осі, веденого за допомогою еталонного зубчастого колеса відповідного модуля за умови заданого номінального розміщення їх осей обертання. Ці кутові похибки здебільшого визначають лінійними одиницями довжини ділильного кола заданого зубчастого колеса.

Розглянемо зубчасту передачу для визначення кінематичних похибок зубчастих коліс за допомогою повертання тяжного зубчастого колеса 1 на кут φ_1 та вимірювання кута повертання φ_2 досліджуваного веденого зубчастого колеса 2 (рис.1.7.1). Порівнюючи отримані значення кутів повертання φ_2 для різних значень кутів φ_1 за допомогою теоретичних значень кутів φ_3 визначають похибки кута повертання досліджуваного колеса

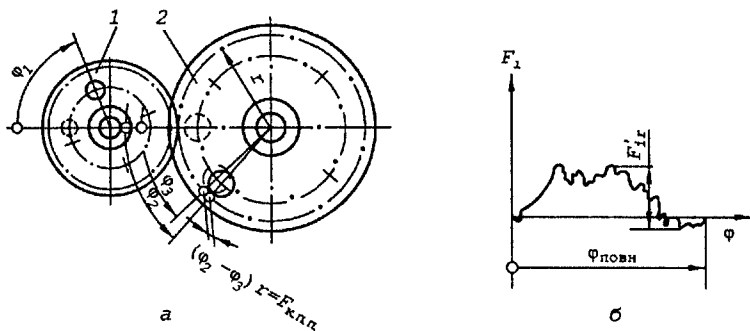


Рис. 1.7.1.

$$F'_{кр} = (\varphi_2 - \varphi_3) < [F'_i]_{\text{доп}}, \quad (1.7.3)$$

де $F'_{кр}$ — кінематична похибка досліджуваного зубчастого колеса за довжиною дуги ділительного кола для кута φ_2 , мм; φ_2 та φ_3 — розміри істинного та теоретичного кутів повертання досліджуваного зубчастого колеса, що відповідають куту повертання еталонного зубчастого колеса на кут φ_1 , мм; r — радіус ділительного кола досліджуваного колеса, мм. За отриманими значеннями будують криву чи складають відповідну таблицю значень кінематичної похибки для повертання досліджуваного зубчастого колеса на кут 360° (рис. 1.7.1, б).

Найбільшу похибку у межах обертання досліджуваного колеса $F'_{кр, \max}$ називають *найбільшою кінематичною похибкою зубчастого колеса*, яка має бути меншою від заданого на кресленні зубчастого колеса допуску $[F'_i]_{\text{доп}}$. Граничні значення цієї похибки безпосередньо у стандартах не подані. Їх визначають як суму наведених у стандартах допусків накопиченої похибки кроку $[F'_p]_{\text{доп}}$ зубчастого колеса та похибки кроку зубів $[f'_f]_{\text{доп}}$, який знаходять за заданими нормами плавності роботи колеса як

$$[F'_i]_{\text{доп}} = [F'_p]_{\text{доп}} + [f'_f]_{\text{доп}}, \quad (1.7.4)$$

де $[F'_i]_{\text{доп}}$; $[F'_p]_{\text{доп}}$; $[f'_f]_{\text{доп}}$ — допуски відповідно кінематичної, накопиченої похибки кроку та похибки профілю зуба, мм. Згідно з стандартами можна нормувати найбільшу кінематичну похибку зубчастого колеса для заданої кількості його кроків замість повного його кута повертання.

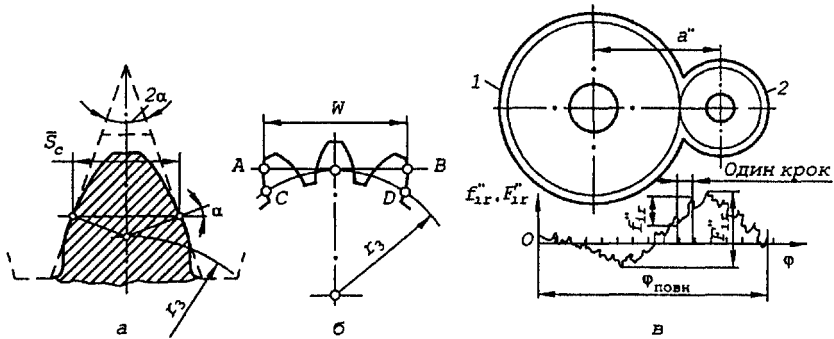


Рис. 1.7.2.

Довжиною спільної нормалі зубчастого колеса називають відстань між двома паралельними площинами, дотичними до двох різнобічних активних бічних поверхонь А і В зубів (рис. 1.7.3). Коливанням довжини спільної нормалі f_{vw} називають різницю між найбільшою та найменшою істинними довжинами спільної нормалі для цілого зубчастого колеса, тобто

$$F_{vw} = W_{\text{наиб}} - W_{\text{наим}} < [F_{vw}]_{\text{доп}} \quad (1.7.5)$$

де F_{vw} і $[F_{vw}]_{\text{доп}}$ — найбільше для зубчастого колеса коливання довжини спільної нормалі та допуск цього коливання, визначений стандартом. Залежно від заданої точності довжину спільної нормалі вимірюють за допомогою штангенциркуля, спеціального мікрометра, індикаторного нормалеміра тощо. Аналогічно визначають похибки і для зубчастих передач (двох і більше зубчастих коліс), керуючись щоразу визначеннями, поданими у відповідних стандартах.

Плавність роботи зубчастих коліс і з'єднань характеризують параметрами, похибки яких багатократно повторюються на повному куті повертання досліджуваного зубчастого колеса. Вони залежать від похибок, що циклічно повторюються та становлять частину кінематичної похибки, що є сумою гармонійних складових, амплітуда та частота яких залежать від характеру складових похибок. До похибок плавності роботи зубчастих коліс належать циклічні похибки з частотою, зумовленою кроком зубів (рис. 1.7.3). Такі похибки властиві прямозубим зубчастим колесам і часто є причиною поломок зубів.

Місцеві кінематичні похибки зубчастого колеса f'_{ior} і передачі f'_{ior} визначають як найбільшу різницю між сусідніми екстремальними (найбільшим і найменшим) значеннями найбільшої кінема-

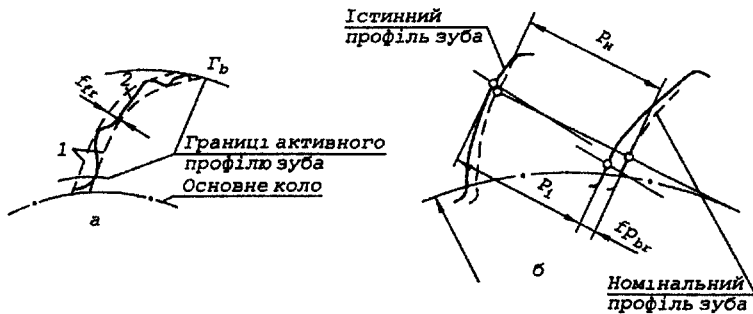


Рис. 1.7.3.

тичної похибки на повному куті обертання зубчастого колеса. Вони мають бути меншими, ніж відповідні допускні величини, визначені у стандартах як сума похибок кроку та профілю зуба

$$[f'_i]_{\text{доп}} = [f'_{pi}]_{\text{доп}} + [f'_j]_{\text{доп}}, \quad (1.7.6)$$

де $[f'_i]_{\text{доп}}$ і $[f'_{pi}]_{\text{доп}}$ — допуски відповідно місцевої кінематичної похибки та абсолютного значення відхилень (похибки) кутового кроку $\pm f_{pi}$, мм.

Одним із показників плавності роботи є відхилення кроків зубчастого колеса, які регламентовані у стандартах як верхнє та нижнє відхилення кроку $\pm f_{pi}$ (кутового) та $+f_{pb}$ (основного) зчеплення вздовж лінії.

Абсолютні значення цих кроків визначають як

$$[f_{pb}] = [f_{pi}] \cos \alpha \approx 0,94 f_{pi}, \quad (1.7.7)$$

де $[f_{pb}]$; $[f_{pi}]$ — абсолютні значення відхилень кроків зубчастого колеса, відповідно основного, по лінії зчеплення, та кутового; α — кут зчеплення, °.

Похибка профілю зуба f_i — це відстань по нормалі між двома найближчими номінальними профілями зуба досліджуваного зубчастого колеса, між якими розміщений дійсний профіль зуба.

Якість контакту зубів у передачі нормують за допомогою *сумарної контактної плями*, якою називають частину активної бічної поверхні зуба, на якій залишаються сліди прилягання поверхні зубів парного зубчастого колеса після їх прокручування у навантаженому стані. Цю частину активної площі (плями) визначають у відсотках від бічної поверхні зуба чи її окремих розмірів (прямокутного та горизонтального).

Іншим параметром якості контакту зубів може бути *похибка напрямку зуба F_{pr}* , якою називають відстань по нормалі між дво-

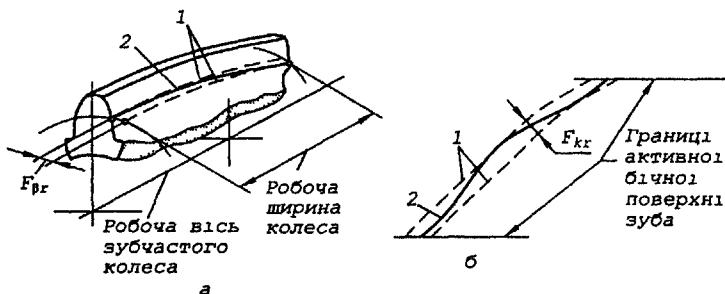


Рис. 1.7.4.

ма найближчими номінальними ділильними лініями, між якими розміщена істинна ділильна лінія (рис. 1.7.4).

Для усунення можливого заклинювання зубчастих передач під час їх роботи, забезпечення умов для розміщення мастила між їх робочими поверхнями й обмеження мертвого руху у зубчастих передачах реверсивних, відлікових і ділильних механізмів створюють заданий бічний проміжок між неробочими поверхнями зубів з'єднаних коліс. Цей проміжок також дає змогу компенсувати похибку виготовлення зубчастих коліс й поліпшити динамічні характеристики зубчастих передач. Стандартами визначено шість, а для дрібно модульних — п'ять видів з'єднань, позначених буквами *A, B, C, D, E* і *H*, які використовують відповідно за нормами плавності роботи для ступенів точності: 3–12, 3–11, 3–9, 3–8, 3–7 і 3–7. З'єднання виду *h* допускає найменший бічний проміжок, що дорівнює нулю, а з'єднання *B* — бічний проміжок, що гарантує відсутність заклинювання зубчастої передачі зі сталевого та чавунного коліс внаслідок нагрівання за умови різниці температури коліс і корпусу редуктора до 25° С. Параметри, які характеризують види з'єднань, визначають у перетині, прямовисному до напрямку зубів, як відстань між площинами, дотичними до поверхонь зубів (рис. 1.7.5).

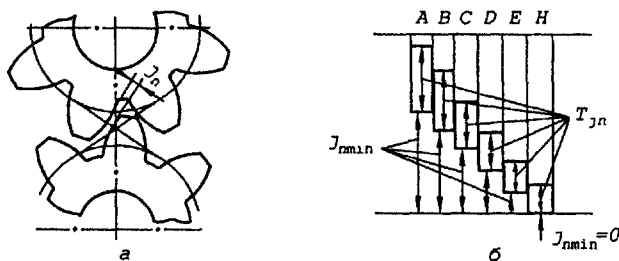


Рис. 1.7.5.

Похибки виготовлення зубчастих коліс регламентовані параметрами номінального положення вихідного контуру, за який приймають його положення на ідеальному (теоретичному) зубчастому колесі з номінальною товщиною зуба, що відповідає щільному зчепленню з обох боків. Наприклад, додаткове зміщення вихідного контуру $-E_{H_s}$ ($+E_{H_s}$ — для зубчастих коліс з внутрішнім зчепленням) від його номінального положення у тіло зуба дає змогу збільшувати j_n . Допуск на товщину зуба приймають залежно від допуску на радіальне биття F_r та виду з'єднання.

Параметрами, що характеризують вид з'єднань для деяких зубчастих коліс, можуть бути найменше зміщення вихідного контуру $-E_{H_s}$ ($+E_{H_s}$), найменше відхилення середньої довжини спільної нормалі E_{Wms} ($+E_{Wms}$), найменше відхилення товщини зуба $-E_{C_s}$ і граничне відхилення міжосьової відстані $E_{d's}$ ($E_{d'i}$).

Для зубчастих передач з нерегульованим розміщенням осей вид з'єднань забезпечують за допомогою граничних відхилень міжосьової відстані $\pm fa$, а з регульованим розміщенням — найменшого значення j_{nmin} , які залежать тільки від виду з'єднань. Середню довжину спільної нормалі визначають як середнє арифметичне значення довжин спільної нормалі для всіх зубів зубчастого колеса.

Визначені відповідні допуски для зміщення вихідного контуру T_H , середньої довжини спільної нормалі T_{WM} , довжини спільної нормалі T_w , товщини зуба по сталій хорді T_C та граничні відхилення міжосьової відстані: $+E_{d's}$ і $-E_{d'i}$. Зв'язок між зміщенням вихідного контуру та значенням j_{nmin} чи збільшенням товщини зуба по постійній хорді можна визначити з трикутників abc і dbc (рис.1.7.6) як

$$j_{nmin} = 2 E_{H_s} \sin \alpha; \quad (1.7.8)$$

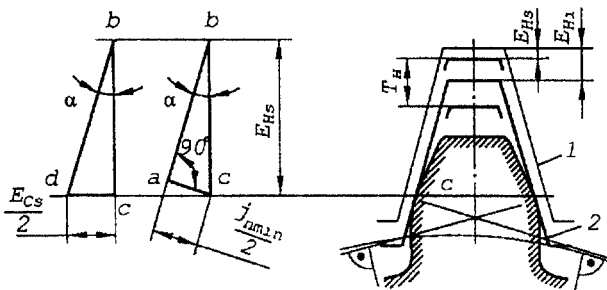


Рис. 1.7.6.

$$E_{Cs} = 2 E_{Hs} \operatorname{tg} \alpha . \quad (1.7.9)$$

Сумарна величина $j_{n_{o \min}}$ для зубчастої передачі з двох коліс така:

$$j_{n_{o \min}} = j_{n_1 \min} + j_{n_2 \min} = 2(E_{h_{s_1}} + E_{h_{s_2}}) \sin \alpha , \quad (1.7.10)$$

де $j_{n_{o \min}}$; $j_{n_1 \min}$; і $j_{n_2 \min}$ — найменші значення відповідно для передачі першого та другого зубчастих коліс, мм; $E_{H_{s_1}}$ і $E_{H_{s_2}}$ — значення найменших зміщень вихідного контуру відповідно для першого і другого зубчастих коліс, мм.

Найбільше значення $j_{n_{o \max}}$ для зубчастої передачі з двох коліс

$$j_{n_{o \max}} = j_{n_{o \min}} + T_{H_1} + T_{H_2} , \quad (1.7.11)$$

де T_{H_1} і T_{H_2} — допуски зміщення вихідного контуру відповідно для першого та другого зубчастих коліс, мм. Бічний проміжок у зубчастих передачах служить не тільки для розміщення у ньому мастила, але й для компенсації відхилень (похибок) міжосьової відстані, кроків чи напрямків зубів обох коліс.

1.7.4. Добір норм точності, видів з'єднань і позначення точності зубчастих коліс

Під час проектування зубчастих коліс спочатку згідно з їх експлуатаційним призначенням добирають ступені точності та рекомендовані параметри з усіх трьох груп точності (чи тільки тих, які мають вирішальне значення для заданих зубчастих коліс), визначають їх числові значення, а потім добирають вид з'єднання та параметри, що забезпечують їх реалізацію у процесі виготовлення. На рис. 1.7.7 зображена структурна схема забезпечення взаємозамінності зубчастих коліс і передач. Із зазначених на рисунку ступенів точності найточніші перші два (1 та 2) є резервними; 3 та 4 ступені точності застосовують для виготовлення еталонних, вимірювальних, прецизійних кінематичних і силових передач, наприклад, для зубооброблювальних верстатів, механізмів ділильних головок, поворотних столів, засобів вимірювання, регулювання тощо; 5–7 ступені точності — для зубчастих коліс автомобільних агрегатів, металорізальних верстатів, стрічкопротяжних механізмів рушіїв, ливарного та ковального устаткування; 8–10 ступені точності — для зубчастих передач конвеєрів, екскаваторів, землероблювальних машин; 11 та 12 — для транспортерів сипких матеріалів, вантажно-підіймальних механізмів тощо.

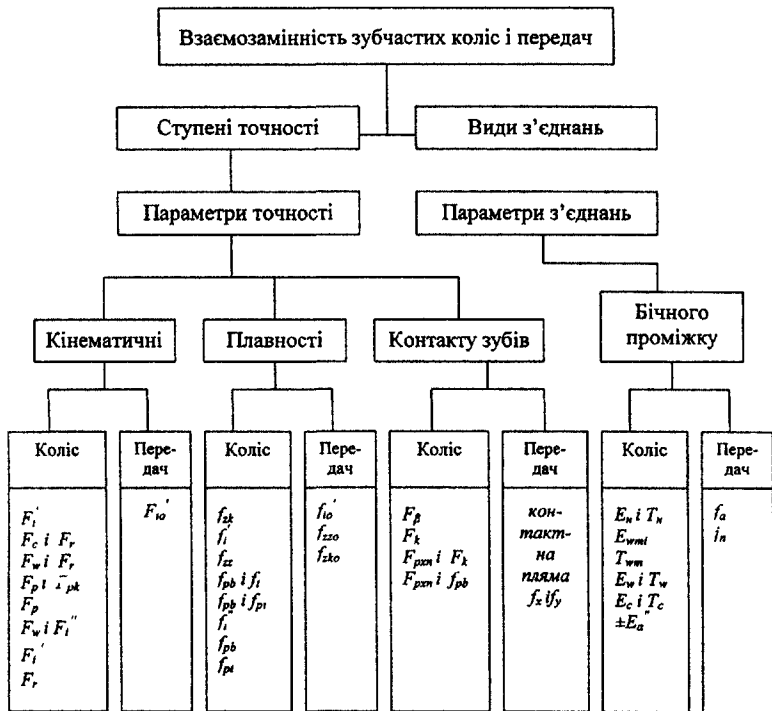


Рис. 1.7.7.

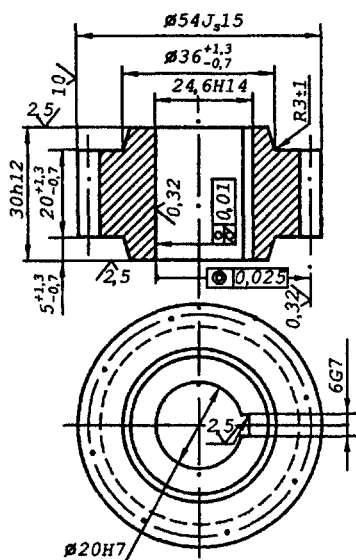
Види з'єднань добирають також залежно від експлуатаційних умов. Наприклад, з'єднання *H* і *E* рекомендують для кінематичних ненавантажених і реверсивних передач; *C* і *D* — для середньонавантажених передач з порівняно невеликими швидкостями руху, що потребують надійного змащення їх робочих поверхонь; *A* і *B* — для зубчастих коліс, які працюють з великими швидкостями руху в умовах значних навантажень, високої температури тощо.

За стандартами умовне позначення точності зубчастих коліс передбачає ступінь точності для показників усіх трьох груп, види з'єднання та допуску зубчастого колеса, які розділяють рисками. Наприклад, точність циліндричного зубчастого колеса 8 ступеня точності для показників кінематичної точності, 7 ступеня точності для показників плавності роботи, 6 ступеня точності для показників якості контакту зубів, з видами з'єднання *B* та допуску *b* позначають $8=7=6=B=b$ — ГОСТ 1643–81.

Для конкретизації виду параметрів якості зубчастого колеса та їх числових значень допускні відхилення назви та умовні по-

значення дібраних конструктором параметрів зазначають у робочих кресленнях чи ескізах, у нижній частині таблиці параметрів зубчастого колеса (вінця). Значення параметрів у кресленні є обов'язковими для виконання та контролю. Наприклад, з поданих у стандартах для зубчастих коліс і передач десяти показників (і комплексів) кінематичної точності у таблицю на кресленні достатньо занести тільки один, наприклад, найбільшу кінематичну похибку F_{rr} або комплекс похибок обкатування F_{cr} і радіального биття F_{rr} ; з одинадцяти показників плавності роботи — один, наприклад, місцеву кінематичну похибку f'_i чи комплекс похибок кроку f_{pb} та профілю зуба f_f ; із семи показників якості контакту зубів — один, наприклад, похибку напрямку зуба $F_{\rho r}$ чи значення найменшої плями контакту поверхонь зубів; зі

100 (✓)



Назва	Познач.	Кільк.	Прим.
Кількість зубів	Z	25	
Модуль	m	2,0	
Профіль	Евольв		
Точність	7-В-В		ГОСТ 1643-81
Дільний діаметр	D_0	50	
Кут нахилу зубів	β°	0	
Радіальне биття	F_r	0,038	
Копивання довжини спільної нормалі	F_{v_w}	0,090	
Відхилення кроків зчеплення	$\pm f_{pb}$	$\pm 0,015$	
Контактна пляма:			
по висоті зуба, %	-	45	
по довжині зуба, %	-	60	
Найменше зміщення вихідного контура	E_{n_s}	0,130	
Допуск зміщення вихідного контура	T_n	0,120	

Примітки: 1. Радіуси заокруглень $R \leq 0,5$.

2. Матеріал - штампована ковanka зі сталі 40ХН.

Рис. 1.7.8.

семи показників бічного проміжку — два, наприклад, найменше зміщення вихідного контуру E_{H_5} та допуск зміщення вихідного контуру T_H .

У креслення зубчастих коліс, призначених для неточних передач, допускається не вносити деякі показники, визнані конструктором необов'язковими для контролю їх під час виготовлення. Адже внесення у креслення будь-якого показника зумовлює певний та обов'язковий обсяг робіт з його вимірювання та контролю, що збільшує відповідно трудомісткість і вартість їх виготовлення. Однак повна відсутність таких показників може помилково сприйматися, як повна відсутність вимог до їх якості. Креслення циліндричного зубчастого колеса зображене на рис. 1.7.8.

Завдання для самостійної роботи

За вихідними даними табл. 1.7.1 і 1.7.2 визначити ступінь точності, вид з'єднання та допуск бічного проміжку, дібрати параметри для контролю точності та бічного проміжку й розробити креслення зубчастого циліндричного колеса, з евольвентним профілем зубів і зовнішнім зчепленням.

Таблиця 1.7.1

Вихідні дані для індивідуальних завдань за передостанньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Призначення зубчастого колеса	вимірювальні механізми		оброблювальні верстати		турбінні редуктори		автомобільні транспортери агрегати			
Вид зубчастого колеса	прямозубе		шевронне		косозубе		прямо-зубе	шев-ронне	прямо-зубе	шев-ронне
Швидкість обертання, c^{-1}	0,2 — 1		5 — 10		500 — 1000		50	100	10	20
Модуль, мм	0,5	1,0	2,5	4,0	20	30	2,5	3,5	8	10

Таблиця 1.7.2

Вихідні дані для індивідуальних завдань за останньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Кількість зубів, шт	25	28	30	34	38	40	46	50	52	54

Приклад. Задано: призначення зубчастого колеса — коробка швидкостей вантажного автомобіля, прямозубе, швидкість обертання 50 с^{-1} , кількість зубів $Z = 25$, модуль $2,5 \text{ мм}$.

Розв'язання. Згідно з рекомендаціями розділу 1.7.2 та призначенням зубчастого колеса встановлюємо 7 ступінь точності, вид з'єднання B та допуск з'єднання b . За параметри контролю точності зубчастого колеса згідно з рекомендаціями розділів 1.7.2 та 1.7.4, відповідно до комплексів контрольованих параметрів добираємо допуски радіального биття F_r , коливання довжини спільної нормалі F_{vw} , відхилень кроків зчеплення, допускну величину контактної плями по довжині та висоті зуба, а для бічного проміжку — найменше зміщення вихідного контуру E_H , та його допуск T_H .

Визначені за довідковою літературою [8] значення перелічених допусків і відхилень подаємо у робочому кресленні зубчастого колеса (рис. 1.7.8.)

1.7.5. Особливості взаємозамінності конічних зубчастих коліс і передач

Конічна передача складається з двох зубчастих коліс, осі обертання яких взаємно перпендикулярні і перетинаються у вершині ділительних конусів обидвох коліс. Особливості взаємозамінності зубчастих конічних коліс і передач пов'язані з відмінностями їх геометричної форми і функцій, які вони виконують. Конічні зубчасті передачі призначені здебільшого для передачі рухів між зубчастими колесами із взаємно перпендикулярними осями. Стандарти (ГОСТ 1758–81) регламентують 12 ступенів точності (1, 2 і 3 — резервні), шість видів з'єднань A, B, C, D, E і H ; допуски бічного проміжку стандартом не регламентовані.

Такі основні параметри зубчастих коліс і передач як модуль, ділительний діаметр, товщина зуба, довжина спільної нормалі, крок зубів для конічних зубчастих коліс є змінними величинами, що з віддаленням від точки перетину осей обертання зубчастих коліс (рис. 1.7.9) набувають більших значень. Тому всі параметри конічних зубчастих коліс, разом з параметрами точності, встановлюють для зовнішніх торцевих поверхонь, прямовисних до умовної конічної поверхні, в якій розміщені ділительні кола у всіх поперечних перетинах зубчастих коліс (рис. 1.7.9).

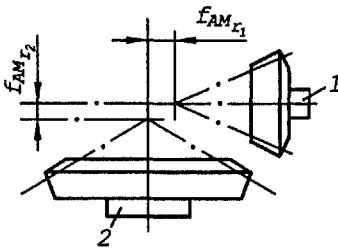


Рис. 1.7.9.

Додатковими, порівняно з циліндричними зубчастими колесами і передачами, показниками точності конічних коліс є осьове зміщення зубчастих вінців коліс $f_{AM,1}$ і $f_{AM,2}$, відхилення міжосьового кута зубчастих коліс за повний кут повороту навколо його осі $F_{i_{\Sigma o}}$; відхилення відносного положення зубчастої пари коліс за повний кут повороту навколо осі досліджуваного колеса F_{mo} , визначення яких подані у відповідних стандартах [2, 8]. Усі інші параметри точності, методи їх визначення, правила виконання креслень такі ж, як і для циліндричних зубчастих коліс і передач.

1.7.6. Особливості взаємозамінності черв'ячних зубчастих передач

Черв'ячна, яку в техніці часто називають шнекова, зубчаста передача за геометричною формою значно відрізняється від циліндричних і конічних зубчастих передач. Як видно з рис. 1.7.10, черв'ячна передача складається з черв'ячного зубчастого колеса та черв'яка, осі обертання яких взаємно перпендикулярні й не перетинаються. Черв'як представляє собою гвинтову різьбу одно-, чотири- чи багатозубу з відповідним профілем (переважно трапеційним і рівнобічним).

Відмінності черв'ячних передач від циліндричних і конічних зумовлені їх геометричною формою та виконуваними функціями. Стандартами (ГОСТ 3675-81) для черв'ячних передач встановлено дванадцять ступенів точності, чотири види з'єднань А, В, С і D, вісім видів допусків бічного проміжку a , b , c , d , h , x , y і z .

Оригінальними параметрами точності та виду з'єднань черв'ячної передачі є похибка гвинтової поверхні витка черв'яка f_{hs} , похибка гвинтової лінії у межах одного оберту черв'яка f_h і на всій його довжині f_{hk} , похибка профілю зуба черв'яка, відхилення між-

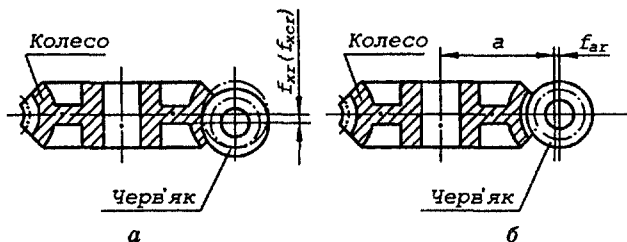


Рис. 1.7.10.

осьової відстані на одному зубі f_1'' , похибка профілю зуба зубчастого колеса, зміщення середньої площини у передачі f_{xr} (рис. 1.7.10, а), відхилення міжосьової відстані для передачі $f_{\Sigma r}$ (рис. 1.7.10, б) та відхилення міжосьового кута передачі f , означення яких наведені у стандартах [2, 8].

Усі інші показники та умовні позначення черв'ячних зубчастих коліс і передач на кресленнях та ескізах такі ж, як і для циліндричних.

Контрольні запитання

1. Класифікація зубчастих коліс.
2. Перелічіть групи параметрів точності зубчастих коліс.
3. Які знаєте ступені точності зубчастих коліс, де вони використовуються?
4. Перелічіть види з'єднань зубчастих коліс і передач.
5. Якими параметрами нормують точність і вид з'єднань зубчастих коліс і передач?
6. Як вимірюють параметри точності зубчастих коліс?
7. Поясніть позначення точності зубчастих коліс на кресленнях.
8. Які особливості взаємозамінності конічних зубчастих коліс?
9. Перелічіть параметри точності черв'ячних зубчастих передач.

Глава 1.8

Розмірні ланцюги лінійних розмірів

1.8.1. Класифікація розмірних ланцюгів

На кресленнях деяких заготовок, деталей, вузлів, машин відповідно до правил оформлення конструкторської документації проставляють не всі розміри, а тільки розміри основних поверхонь, їх взаємного розміщення, габаритні, монтажні тощо. Правилами заборонено замикати розмірні ланцюги, тому на кресленнях відсутні деякі розміри. Їх отримують, дотримуючись інших розмірів, які впливають на їх величину.

Розглянемо вал (див. рис. 1.3.1), для якого згідно з вимогами ЕСКД задано два лінійних та два діаметральних розміри. На кресленні відсутні лінійний розмір довжини елемента вала з діаметром $20_{+0,015}^{+0,036}$ і розмір уступу між поверхнями з більшим і меншим діаметрами. Але ці розміри можна отримати внаслідок оброблен-

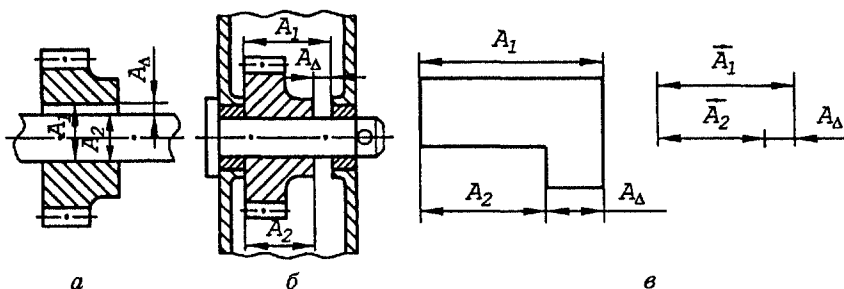


Рис. 1.8.1.

ня поверхонь 20 і 15 та лінійних розмірів $100 \pm 0,27$ і $15 \pm 0,2$, оскільки вал стане реальним виробом. Які дійсні значення матимуть відсутні на кресленнях розміри, залежить від істинних розмірів, зазначених на кресленні. Для заданого прикладу визначити відсутні розміри нескладно, оскільки вони є функціями тільки двох інших розмірів. Трапляються задачі, у яких відсутній на кресленні розмір залежить від багатьох інших розмірів. Особливо складними такі задачі можуть бути для складальних креслень (вузлів, агрегатів, приладів, машин), у яких розміри деяких деталей взагалі не зазначають. Ці розміри вказують тільки раз і здебільшого у детальних кресленнях.

Розв'язування перелічених задач є предметом аналізу розмірних ланцюгів, що дає змогу отримати потрібні методи, способи, рекомендації. Основні терміни, визначення, типи задач, методи та способи їх розв'язування регламентовані стандартами.

Розмірним ланцюгом називають сукупність розмірів, що утворюють замкнений контур (рис. 1.8.1). Залежно від об'єкта, якого стосуються вказані розміри замкненого контуру, бувають розмірні ланцюги окремих деталей (рис. 1.8.1 а і б), складаних виробів (рис. 1.8.1 в і г), технологічні, вимірвальні, конструкторські тощо. Якщо всі ланки (вектори) розмірного ланцюга паралельні між собою, такі ланцюги називають *плоскими*, а якщо вони направлені одна до одної під кутом, чи різними кутами, такі розмірні ланцюги називають *просторовими*. Розмірні ланцюги, складові ланки яких є лінійними розмірами, називають *лінійними*, а розмірні ланцюги з кутковими розмірами — *кутовими*.

Розмірні ланцюги складаються зі *скалярних*, *векторних* і *комбінованих* величин, а також залежно від наявності спільних двох і більше ланок для зв'язаних чи суміжних ланцюгів можуть бути *взаємозалежними* та *незалежними*.

У електротехніці аналізують ланцюги (кола) електричні, магнітні, резистивні, ємнісні, індуктивні. Усі розмірні ланцюги утво-

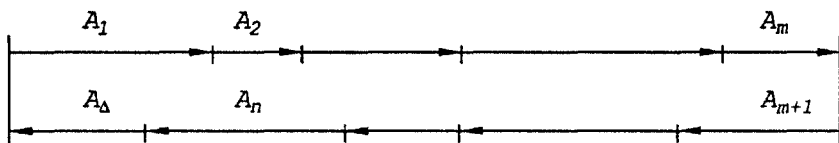


Рис. 1.8.2.

рені відомими ланками, які називають *складовими*, та однією невідомою — *замикальною*. Замикальну ланку отримують внаслідок оброблення складових ланок (розмірів). Складові ланки називають *збільшувальними*, якщо їх збільшення зумовлює відповідне збільшення замикальної ланки, та *зменшувальними*, якщо їх збільшення спричинює зменшення замикальної ланки.

Часто задають замикальну ланку, визначаючи залежно від неї значення всіх інших складових ланок. Тому в літературі [8] іноді замикальну ланку називають *вихідною*.

Беручи до уваги те, що розміри виробів є векторами, шляхом проектування усіх векторів (розмірів) заданого просторового ланцюга на напрямок одного з них чи будь-який інший напрямок просторовий ланцюг можна перетворити у лінійний. Нижче розглянемо методи та способи розв'язування задач з лінійними розмірними ланцюгами.

Розмірні ланцюги для визначення проміжків і натягів у гладких циліндричних з'єднаннях частково розглянуті у главах 1.8.3 і 1.8.4. На рис. 1.8.1, *а* зображені дві схеми розмірних ланцюгів для визначення проміжків гладкого циліндричного з'єднання і між поверхнями торця зубчастого колеса та стінки корпуса редуктора, а на рис. 1.8.1, *б* — умовні схеми зазначених розмірних ланцюгів, які мають по дві складові ланки та одну замикальну. Для подальших розрахунків розглянемо спрощену схему розмірного ланцюга, зображеного на рис. 1.8.2.

Згідно з чинними рекомендаціями НТД ланки кожного розмірного ланцюга позначають літерами латинського алфавіту з цифровими індексами. Для збільшувальних розмірів використовують вектори зі стрілками, поверненими вправо, а для зменшувальних і замикального розміру — без стрілки (чи поверненими вліво).

1.8.2. Задачі з розмірними ланцюгами та методи їх розв'язування

Розв'язування задач з розмірними ланцюгами завжди складається з двох етапів: спочатку виявляють ланки, що входять у розмірний ланцюг і складають його умовну схему, а потім, вра-

ховуючи умову задачі, розв'язують її за допомогою математичних методів. Перший етап роботи може бути складним і неоднозначним, особливо для багатоланкових просторових розмірних ланцюгів, до складу яких входять не тільки лінійні розміри деталей, а й значення проміжків, натягів, ексцентриситетів, відхилень форми, взаємного розміщення поверхонь тощо. Складальні розмірні ланцюги здебільшого є складнішими від детальних і отримують їх на підставі даних, взятих з багатьох робочих креслень (загального вигляду з усіма необхідними кресленнями вузлів і деталей).

Оцінюючи складність розмірного ланцюга, конструктор (технолог, вимірювальник) часто з метою спрощення відповідальних розмірних ланцюгів вносить зміни у конструкції складових частин чи у способи позначення їх розмірів.

Як приклад для пошуку розмірних ланцюгів на рис. 1.8.3 зображено загальний вигляд відносно простої конструкції зубчастого редуктора. Пошук ланок будь-якого розмірного ланцюга починають від замикальної ланки, задані розміри якої забезпечують за допомогою добору відповідних розмірів складальних ланок. Граничні значення розмірів замикальних ланок розраховують чи призначають відповідно до умов забезпечення якості виробу, тобто виконання ним встановлених функцій.

Як відомо, розмірний ланцюг є завжди замкненим колом, тому починаючи з будь-якого кінця розміру замикальної ланки послідовно шукають усі розміри, які впливають на її значення, поки не прийдуть до другого її кінця, тобто замкнуть коло розмірів. Наприклад, розмірний ланцюг із замикальною ланкою J_{Δ} (рис. 1.8.3) містить 12 ланок, а розмірний ланцюг із замикальною ланкою H_{Δ} складається з 6 ланок. Зазначені розмірні ланцюги, хоча й утворені багатьма ланками, однак пошук їх нескладний. Деяко складнішим є пошук розмірних ланцюгів для замикальних ланок, що забезпечують сходження ділительних конусів конічних зубчастих коліс у одній точці по трьох взаємно перпендикулярних координатах, зміщення вершин ділительних конусів обох конічних коліс f_{AMr} відносно осей їх обертання, перетину цих осей, відхилень кута між осями $\pm E_{\Sigma}$, відстані між осями циліндричних зубчастих коліс, їх паралельності f_x , перекошування f_v тощо. Перелічені розмірні ланцюги складаються як з лінійних, так і з кутових розмірів і є просторовими, тому спроектувавши всі ланки на заданий напрямок (переважно — напрямок замикальної ланки), їх зводять до лінійних розмірних ланцюгів.

Вимоги до точності замикальних ланок визначають: для конструкторських розмірних ланцюгів за функціональним призначен-

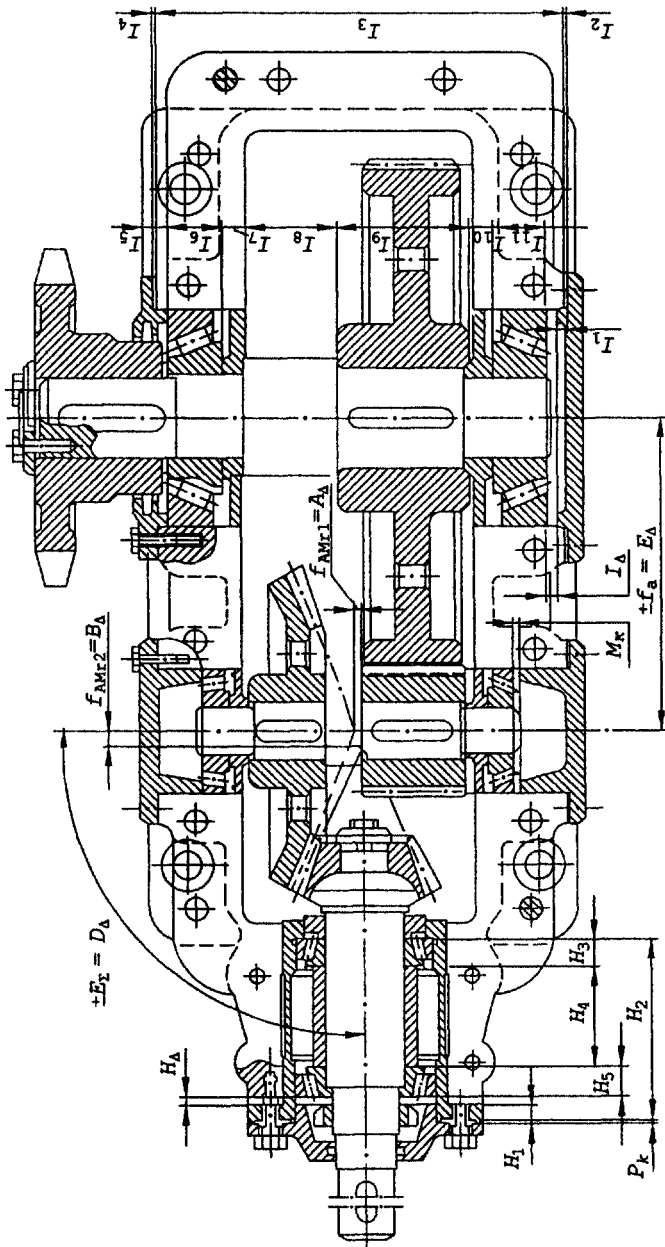


Рис. 1.8.3

ням виробів; для технологічних — за точністю технологічних операційних розмірів, а для вимірювальних — за заданою точністю вимірювання чи контролю.

Згідно зі стандартами розрізняють два типи задач: для задач першого типу за заданими значеннями складових ланок визначають замикальну, а для задач другого — за заданою замикальною визначають значення складових ланок. Ланку вважають заданою, якщо відомими є її номінальний розмір та обидва його відхилення (чи граничні розміри).

Обидві задачі розв'язують двома методами: повної та неповної взаємозамінності. *Метод повної взаємозамінності* передбачає такий зв'язок між ланками розмірного ланцюга, що забезпечує отримання значень замикальної ланки у заданих межах незалежно від значень складових ланок у межах їх допускних відхилень, тобто гарантує повну взаємозамінність деталей у складнішому виробі. *Метод неповної взаємозамінності* полягає у тому, що гарантованою є взаємозамінність тільки за умови виконання заданих додаткових умов. Наприклад, будь-який складний виріб може бути складеним тільки тоді, коли одна чи більше складових ланок матимуть лише встановлені розміри у межах їх допускних відхилень для кожного окремого комплекту решти складових деталей.

Задачі з розмірними ланцюгами розв'язують обома методами. Метод повної взаємозамінності полягає у застосуванні простих арифметичних дій, а метод неповної взаємозамінності — у застосуванні теорії ймовірності, способів регулювання, припасування, добирання розмірів складових ланок тощо.

З метою уникнення багатоваріантності розв'язків у другій задачі, в якій переважно на одну залежність існує дві та більше невідомих ланок, задаються додатковими умовами. За такі умови приймають: рівність допусків усіх ланок (так званий спосіб рівних допусків), рівність квалітетів точності для всіх ланок (спосіб однакових квалітетів чи рівної точності). Часто застосовують комбінований спосіб розв'язування таких задач — задаються будь-якими значеннями для всіх, окрім однієї, складових ланок, значення якої знаходять, розв'язуючи першу задачу.

Номінальні розміри ланок переважно відомі, оскільки їх визначають на підставі розрахунків і заокруглюють до заданих у рядах номінальних розмірів значень. Невідомими залишаються тільки допуски та допускні відхилення, які їй підлягають розрахунку.

Спосіб рівних допусків є простим, але неточним, тому його використовують здебільшого для попереднього чи наближеного визначення значень допусків і відхилень розмірів складових ланок. Спосіб однакової точності найточніший, тому широко застосову-

ється для розрахунків розмірних ланцюгів (конструкторських, технологічних, вимірювальних тощо), а комбінований спосіб, що складається з першого та другого способів, — поширений серед конструкторів, технологів і вимірювальників, які мають достатній досвід таких розрахунків і кваліфікацію.

1.8.3. Розв'язування задач методом повної взаємозамінності

У першій задачі за заданими розмірами складових ланок A_1, A_2, \dots, A_n визначають розмір замикальної ланки A_Δ . Як видно з рис. 1.8.2, номінальний розмір замикальної ланки

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^m A_i^+ - \sum_{i=m+1}^n A_i^-, \quad (1.8.1)$$

де A_Δ — номінальний розмір замикальної ланки, мм; A_i^+ і A_i^- — номінальні розміри відповідно збільшувальних і зменшувальних ланок, мм; n — кількість всіх ланок, m — кількість збільшувальних ланок.

Допускні розміри замикальної ланки отримують шляхом заміни у рівнянні (1.8.1) номінальних розмірів на відповідні допускні розміри ланок

$$A_{\Delta \max} = \sum_{i=1}^m A_{i \max}^+ - \sum_{i=m+1}^n A_{i \min}^-, \quad (1.8.2)$$

$$A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^m A_{i \min}^+ - \sum_{i=m+1}^n A_{i \max}^-. \quad (1.8.3)$$

де $A_{\Delta \max}$; $A_{\Delta \min}$; $A_{i \max}^+$; $A_{i \min}^+$; $A_{i \max}^-$ і $A_{i \min}^-$ — допускні розміри відповідно всіх ланок, мм.

Віднявши рівняння (1.8.3) від (1.8.2), отримаємо

$$A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = \sum_{i=1}^m A_{i \max}^+ - \sum_{i=1}^m A_{i \min}^+ + \sum_{i=m+1}^n A_{i \min}^- - \sum_{i=m+1}^n A_{i \max}^-,$$

а врахувавши, що різниця найбільшого та найменшого розміру є його допуском, матимемо

$$TA_\Delta = \sum_{i=1}^n TA_i, \quad (1.8.4)$$

де TA_{Δ} і TA_i — допуски розмірів відповідно замикальної та складових ланок, мм.

Відніmemo від рівнянь (1.8.2) і (1.8.3) рівняння (1.8.1) і врахуемо, що значення верхніх і нижніх відхилень розміру A такі:

$$ESA = A_{\max} - A; \quad (1.8.5)$$

$$EIA = A_{\min} - A, \quad (1.8.6)$$

де ESA і EIA — відповідно верхнє та нижнє відхилення розміру A (мм), а A_{\max} і A_{\min} — його допускні розміри (мм). Після незначних перетворень отримаємо

$$ESA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m ESA_i^+ - \sum_{i=1}^m EIA_i^-; \quad (1.8.7)$$

$$EIA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m EIA_i^+ - \sum_{i=1}^m ESA_i^-, \quad (1.8.8)$$

де ESA_{Δ} , ESA_i^+ і ESA_i^- — верхні відхилення розмірів відповідних ланок, мм; EIA_{Δ} , EIA_i^+ і EIA_i^- — нижні відхилення розмірів відповідних ланок, мм.

Для розв'язування задач з розмірними ланцюгами, окрім термінів граничних розмірів та їх відхилень, зручно користуватись також термінами середнього розміру та середнього відхилення. За допомогою схеми розмірів і відхилень для номінального розміру A_i (рис. 1.8.4) можна визначити значення середнього розміру та середнього відхилення. Будь-який середній розмір визначають як

$$A_{im} = (A_{i,\max} + A_{i,\min}) : 2 = A_i + EMA_i, \quad (1.8.9)$$

де EMA_i — середнє відхилення розміру A_i . За допомогою середніх відхилень будь-який розмір записують у вигляді

$$A_{im} = A_i + EMA_i, \quad (1.8.10)$$

де A_{im} — середнє значення розміру з номінальним значенням A_i , мм. Середні відхилення розміру A_i , як це видно з рис. 1.8.4

$$EMA_i = ESA_i - 0,5TA_i, \quad (1.8.11)$$

$$EMA_i = EIA_i + 0,5TA_i. \quad (1.8.12)$$

Тоді рівняння (1.8.1) можна переписати для середніх значень розмірів ланок як

$$A_{\Delta m} = \sum_{i=1}^m A_{im}^+ - \sum_{i=m+1}^n A_{im}^-, \quad (1.8.13)$$

де $A_{\Delta m}$ — середнє значення розміру замикальної ланки, мм; A_{im}^+ — середні значення розмірів збільшувальних ланок, мм; A_{im}^- — середні значення розмірів зменшувальних ланок, мм. Як і для (1.8.7) і (1.8.8), середнє відхилення замикальної ланки

$$EMA_{\Delta} = \sum_{i=1}^m EMA_i^+ - \sum_{i=m+1}^n EMA_i^-, \quad (1.8.14)$$

де EMA_{Δ} — середнє відхилення розміру замикальної ланки, мм; EMA_i^+ і EMA_i^- — середні відхилення розмірів відповідно збільшувальних і зменшувальних ланок, мм.

У другій задачі заданим є тільки один розмір замикальної ланки, а розміри всіх складових ланок — невідомі. Тому рівняння (1.8.1)–(1.8.8) мають нескінченну кількість розв'язків. Щоб обмежити цю кількість розв'язків, приймають додаткові умови, залежні від яких розрізняють такі способи розв'язування другої задачі: *рівних допусків*, додатковою умовою є рівність допусків всіх розмірів незалежно від їх величини; *рівних квалітетів точності*, додатковою умовою є однакова точність розмірів усіх складових ланок і *спосіб спроб*, який полягає у тому, що з конструктивних міркувань добирають розміри (номінальні значення та допускні відхилення) для всіх, окрім однієї, переважно найбільшої, ланки й, розв'язуючи першу задачу, знаходять значення останньої ланки. Отримавши допускні значення цієї ланки, оцінюють їх прийнятність. У разі неприйнятності вносять відповідні зміни у початкову умову та повторюють розв'язування спочатку. Після отримання прийнятнього розв'язку знаходять найближчі до отриманих стандартні відхилення останнього розміру.

Для спрощення розв'язування другої задачі часто номінальні величини розмірів усіх складових ланок добирають з конструктивних міркувань, а граничні відхилення для них отримують за допомогою рівнянь способу однакової точності розмірів. Нижче розглянемо порядок розв'язування другої задачі різними способами.

Спосіб однакових допусків. Спочатку з рівняння (1.8.4) знаходять значення середнього для всіх ланок допуску

$$TA_{\text{ср}} = \frac{1}{n} TA_{\Delta}, \quad (1.8.15)$$

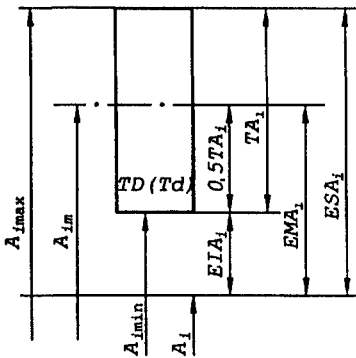


Рис. 1.8.4.

де $TA_{\text{сеп}}$ — середнє та спільне значення допусків всіх складових ланок, мм.

Встановивши середнє значення допуску для розмірів усіх складових ланок і дїбравши з конструктивних міркувань їх відхилення (переважно приймають H, h, J_s і j_s), за стандартами добирають найблїжчі значення відхилень для всіх, крім одного, переважно, найбільшого розміру, який визначають за допомогою формул (1.8.1)–(1.8.3).

Спосїб однакової точності розмірів. Беручи до уваги, що

$$TA_i = i_i k_i, \quad (1.8.16)$$

де i_i та k_i — відповідно одиниця допуску (мм) та кількість одиниць допуску [8]. Середнє чи спільне значення одиниці допуску для всіх складових ланок знаходять з рівнянь (1.8.4) та (1.8.16) як

$$k_{\text{сеп}} = \frac{1000 \cdot TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^n i_i}, \quad (1.8.17)$$

де $k_{\text{сеп}}$ — середнє значення одиниці допуску для розмірів усіх складових ланок.

Отримавши середнє значення одиниці допуску та визначивши відповідно до номїнальних розмірів складових ланок за формулою (1.8.16), знаходять значення допусків для кожної зі складових ланок або за середнім значенням одиниці допуску визначають спільний для всіх складових ланок квалїтет точності розмірів. Тодї з конструктивних міркувань добирають основні відхилення для окремих розмірів (переважно H, h, J_s і j_s), окрім одного (найбільшого), який добирають за допомогою (1.8.1)–(1.8.3).

1.8.4. Розв'язування задач методом неповної взаємозамїнності

Розв'язуючи задачї методом повної взаємозамїнності припускають, що під час виготовлення виробів (оброблення окремих деталей чи їх складання) можливе одночасне поєднання найбільших значень збїльшувальних і найменших значень зменшувальних ланок розмірних ланцюгів. Такї поєднання екстремальних значень розмірів зумовлюють отримання найнижчої точності (найбільших допусків) замїкальних ланок. Але такї поєднання мало-

ймовірні, оскільки розміри складових ланок за законом нормального розподілу переважно групуються навколо їх середніх значень чи середини полів допусків.

З теорії математичної статистики та ймовірності відомо, що значного збільшення точності розмірів замикальних ланок (зменшення допусків їх розмірів) можна досягти за умови допущення деякого ризику отримання навіть незначної кількості складених виробів з неповною взаємозамінністю. На цьому й ґрунтується теоретико-ймовірнісний метод взаємозамінності, який дає змогу розв'язувати обидві задачі з розмірними ланцюгами.

Розглянемо способи розв'язування обох задач теоретико-ймовірнісним методом, прийнявши з метою спрощення отримуваних формул для всіх розмірів ланок закон нормального розподілу їх значень як випадкових величин, та умову, що центри розсіяння розмірів усіх ланок збігаються з їх середніми значеннями, тобто зі серединами відповідних полів допусків, а межі їх ймовірного розсіяння ($\pm 3\sigma$) збігаються з полями допусків розмірів. Тоді

$$TA_i = 6\sigma_i \text{ чи } \sigma_i = \frac{TA_i}{6}, \quad (1.8.18)$$

$$TA_\Delta = 6\sigma_\Delta \text{ чи } \sigma_\Delta = \frac{TA_\Delta}{6}, \quad (1.8.19)$$

де σ_i і σ_Δ — середні квадратичні значення кривих розсіяння для номінальних розмірів відповідних складових ланок A_i та замикальної ланки A_Δ , мм.

Для розсіяння розмірів $\pm 3\sigma$ за нормальним законом розподілу ймовірність отримання розмірів, що перебувають за межами допускних відхилень, становить менше ніж 0,27%.

За законом математичної статистики про підсумовування випадкових величин

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}. \quad (1.8.20)$$

Для першої задачі, підставивши у формулу (1.8.20) середні квадратичні значення з формул (1.8.18) і (1.8.19), отримаємо

$$TA_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n (TA_i)^2}. \quad (1.8.21)$$

Визначивши значення TA_Δ за формулою (1.8.14), знаходять середнє відхилення розміру замикальної ланки EMA_Δ , а за форму-

Залежність коефіцієнта t для закону нормального розподілу замикальної ланки від різних величин ризику P , %

P , %	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10
t	3,89	3,48	3,29	3,00	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65

лами (1.8.11) і (1.8.12) — допускні відхилення для розміру замикальної ланки ESA_{Δ} та EIA_{Δ} .

Формула (1.8.21) дійсна за умови, що розсіяння всіх розмірів як випадкових величин відбувається за нормальним законом розподілу Гаусса, а центр групування розмірів і межі їх розсіяння збігаються відповідно зі серединою поля допуску та з допускними відхиленнями розмірів. Для інших умов зазначена формула має загальний вигляд

$$TA_{\Delta} = \frac{t}{K_{\Delta}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (TA_i)^2 K_i^2}, \quad (1.8.22)$$

де t — коефіцієнт, що залежить від ризику P (%) згідно з табл.1.8.1; K_{Δ} і K_i — коефіцієнти, що характеризують відмінності похибок (чи допусків) відповідно всіх розмірів ланцюга від їх розподілу за законом Гаусса, тобто

$$K_i = \frac{6\sigma_i}{TA_i}, \quad (1.8.23)$$

$$K_{\Delta} = \frac{6\sigma_{\Delta}}{TA_{\Delta}}, \quad (1.8.24)$$

де σ_i і σ_{Δ} — середні квадратичні кривих розподілу для розмірів відповідних ланок розмірного ланцюга з розподілом Гаусса. Підставивши з (1.8.18) і (1.8.19) значення допусків розмірів ланок ланцюга відповідно у (1.8.23) і (1.8.24), отримаємо:

$$\begin{aligned} \text{для закону нормального розподілу} & K_i = K_{\Delta} = 1; \\ \text{для закону рівної ймовірності} & K_i = K_{\Delta} = 1,73; \\ \text{для закону Сімпсона (трикутника)} & K_i = K_{\Delta} = 1,22. \end{aligned}$$

Другу задачу, як і для методу повної взаємозамінності, розв'язують двома способами.

За способом однакових допусків усіх складових ланок значення середнього допуску

$$TA_{i \text{ сеп}} = \frac{TA_{\Delta}}{K_i \sqrt{n}}. \quad (1.8.25)$$

Якщо коефіцієнти K для розмірів складових ланок неоднакові, то формула (1.8.25) матиме вигляд

$$TA_{i \text{ сep}} = \frac{TA_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2}} \quad (1.8.26)$$

Прийнявши з конструктивних міркувань номінальні значення розмірів усіх, окрім однієї (переважно найбільшої), складових ланок ланцюга та визначивши середнє значення допуску $TA_{i \text{ сep}}$ для розмірів усіх складових ланок з конструктивних міркувань, добирають стандартні основні відхилення (переважно J_s , H і h) та квалітети точності розмірів для всіх розмірів складових ланок. Розв'язуючи рівняння (1.8.13), знаходять значення середнього розміру останньої ланки, а за (1.8.11) і (1.8.12) — верхнє та нижнє її відхилення. Оскільки розрахункові значення розмірів та відхилень можуть не збігатися зі стандартними, то приймають відповідні їм найближчі значення.

За способом однакової точності, як і для розв'язування цієї задачі методом повної взаємозамінності, з урахуванням коефіцієнтів розсіяння розмірів складових ланок розмірних ланцюгів визначають середню кількість одиниць допуску

$$k_{\text{сep}} = \frac{1000 \cdot TA_{\Delta}}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n i_i^2 K_i^2}} \quad (1.8.27)$$

Якщо розмірний ланцюг містить ланки зі заданими відхиленнями та допусками їх розмірів, наприклад розміри стандартних деталей (підшипників кочення, шайб тощо), то у формулах (1.8.25), (1.8.27) допуск TA_{Δ} зменшують на суму допусків цих ланок.

Задавшись з конструктивних міркувань номінальними розмірами всіх, крім однієї (переважно найбільшої), складових ланок, за формулою (1.8.1) знаходять номінальний розмір останньої ланки. Знаючи середню кількість одиниць допуску $k_{\text{сep}}$, за [2,8] знаходять середній квалітет точності. Дібравши з конструктивних міркувань основні відхилення (переважно J_s , H і h) для всіх, крім однієї (найбільшої), ланок ланцюга, за формулою (1.8.14) знаходять середнє відхилення для розміру останньої ланки, а за формулами (1.8.11) і (1.8.12) — відповідно верхнє та нижнє її відхилення.

Завдання для самостійної роботи

1. Згідно з рис. 1.8.2 та вихідними даними табл. 1.8.2 і 1.8.3 скласти розмірний ланцюг відповідно до заданої кількості ланок m і n , взявши за номінальні розміри ланок початкові цифри таких рядів: для збільшувальних ланок — 20, 25, 45, 55, 70, 85 і 95, а для зменшувальних ланок — 10, 15, 20, 30, 40, 60 і 80.

2. Для заданої точності замикальної ланки методами повної взаємозамінності та теоретико-ймовірнісним методом (способом однакової точності) розрахувати допуски та призначити граничні відхилення для всіх складових ланок.

Приклад. Задано $m = 5$, $n = 10$; $TA_{\Delta} = 1,2$ мм, $K_i = 1,73$; $t = 3,0$.

Розв'язання. Визначимо кількість збільшувальних і зменшувальних ланок у розмірному ланцюзі. За умовою задачі $m = 5$, а кількість зменшувальних ланок $n - m = 10 - 5 = 5$. Доберемо значення номінальних розмірів всіх ланок зі заданих рядів:

збільшувальні $A_1 = 20$; $A_2 = 25$; $A_3 = 35$; $A_4 = 45$ і $A_5 = 55$;

зменшувальні $A_6 = 10$; $A_7 = 15$; $A_8 = 20$; $A_9 = 25$ і $A_{10} = 30$.

Таблиця 1.8.2

Вихідні дані для індивідуальних завдань за передостанньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m , мм	8	7	6	5	4	8	6	7	5	4
N	14	12	10	13	12	16	15	14	12	10

Таблиця 1.8.3

Вихідні дані для індивідуальних завдань за останньою цифрою номера залікової книжки

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
TA_{Δ} , мм	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0
Коефіцієнт розсіяння всіх розмірів K_i	1,73		1,22		1,0		1,22		1,0	
T	3,0		3,48		2,32		1,96		3,0	

Розрахунок допускних відхилень методом повної взаємозамінності. Номінальний розмір замикальної ланки за формулою (1.8.1)

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^5 A_i^+ - \sum_{i=6}^{10} A_i^- = 20 + 25 + 35 + 45 + 55 - (10 + 15 + 20 + 25 + 30) = 80 \text{ мм.}$$

За формулою (1.8.17) знайдемо середню кількість одиниць допуску

$$k_{\text{ср}} = \frac{1000 \cdot T A_{\Delta}}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{1000 \cdot 12}{1,44 + 1,44 + 1,71 + 1,71 + 1,90 + 1 + 1,21 + 1,21 + 1,44 + 1,44 + 1,44} = 81,47$$

Така кількість одиниць допуску згідно з [2,8] відповідає 10–11 квалітетам точності.

Для спрощення розв'язання прийнемо для всіх ланок, окрім $A_5 = 55$, відхилення J_5 і визначимо допуски для збільшувальних ланок за 11 квалітетом точності, а для зменшувальних — за 10. Отримаємо розміри ланок:

$$A_1 = 20 \pm 0,065; A_2 = 25 \pm 0,065; A_3 = 35 \pm 0,080; A_4 = 45 \pm 0,080;$$

$$A_5 = 55 \pm \frac{1}{2} T A_5;$$

$$A_6 = 10 \pm 0,029; A_7 = 15 \pm 0,035; A_8 = 20 \pm 0,042; A_9 = 25 \pm 0,042 \text{ і } A_{10} = 30 \pm 0,042 \text{ мм.}$$

Знайдемо граничні відхилення для A_5 . Для цього підставимо числові значення у формули (1.8.7), (1.8.8). Отримаємо

$$0,6 = 0,065 + 0,065 + 0,080 + 0,080 + E S A_5 - (0,029 + 0,035 + 0,042 + 0,042 + 0,042);$$

$$-0,6 = -0,065 - 0,065 - 0,080 - 0,080 - E I A_5 + (0,029 + 0,035 + 0,042 + 0,042 + 0,042),$$

звідки $E S A_5 = +0,500$ мм, а $E I A_5 = -0,500$ мм. Тоді $A_5 = 55 \pm 0,500$ мм, що відповідає 14–15 квалітетам точності. Прийнявши з деяким запасом 14 квалітет точності, отримаємо $A_5 = 55 \pm 0,370$ мм.

Розрахунок граничних відхилень за теоретико-ймовірнісним методом. За формулою (1.8.27), врахувавши, що коефіцієнти K_i однакові для всіх ланок, знаходимо середнє значення кількості одиниць допуску

$$K_{\text{сеп}} = \frac{1000 \cdot T A_{\Delta}}{t \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n i^2 K_i^2}} =$$

$$= \frac{1000 \cdot 12}{3,0 \cdot 1,73 \sqrt{1,44^2 + 1,44^2 + 1,71^2 + 1,71^2 + 1,90^2 + 1^2 + 1,21^2 + 1,44^2 + 1,44^2 + 1,44^2}} = 50,11$$

Згідно з [2,8] знайдене значення $k_{\text{сеп}}$ відповідає 9–10 квалітетам точності. Приймаємо основне відхилення j_s , 10 квалітет точності для всіх збільшувальних ланок і 9 квалітет точності для всіх зменшувальних ланок. Беручи до уваги, що середні розміри всіх ланок дорівнюють їх номінальним значенням і враховуючи формулу (1.8.13), робимо висновок, що, як і у попередньому способі, $A_{\text{зм}} = A_5 = 55$ мм. Визначивши допуски для всіх ланок, отримуємо їх розміри:

$$A_1 = 20 \pm 0,042; A_2 = 25 \pm 0,042; A_3 = 35 \pm 0,050; A_4 = 45 \pm 0,050; A_5 = 55 \pm 0,060;$$

$$A_6 = 10 \pm 0,018; A_7 = 15 \pm 0,021; A_8 = 20 \pm 0,026; A_9 = 25 \pm 0,026 \text{ і } A_{10} = 30 \pm 0,026 \text{ мм.}$$

1.8.5. Метод неповної взаємозамінності за допомогою селективного добору

Метод неповної взаємозамінності за допомогою *селективного добору* полягає у виготовленні поверхонь виробів з економічно та технологічно доцільними розмірами їх допусків, точному вимірюванні дійсних розмірів поверхонь, сортуванні їх на розмірні групи, у порядку зростання розмірів поверхонь від найменшого до найбільшого з невеликою їх градацією. Після цього виготовлені та сортовані за розмірами вироби маркують і подають для подальшого складання ремонту тощо.

Розглянемо схеми полів допусків розмірів гладкого циліндричного з'єднання для селективного складання (рис. 1.8.5). Як бачимо, селективний добір пар деталей (I–I, II–II тощо) дає змогу отримувати зменшені найбільші та збільшені найменші значення натягів і проміжків для дібраних полів допусків порівняно з початковими їх значеннями для звичайного складання. Це підвищує стабільність характеристик і довговічність роботи з'єднань.

Кількість груп для селективного складання виробів визначають за граничними значеннями натягів і проміжків, розрахованих (див. розділ 1.1.4) для отримання оптимальної якості з'єднань. Відхи-

лення форми з'єднаних поверхонь виробів не мають бути більшими, ніж допуски їх розмірів.

Кількість груп для селективного складання також залежить від того, за якими натягами і проміжками (екстремальними чи оптимальними) визначають якість з'єднань. Наприклад, для рухомих з'єднань деяке їх збільшення, зумовлене поділом обох полів допусків залежне від кількості груп, дає змогу добирати основні відхилення зі значно меншими початковими проміжками (рис. 1.8.5, а). Наприклад, замість основних відхилень H/f , беруть H/g чи навіть H/h , так само і для нерухомих з'єднань.

Оскільки нерухомі з'єднання здебільшого добирають за значеннями найменшого натягу, то, беручи до уваги, що для селективного складання найменші натяги будуть меншими, ніж відповідні найменші натяги для початкових полів допусків деталей з'єднання, а найбільші натяги — відповідно меншими за початкові, маємо змогу добирати основні відхилення відповідно з меншими початковими натягами (рис. 1.8.5, б). Наприклад, замість початкових H/t беруть для селективного складання H/r чи навіть H/p .

Окрім цього, з цієї ж причини у з'єднаннях з селективним добором деталей, порівняно з початковими полями допусків валів (у системі отвору та отворів у системі вала) дає змогу відповідно збільшувати початкові допуски розмірів отвору та вала, а це за-

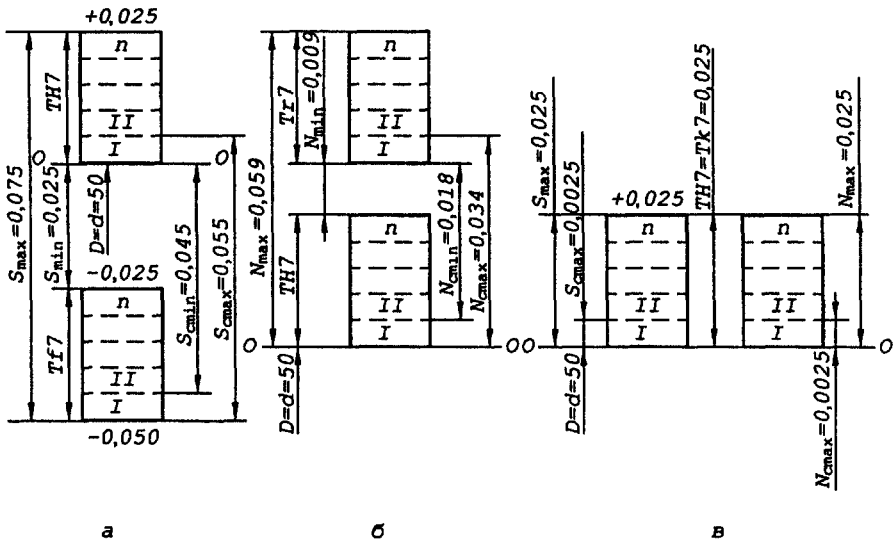


Рис. 1.8.5.

безпечує вищу технологічність виробів, меншу їх трудомісткість і вартість. Наприклад, для з'єднань, поля допусків яких зображені на рис.1.8.5, *a* і *б*, замість квалітету точності 7 можна прийняти 8 квалітет, а для змішаних з'єднань, у яких поля допусків обох деталей майже збігаються, допуски розмірів обох деталей можна відповідно збільшити у n разів, оскільки для них $S = N = Td = TD$. У нашому випадку (рис.1.8.5, *в*) $n = 5$ груп, тому $0,025 \cdot 5 = 0,125$ мм, що властиве для $\varnothing 50$ 10 квалітету точності, тобто маємо значне зменшення трудомісткості та вартості виготовлення.

Селективний добір застосовують не тільки для гладких циліндричних поверхонь, а й для виробів зі складним профілем, які з'єднані між собою кількома поверхнями, наприклад, для шліцьових, різьбових з'єднань з натягом тощо. Застосовують метод селективного складання як для забезпечення внутрішньої взаємозамінності підшипників кочення, так і для забезпечення зовнішньої взаємозамінності (поршнів з отворами у циліндрах, пальця поршня з поверхнею отвору у ньому тощо).

Селективне складання використовують тільки у масовому та великосерійному виробництві, оскільки воно зумовлює появу некомплектних виробів (кількість деталей у однойменних групах різна). Щоб усунути зазначений недолік селективного складання під час виготовлення деталей регулярно контролюють криві розподілу розмірів з'єднуваних деталей та налагоджують технологічну систему так, щоб криві розподілу накладались одна на одну.

Тоді кількість деталей у однойменних групах не змінюється, а запас незакінченого виробництва не буде перевищувати встановлених норм.

1.8.6. Метод неповної взаємозамінності за допомогою регулювальних і компенсувальних ланок

Метод неповної взаємозамінності за допомогою регулювальних і компенсувальних ланок полягає у розробленні таких конструкцій виробів, у яких одна чи більше ланок, що входять у розмірні ланцюги, можуть набувати різних розмірів. Це дає змогу на останній стадії виготовлення виробів, після встановлення розмірів складових ланок, що складають розмірний ланцюг, і визначення розміру регулювальної чи компенсувальної ланки забезпечувати його отримання зміною їх розміщення (регулювання) чи кількості деталей (компенсування).

Окремим способом використання цього методу є *припасування чи додаткове оброблення різанням заданих поверхонь, яке*

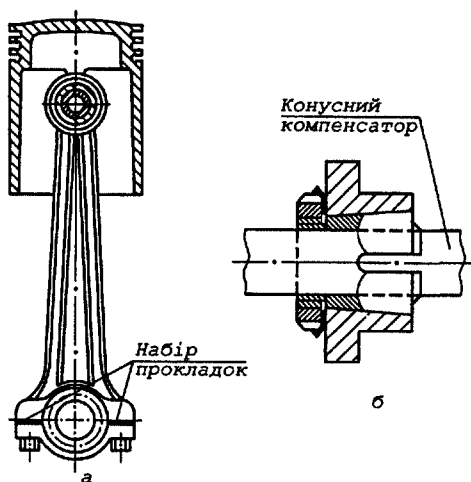


Рис. 1.8.6.

полягає у тому, що замість регульовальної чи компенсувальної ланок на одній із поверхонь дібраної деталі виробу під час його конструювання залишають зайвий шар матеріалу. Після визначення істинних розмірів решти ланок розмірного ланцюга та розміру останньої ланки її обробляють шляхом зняття шару зайвого матеріалу. При цьому розрахунок розмірів розмірних ланцюгів нічим не відрізняється від наведених вище, а одну ланку розмірного ланцюга, що є найдоступнішою для регулювання, компенсування чи припасовування, роблять такою, щоб зручно було змінювати її розміри.

Компенсувальними ланками є підкладки, шайби, вкладні, які роблять тоншими від найменшого розміру компенсувальної ланки, але кількість їх добирають відповідно до цього розміру. Добираючи потрібну кількість таких підкладок, забезпечують заданий розмір виробу. Прикладами компенсувальних ланок розмірних ланцюгів є розміри ущільнювальних прокладок P_k і M_k (див. рис. 1.8.3), добираючи товщину яких забезпечують наявність гарантованих проміжків між відповідними кришками та торцевими поверхнями роликів підшипників кочення. Нерухомий та рухомий компенсатори зображені на рис. 1.8.6.

Метод регулювання та компенсування застосовують для виробів машинобудування у серійному та масовому, а метод припасовування — переважно в одиничному та малосерійному виробництві.

Контрольні запитання

1. Як класифікують розмірні ланцюги та їх ланки?
2. Які задачі розв'язують за допомогою розмірних ланцюгів?
3. Поясніть суть методів повної та неповної взаємозамінності.
4. Перелічіть способи розв'язання другого типу задач.
5. У якому порядку розв'язують перший тип задач методом повної взаємозамінності?
6. Чому дорівнює допуск замикальної ланки розмірного ланцюга?
7. Що таке середній розмір і середнє відхилення розміру?
8. Які відмінності у розв'язуванні обох типів задач за теоретико-ймовірнісним методом?
9. Яке співвідношення між допуском і середньоквадратичним відхиленням розмірів вважають оптимальним?
10. Де використовують методи повної та неповної взаємозамінності?
11. Що таке селективний добір?
12. Для яких з'єднань застосовують селективне складання?
13. Чим відрізняються методи регулювання, компенсування та припасування?
14. Як визначають розміри регульовальних і компенсувальних ланок?

Глава 1.9

Форма, взаємне розміщення, шорсткість і хвилястість поверхонь

1.9.1. Основні положення. Терміни й визначення

Для забезпечення якості виробів, окрім точності їх розмірів, марок матеріалів, фізичного стану поверхонь, велике значення має їх конструкція, технологічність, точність форми поверхонь, взаємне розміщення окремих елементів тощо.

Розрізняють такі поверхні виробів: *номінальні*, якими називають теоретичні (ідеальні за точністю), поверхні, форма їх задана на кресленнях та ескізах; *істинні* — отримані внаслідок виготовлення виробів чи їх спрацювання під час використання.

Визначення показників якості поверхонь, аналіз параметрів, що зумовлюють їх, — це складні й трудомісткі процеси. Щоб виконати їх, для показників якості поверхонь часто застосовують ряди Фур'є [5, 38]. Розглянемо ті параметри якості поверхонь, які відповідно до стандартів записують у кресленнях та інших технічних документах. До таких параметрів належать відхилення форми, взаємного розміщення, шорсткості та хвилястості поверхонь.

1.9.2. Відхилення та допуски форми поверхонь виробів та їх взаємного розміщення

Відхиленням (допуском) форми поверхні згідно з ДСТУ2498–94 називають найбільшу відстань від номінальної до дійсної поверхонь, визначену за допомогою ідеальної поверхні, яка має форму номінальної та є дотичною до істинної поверхні виробу. Розглянемо плоску істинну та дотичну до неї поверхню, що у проекції є прямою лінією (рис. 1.9.1, а), а також внутрішню циліндричну істинну та дотичну до неї циліндричні поверхні, які у перетині є колами (рис. 1.9.1, б). Як бачимо, поверхня з радіусом r більша від поверхні з радіусом r_1 .

Для вимірювання відхилень форми беруть таку поверхню, яка забезпечує найменші розміри між істинною та дотичною поверхнями. При цьому за дотичну приймають циліндричну поверхню з радіусом r . За допомогою істинних циліндричних поверхонь визначають відхилення їх форми. За дотичні переважно приймають зразкові поверхні контрольних лінійок, кутників, плит, інтерференційних скляних пластин, калібрів, шаблонів тощо. Кількісно відхилення форми визначають як найбільшу відстань від істинної поверхні виробів до дотичної до неї поверхні чи профілю по нормалі до останньої.

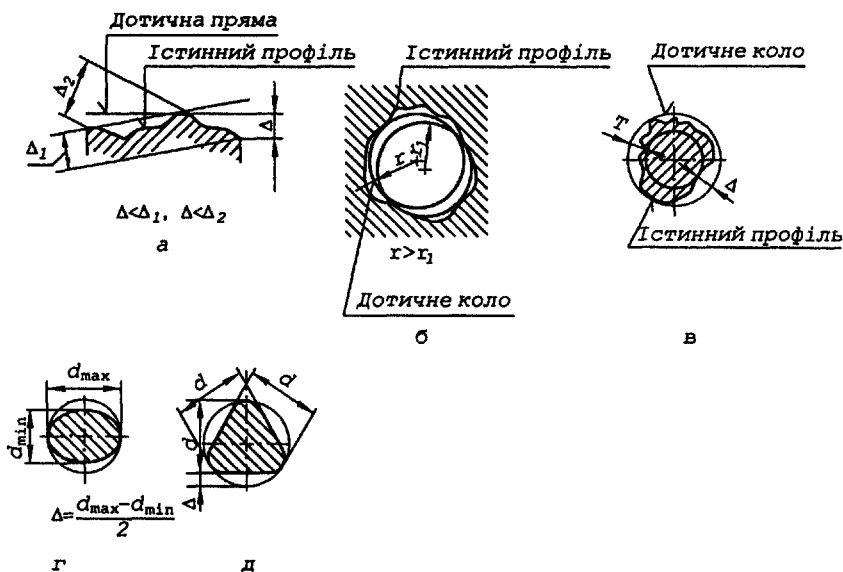


Рис. 1.9.1.

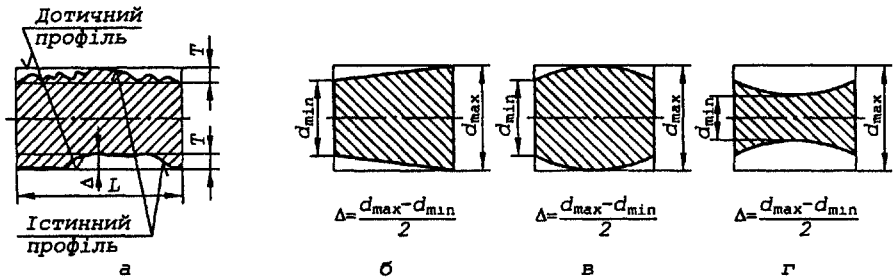


Рис. 1.9.2.

Відхиленнями форми циліндричних поверхонь у їх поперечному перерізі (рис. 1.9.1, в) можуть бути відхилення від округлості (Δ — істинне відхилення, а T — найбільше граничне відхилення від округлості). У техніці прикладами відхилень від округлості часто є: овальність (рис. 1.9.1, г) та огранення (рис. 1.9.1, б). Практично відхилення від циліндричної форми визначають у вигляді

$$\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2}, \quad (1.9.1)$$

де Δ — відхилення форми, мм; d_{\max} і d_{\min} — найбільший та найменший діаметральні розміри, мм. На рис. 1.9.2 зображений повздовжній переріз циліндричного виробу з істинними та дотичними поверхнями. Дотичною є циліндрична поверхня, а істинна поверхня може мати невизначену (рис. 1.9.2, а), конічну (рис. 1.9.2, б), випуклу (рис. 1.9.2, в) та увігнуту (рис. 1.9.2, г) форми. Відхилення форми плоских поверхонь є найбільша відстань точок істинної поверхні до дотичної площини у межах заданої ділянки плоскої поверхні. У цьому разі відхиленнями можуть бути випуклості, вгнутості, кривизна, хвилястість тощо. Вимірювання відхилень плоских поверхонь є складною задачею.

Відхилення форми поверхонь заданого профілю визначають як у плоских поверхонь, тільки за дотичну беруть поверхню, що подібна до номінальної, заданої на кресленнях. Як і відхилення форми, згідно з вимогами стандартів визначають відхилення взаємного розміщення поверхонь. Кількісне визначення відхилень взаємного розміщення поверхонь визначають як відстані, розміри чи кути між дотичними до істинних площин, поверхонь, ліній тощо. Наприклад, відхилення від паралельності плоских поверхонь визначають як різницю найбільшої та найменшої відстаней між дотичними та істинними плоскими поверхнями у межах нормованої ділянки.

Відхилення від перпендикулярності плоских поверхонь визначають як найбільшу відстань між дотичною до однієї з істинних

поверхонь площиною та ідеальною площиною, що перпендикулярна до дотичної поверхні другої істинної площини. Відхилення від перпендикулярності зображене на рис. 1.9.3, а.

Відхилення від співвісності відносно спільної осі — це найбільша відстань між віссю істинної поверхні та спільною віссю двох чи більше поверхонь обертання на довжині нормованої ділянки (рис. 1.9.3, б), а *відхилення від симетричності* відносно базової площини — найбільша відстань між істинною площиною симетрії заданої поверхні (чи поверхонь) і базовою площиною симетрії у межах нормованої ділянки (рис. 1.9.3, в).

Позиційним називають найбільше відхилення істинного розміщення (його центра, осі чи площини симетрії) від номінального розміщення у межах нормованої ділянки (рис. 1.9.3, г).

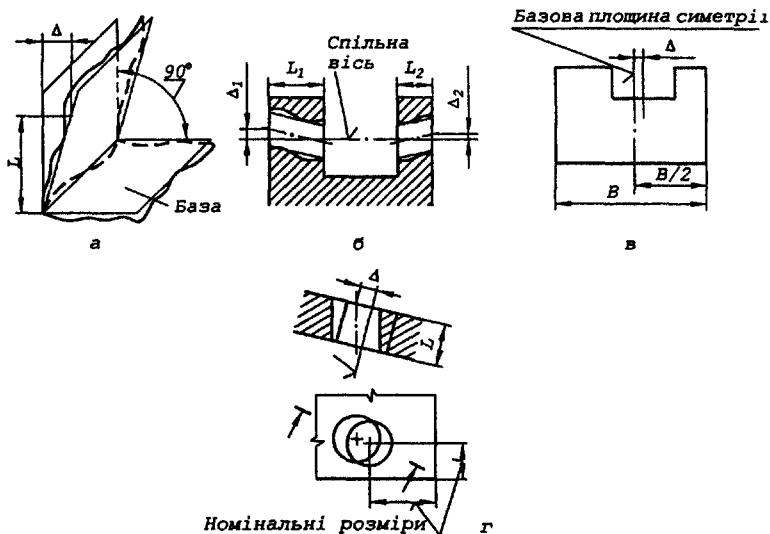


Рис. 1.9.3.

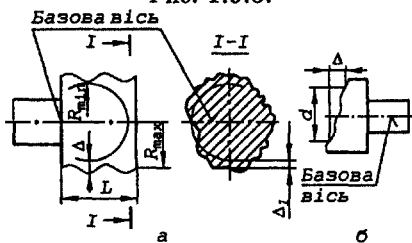


Рис. 1.9.4.

Сумарні відхилення та допуски форми й розміщення поверхонь. Радіальне биття поверхні обертання відносно базової осі є сумою відхилень від округлості профілю та відхилень його центра відносно базової осі. Воно дорівнює різниці найбільшої та найменшої відстаней від точок істинного профілю поверхні обертання до базової осі у перетині, перпендикулярному до неї. Якщо визначають радіальне биття поверхні (рис. 1.9.4, а) не тільки у площині перетину, а й на ділянці L її довжини, то знаходять так зване *повне радіальне биття*, що є сумою відхилень від циліндричності заданої поверхні та відхилень від її співвісності відносно базової осі.

Торцеве биття (повне) — це різниця найбільшої та найменшої відстаней точок усієї торцевої поверхні від площини, перпендикулярної до базової осі та найближчої до істинної торцевої поверхні. Торцеве биття є сумою відхилень від площинності істинної торцевої поверхні та відхилень від її перпендикулярності відносно базової осі. Іноді його визначають у перетині істинної торцевої поверхні з ідеальним циліндром діаметра d (рис. 1.9.4, б).

Залежний та незалежний допуски розміщення (форми). Допуски розміщення чи форми, які визначають для валів чи отворів, можуть бути залежними та незалежними. *Залежним* називають змінний допуск розміщення чи форми, найменше значення якого зазначене у кресленні чи у ТУ, його можна перевищувати на величину, що відповідає відхиленню істинного розміру поверхні виробу від найбільшого розміру вала чи найменшого розміру отвору. Залежні допуски призначають переважно для забезпечення можливості складання виробів, що з'єднуються одночасно кількома поверхнями відповідно до заданих припасувань (шпонкові, шліцьові, різьбові з'єднання). Залежні допуски здебільшого контролюють за допомогою комплексних прохідних калібрів, що мають форму з'єднаних виробів (шліцьових валів зі шпонкою чи шліцьових отворів). Це дає змогу забезпечувати повну взаємозамінність виробів.

Незалежним називають допуск розміщення чи форми поверхонь сталої величини для усіх виробів, виготовлених за заданим кресленням, він не залежить від істинних розмірів заданих поверхонь. Наприклад, для забезпечення співвісності поверхонь отворів для підшипників кочення чи міжосьової відстані поверхонь заданих отворів у корпусах редукторів переважно контролюють тільки взаємне розміщення осей заданих поверхонь.

Числові значення допусків форми та розміщення поверхонь стандартизовані. Визначено 16 ступенів точності з коефіцієнтом їх числового ряду 1,6. Встановлено також три рівні A , B і C співвідношень між допуском розміру поверхні та допусками форми

чи розміщення, які становлять відповідно 60, 40 і 25% від допусків розмірів, а для циліндричних поверхонь — відповідно 30, 20 і 12%, оскільки допуск форми для них визначають за відхилення радіуса, а не діаметра поверхонь.

У разі відсутності на кресленні допусків форми чи розміщення вони не мають перевищувати допусків розмірів поверхонь.

1.9.3. Умовні позначення відхилень і допусків форми поверхонь та їх взаємного розміщення на кресленнях

На кресленнях вид допуску форми та взаємного розміщення поверхонь відповідно до стандартів позначають за допомогою графічних символів, наведених у табл. 1.9.1. Символ і числове значення відхилень чи допусків записують у спеціальних рамках, ставлячи спочатку символ, потім — числове значення відхилення чи допуску у міліметрах і при потребі — літерне позначення бази чи поверхні, з якою пов'язане задане відхилення чи допуск.

Розглянемо схеми прикладів умовних позначень відхилень і допусків форми та взаємного розміщення поверхонь. Рамку (рис.1.9.5, а) з'єднують з елементом, до якого належить задане відхилення чи допуск, суцільною тонкою лінією зі стрілкою (рис. 1.9.5, б). Якщо відхилення чи допуск стосуються осі чи площини симетрії, то зазначена лінія має бути продовженням розмірної (рис. 1.9.5, в); якщо відхилення чи допуск стосуються спільної осі (площини симетрії), то з'єднувальну лінію проводять до спільної осі (рис. 1.9.5, г). Перед числовим значенням допуску ставлять символ \varnothing , якщо поле допуску задано його діаметром (рис. 1.9.5, д); символ R , якщо поле допуску задано його радіусом (рис. 1.9.5, е);

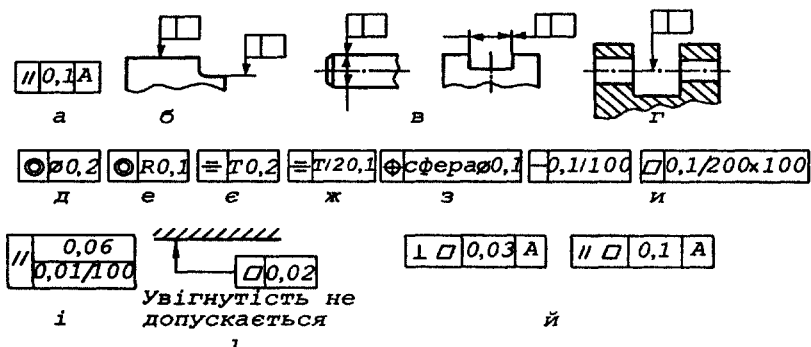


Рис. 1.9.5.

Таблиця 1.9.1

Символи видів допусків форми та розміщення поверхонь

Група допуску	Вид допуску	Знак
Допуск форми	Допуск прямолінійності	—
	— // — площинності	
	— // — круглості	
	— // — циліндричності	
	— // — профілю повздожнього перерізу	
Допуск розміщення	Допуск паралельності	//
	— // — перпендикулярності	
	— // — нахилу	
	— // — співвісності	
	— // — симетричності	
	— // — позиційний	
	— // — перетинання осей	
Сумарні допуски форми та розміщення	Допуск радіального биття — // — торцевого биття — // — биття в заданому напрямі	
	Допуск повного радіального биття — // — повного торцевого биття	
	Допуск форми заданого профілю — // — форми заданої поверхні	

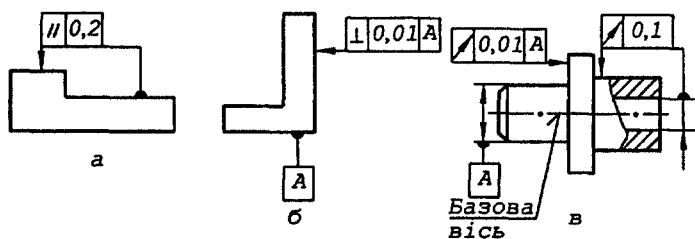


Рис. 1.9.6.

символ T , якщо допуски симетричності, перетину осей, форми заданої поверхні, а також позиційні задані у діаметральному значенні (рис. 1.9.5, є); символ $T/2$ для тих же видів допусків, якщо вони задані у радіусному значенні (рис. 1.9.5, ж); слово "сфера" та символи \varnothing і R , якщо поле допуску сферичне (рис. 1.9.5, з).

Якщо допуск стосується ділянки поверхні заданої довжини (площі), то її значення вказують поряд з допуском, відділяючи їх похилою лінією (рис. 1.9.5, и). Якщо задають допуск для всієї довжини поверхні і для окремої ділянки, то допуск для окремої ділянки записують під допуском для всієї довжини (рис. 1.9.5, і). Додаткові до наведених у рамці написів проставляють, як зображено на рис. 1.9.5, ї. Сумарні допуски форми та розміщення поверхонь, для яких стандарти не передбачають спеціальних символів, позначають окремо: спочатку символ допуску розміщення, а потім допуску форми (рис. 1.9.5, ѓ).

Базу позначають чорним (затемненим) трикутником, що з'єднаний суцільною лінією з рамкою допуску (рис. 1.9.6, а), або літерою, з'єднаною з трикутником (рис. 1.9.6, б). Якщо базу є вісь чи площина симетрії, трикутник розміщують на кінці розмірної лінії заданого розміру поверхні. Якщо для цього не вистачає місця, то стрілку розмірної лінії замінюють на трикутник (рис. 1.9.6, в).

Якщо допуск розміщення чи форми поверхонь не позначений як залежний, то його вважають незалежним. Залежні допуски

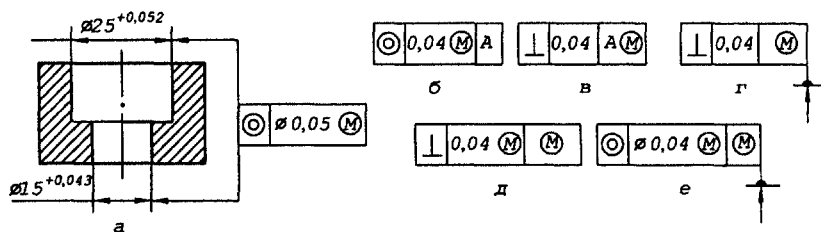


Рис. 1.9.7.

розміщення та форми поверхонь позначають літерою M у кружечку, який розміщують так: після числового значення допуску, якщо залежний допуск пов'язаний з істинними розмірами поверхні (рис. 1.9.7, a і b); після літерного позначення бази (рис. 1.9.7, c), або без літерного позначення бази у третій клітинці рамки (рис. 1.9.7, z), якщо цей допуск стосується істинних розмірів базової поверхні; після числового значення допуску та літерного позначення бази (рис. 1.9.7, d), або без літерного позначення (рис. 1.9.7, e), якщо залежний допуск пов'язаний з істинними розмірами заданого та базового елементів.

1.9.4. Система нормування шорсткості поверхонь

Шорсткістю поверхонь за ДСТУ 2413–94 називають сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками на базовій її довжині, за яку приймають довжину поверхні l , що використовується для визначення параметрів нерівності поверхні. *Базова лінія* (поверхня) — це лінія заданої геометричної форми, проведена на відстані від істинного профілю поверхні, яка служить для оцінки геометричних параметрів шорсткості поверхні.

Нерівності поверхні є наслідком способів її отримання (тиснення, різання тощо). Кількісно параметри шорсткості визначають від середньої лінії профілю, тобто базової лінії, що має форму номінального профілю та наведена так, що у межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю від цієї лінії є найменшим. Таку систему нормування шорсткості називають *системою середньої лінії*.

Числові значення базової довжини добирають з ряду 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм. За стандартами шорсткість поверхонь виробів незалежно від матеріалів і способів їх отримання можна оцінювати за допомогою одного чи кількох параметрів (рис. 1.9.8). Розглянемо визначені стандартами параметри шорсткості поверхонь.

Середнє відхилення профілю R_a , визначають як середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю у межах базової довжини, тобто

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i, \quad (1.9.2)$$

де R_a — середнє арифметичне відхилення профілю, мкм; l — базова довжина, мм; n — кількість точок профілю на базовій довжині; y_i — відстань від i -тої точки на середній лінії до профілю поверхні, мкм.

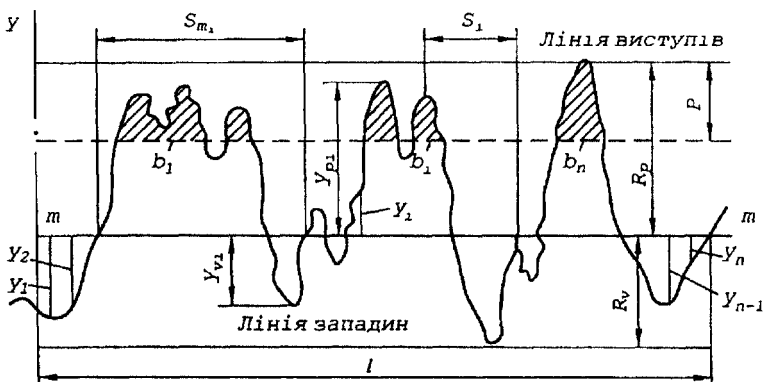


Рис. 1.9.8.

Висоту нерівностей профілю у десятих точках R_z , визначають як суму абсолютних значень висот п'яти найвищих виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю відносно середньої лінії у межах базової довжини, тобто

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |Y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 y_{v_i} \right), \quad (1.9.3)$$

де R_z — висота нерівностей профілю у десятих точках, мкм; y_{p_i} та y_{v_i} — відповідно висота i -го найвищого виступу профілю та глибини i -тої найбільшої западини від середньої лінії до поверхні профілю, мкм.

Найбільшою висотою нерівностей профілю R_{\max} вважають найбільшу відстань між лініями виступів і западин профілю у межах базової довжини l , тобто

$$R_{\max} = |R_p| + |R_v|, \quad (1.9.4)$$

де R_{\max} — найбільша висота нерівностей профілю, мкм; $|R_p|$ і $|R_v|$ — абсолютні значення найвищих виступів і глибини найглибших западин профілю, мкм.

Середній крок нерівностей профілю S_m — це середнє значення кроку нерівностей профілю у межах базової довжини

$$S_m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n S_{m_i}, \quad (1.9.5)$$

де S_m — середній крок нерівностей профілю, мм; n — кількість кроків профілю у межах базової довжини l ; S_{m_i} — крок нерів-

ностей профілю, що дорівнює довжині відрізка середньої лінії, яка перетинає профіль у трьох сусідніх точках, та обмежений крайніми точками, мм.

Середній крок місцевих виступів профілю S , за який приймають середнє значення кроку місцевих виступів профілю у межах базової довжини l , тобто

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i, \quad (1.9.6)$$

де S — середній крок місцевих виступів, мм; n — кількість кроків нерівностей по вершинах у межах базової довжини l ; S_i — крок нерівностей профілю по вершинах, який дорівнює довжині відрізка середньої лінії між проєкціями на неї двох найвищих сусідніх виступів профілю, мм. Для нормування параметрів шорсткості доцільно використовувати ряди переважних чисел.

Опорна довжина профілю η_p — це сума довжин відрізків b_i , які відокремлює на заданому рівні p у матеріалі профілю лінія, еквідистантна середній лінії профілю m у межах базової довжини, тобто

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i, \quad (1.9.7)$$

де η_p — опорна довжина профілю, мкм; n — кількість відрізків b_i ; b_i — довжина i -го відрізка, відокремленого на заданому рівні p у матеріалі профілю лінією, еквідистантною середній лінії, мкм.

Відносна опорна довжина профілю t_p — це відношення опорної довжини профілю до базової довжини l , тобто

$$t_p = \eta_p / l, \quad (1.9.8)$$

де t_p — відносна опорна довжина профілю; η_p — відстань від вершини виступів до лінії, яка відокремлює частину виступів та еквідистантна до середньої лінії, мкм.

Лінія виступів профілю — це лінія, еквідистантна середній лінії, яка проходить через найвищу точку профілю у межах базової довжини. Для нормування значення відстані p добирають із ряду 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80 і 90% від R_{\max} , а відносну опорну довжину профілю t_p із ряду 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80 і 90% від l .

Базову довжину за стандартами визначають залежно від параметра R_a як $l = 0,08$ мм для $R_a = 0,025$; $l = 0,25$ мм для R_a від 0,025 до 0,4 мм; $l = 0,8$ мм для R_a від 0,4 до 3,2; $l = 2,5$ мм для R_a від 3,2 до 12,5; $l = 8$ мм для R_a від 12,5 до 100 мкм.



Рис. 1.9.9.

Добір норм параметрів шорсткості поверхонь виробів добирають залежно від їх функціонального призначення. Оскільки для нормування шорсткості поверхні достатньо й одного параметра, то переважно її нормують за висотними параметрами R_a або R_z . Перевагу віддають параметру R_a , що повніше характеризує шорсткість поверхонь. Шорсткість відповідальних поверхонь нормують за допомогою кількох параметрів.

Нормування шорсткості поверхонь достатньо складне та неоднозначне завдання. Наприклад, для профілів поверхонь, зображених на рис. 1.9.9, параметри шорсткості за параметрами R_a , R_z , S_m , S і R_{\max} практично однакові, але відносна опорна довжина профілю t_p значно відрізняється. Для профілю (рис. 1.9.9, а) вона порівняно мала, а для профілю (рис. 1.9.9, б) — велика, що забезпечує їй відповідно більшу стійкість до спрацьовування, особливо на початковій стадії експлуатації виробів.

Параметр t_p значно впливає на якість поверхонь, призначених для пасовань з гарантованим натягом чи проміжком, а також на трудомісткість і вартість їх оброблення. Наприклад, для отримання шорсткості поверхні з $t_p = 25\%$ достатньо чистового шліфування поверхні, а для отримання шорсткості поверхні з параметром $t_p = 40\%$ потрібне ще й хонінгування, що є доволі трудомістким процесом.

1.9.5. Позначення параметрів і норм шорсткості поверхонь на кресленнях

Шорсткість на кресленнях (ГОСТ 2.309–73) позначають для всіх поверхонь виробів. Структура знака позначення шорсткості поверхонь зображена на рис. 1.9.10. Прямокутниками обмежені місця, що містять таку інформацію про параметри шорсткості поверхні: 1 — числові значення параметрів шорсткості (R_a , R_z , S_m , S , R_{\max} і t_p), 2 — способи оброблення поверхонь, 3 — базова довжина, 4 — умовне позначення напрямку нерівностей (слідів оброблення різанням). Якщо інформація, подана у прямокутниках 2, 3 і 4, не потрібна для отримання заданої шорсткості поверхні, то використовують спрощений знак (рис. 1.9.10, б). Знак (рис. 1.9.10,

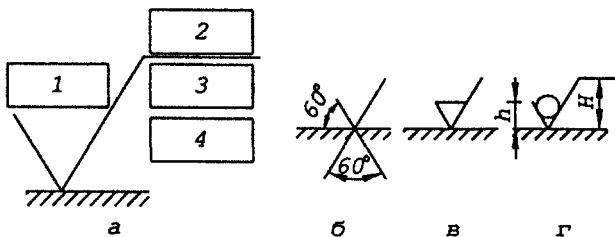


Рис. 1.9.10.

в) ставлять на поверхнях, які отримують будь-яким способом різання матеріалів (зняттям стружки), а символ (рис. 1.9.10, з) — на поверхнях, які отримують без зняття стружки (литтям, тисненням, пресуванням тощо).

Розміри знаків приймають відносно значень розмірів поверхонь виробів h , висоту H беруть від 1,5 до $2h$, базові довжини, що є функцією параметра шорсткості R_a та наведені у стандартах, вказують тільки тоді, коли за спеціальними вимогами вони відрізняються від стандартних значень.

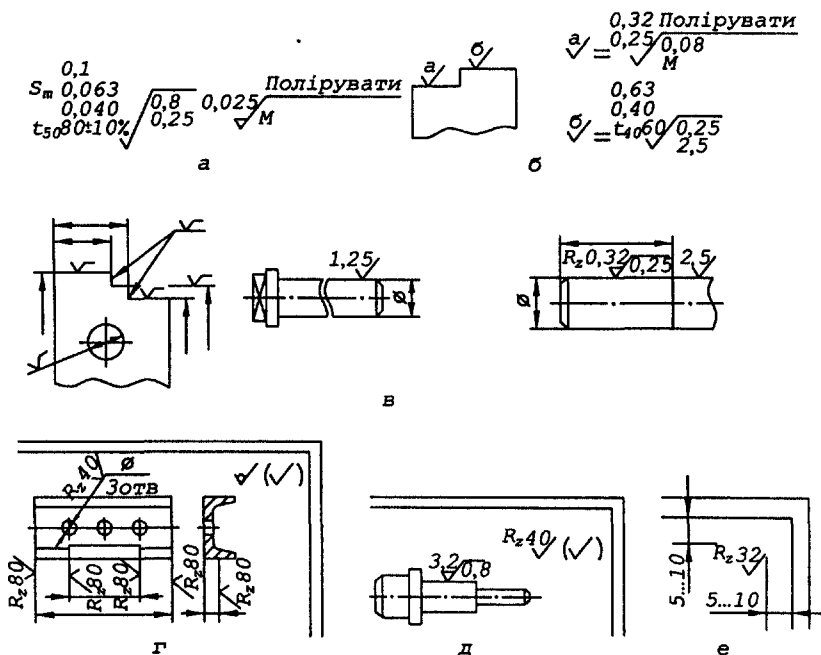


Рис. 1.9.11.

Для позначення напрямків мікронерівностей використовують символи: = (для паралельних), \perp (для перпендикулярних), \times (для перехресних), M (для довільних, що не повторюються), C (для колових) і R (для радіальних).

Стандарти ЄСКД регламентують також певні правила позначення шорсткості поверхонь (рис. 1.9.11). Незалежно від положення знаку шорсткості, він завжди має бути направлений гострим кутом до заданої поверхні (чи виносної лінії), але числа, літерні знаки мають читатися тільки знизу та справа від креслення (рис. 1.9.11, *в, г, д*). У правому верхньому куті креслення ставлять знак шорсткості поверхонь, для яких ці вимоги однакові та не показані на самих поверхнях (рис. 1.9.11, *г, д, е*). У круглих дужках біля нього ставлять знак шорсткості без значень параметрів і позначень, який означає, що на виробі є поверхні з іншими вимогами до їх шорсткості. Його відсутність свідчить, що вимоги знаку з параметрами шорсткості є спільними до всіх, отримуваних відповідно до заданого креслення, поверхонь R_a (рис. 1.9.1, *г, д*). Параметр середнього відхилення профілю на кресленнях не позначають, а вказують тільки цифрове його значення (рис. 1.9.11, *в, д*).

Основні правила та рекомендації з призначення вимог до шорсткості поверхонь деталей такі: всі поверхні виробів мають мати нормовані параметри шорсткості; норми шорсткості добирають, виходячи з умов виконання функцій поверхонь, найменшої їх трудомісткості та вартості; спочатку ставлять вимоги до найвідповідальніших поверхонь виробу; потім — до поверхонь, які не обробляють за допомогою зняття стружки (литтям, тисненням тощо); останніми проставляють вимоги до поверхонь, які обробляють за допомогою зняття стружки, але які не мають відповідати підвищеним вимогам (часто норми їх шорсткості ставлять за допомогою спільного позначення у верхньому правому куті креслення).

Завдання для самостійної роботи

На заданому кресленні будь-якої деталі середньої складності проставити вимоги до норм шорсткості, точності форми та взаємного розміщення поверхонь відповідно до вимог стандартів.

Приклад 1. Найвідповідальнішою поверхнею (див. рис. 1.5.1) є конічна поверхня вала крана, до якої ставлять, окрім заданої шорсткості $0,16$ за параметром R_a , ще й додаткову вимогу щодо притирання її до відповідної поверхні корпусу. Шорсткість поверхонь з найнижчими вимогами до їх якості залишають без оброблення різанням. До них належать поверхня овального отвору, циліндрична поверхня $\varnothing 20$ та дві торцеві поверхні. До решти поверхонь став-

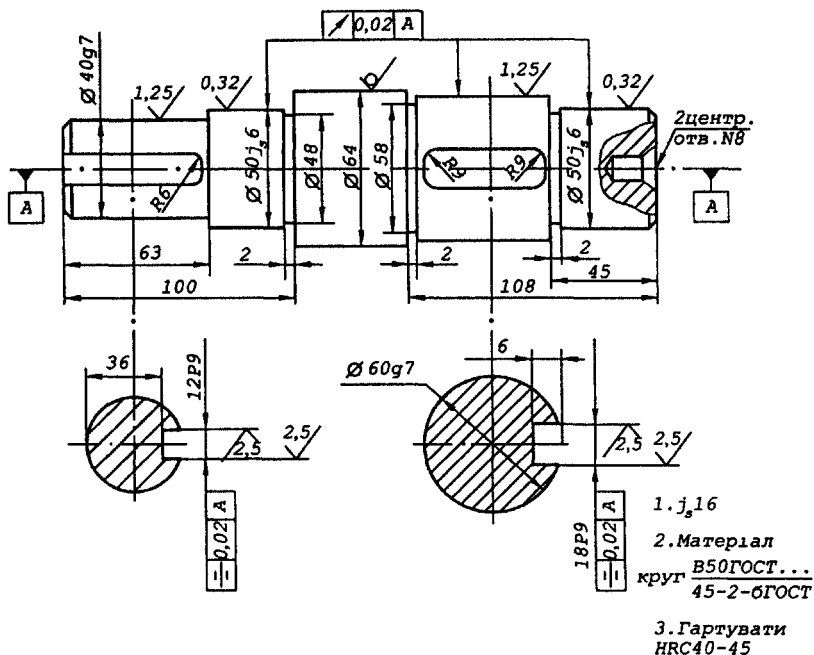


Рис. 1.9.12.

лять середні вимоги з параметром $R_a = 5 - 10$, яких досягають внаслідок 1-2 етапів оброблення (чорнового і чистового).

Вимоги до округлості конічної поверхні позначені допуском округлості 0,01 мм, що є важливою вимогою до поворотних герметичних поверхонь. Оскільки ця поверхня підлягає додатковому притиранню, інші вимоги до неї не ставлять.

Приклад 2. Найвідповідальнішими поверхнями (див. рис. 1.7.8) зубчастого циліндричного колеса є базова поверхня циліндричного отвору $\varnothing 20H7$ і ділильне колесо (бічні поверхні зубів). Тому до шорсткості їх поверхонь встановлені високі вимоги ($R_a = 0,32$). Середні вимоги ставлять до поверхонь, які підлягають обробленню різанням (2 етапи), а низькі — до поверхонь, які отримують під час гарячого штампування.

Оскільки якість зубчастого колеса зумовлюється точністю робочих поверхонь зубів, то встановлено допуск співвісності поверхонь базового отвору $\varnothing 20H7$ і ділильного колеса. Окрім цього, визначені допуски округлості та циліндричності базової поверхні $\varnothing 20H7$, які впливають на якість виготовлення та використання зубчастих поверхонь.

Приклад 3. На рис. 1.9.12 зображено вал редуктора, найвідповідальнішими поверхнями якого є дві циліндричні поверхні $\varnothing 50j_6$ та по одній $\varnothing 60g7$ і $\varnothing 40g7$. Ці поверхні служать для утворення припасувань відповідно з роликowymi підшипниками кочення, маточинами зубчастого колеса та зірки. Відповідно до цього представлені вимоги до їх шорсткості. Враховуючи вимоги точності до співвідносності підшипників кочення та биття міжцентрової відстані між зубчастими колесами передачі, визначають допуск радіального биття цих поверхонь між собою та відносно їх базової осі. Оскільки до радіального биття поверхні $\varnothing 40g7$ не ставлять підвищених вимог, зазначений допуск перебуватиме у межах допусків відповідних розмірів. Підвищені вимоги ставлять і до обох симетричних шпонкових пазів відносно базової осі та до шорсткості їх бічних поверхонь.

Шорсткість поверхні $\varnothing 64$ визначається стандартом на круглий прокат, тому вказана поверхня не підлягає обробленню різанням. Цифрове значення параметра її шорсткості у кресленні не наведене.

1.9.6. Хвилястість поверхонь виробів

Якщо шорсткістю поверхонь називають мікронерівності, то *хвилястістю* [38] — їх макронерівності, які періодично повторюються та мають кроки між сусідніми вершинами чи западинами більші, ніж базова довжина. Хвилястість — це такі нерівності поверхонь, що за своєю величиною займають середнє місце між шорсткістю та відхиленням форми поверхонь. Умовно цю межу визначають за відношенням кроку до висоти нерівностей як

$$k = \frac{S_w}{W_z}, \quad (1.9.9)$$

де k — відношення кроку до висоти нерівностей; S_w і W_z — відповідно крок і висота нерівності, мм. Для значень $k < 40$ нерівності поверхонь відносять до їх шорсткості, для $k = 1000$ — до відхилень їх форми, а для k від 40 до 1000 — до її хвилястості.

На рис. 1.9.13 зображена умовна профілограма для хвилястості поверхонь. Параметрами хвилястості за стандартами є висота хвилястості W , найбільша висота хвилястості W_{\max} та середній крок хвилястості S_w .

Висоту хвилястості W визначають як середнє арифметичне з п'яти її істинних значень на довжині ділянки L , що більша від п'яти істинних найбільших кроків S_w хвилястості поверхні (див. рис. 1.9.13, а), тобто

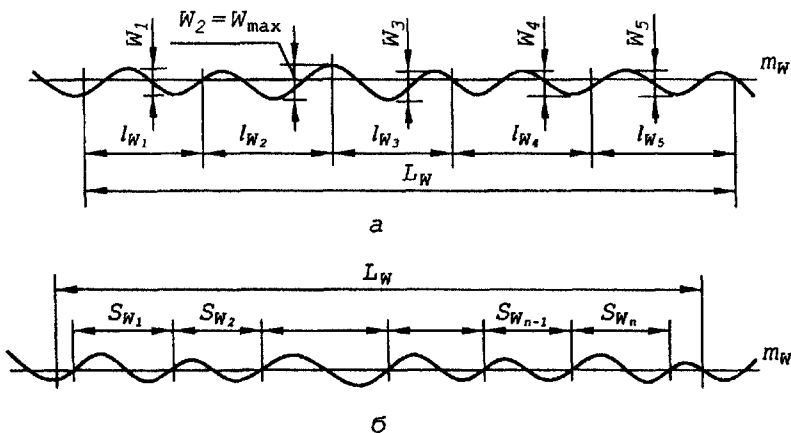


Рис. 1.9.13.

$$W_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n W_i, \quad (1.9.10)$$

де W_z — висота хвилястості, мм; W_i — i -та висота хвилястості, мм; граничні числові значення висоти хвилястості добирають з ряду 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100 і 200 мкм.

Найбільшу висоту хвилястості W_{\max} , яку визначають відстанню між лінією виступів і западин профілю поверхні у межах довжини L_w . Середній крок хвилястості S_w знаходять за середнім арифметичним довжини відрізків S_w , обмежених точками їх перетину із сусідніми ділянками профілю хвилястості (див. рис. 1.9.13, б), тобто

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{W_i}, \quad (1.9.11)$$

де S_w — середній крок хвилястості, мкм; n — кількість кроків хвилястості на ділянці довжиною L_w ; S_{W_i} — довжина i -го кроку хвилястості поверхні, мкм.

Розміщення середньої лінії m визначають, як і для середньої лінії шорсткості поверхні. Форма профілю хвилястості поверхонь зумовлюється шляхами її отримання. Наприклад, синусоїдальна форма профілю хвилястості поверхні, що трапляється найчастіше, є наслідком коливань технологічної системи оброблювально-верстата, спричинених нерівностями поверхонь, неоднорідною твердістю оброблюваних матеріалів тощо.

Контрольні запитання

1. Як класифікують поверхні виробів?
2. Перелічіть параметри якості поверхонь.
3. Що таке відхилення та допуск форми поверхні?
4. Які знаєте відхилення форми циліндричних і плоских поверхонь?
5. Як визначають відхилення форми та взаємного розміщення поверхонь?
6. Що таке сумарні відхилення, допуски форми та взаємних розміщень поверхонь?
7. Поясніть різницю між залежним і незалежним допусками розміщення.
8. Як позначають відхилення форми поверхонь на кресленнях?
9. Що таке базова поверхня, як її позначають?
10. За допомогою яких параметрів нормують шорсткість поверхонь?
11. Що таке абсолютна та відносна опорна довжина профілю поверхні?
12. Охарактеризуйте позначення шорсткості поверхонь на кресленнях.
13. Дайте визначення та назвіть параметри хвилястості поверхонь.

МЕТРОЛОГІЯ У МАШИНОБУДУВАННІ

ЧАСТИНА 2

Глава 2.1

Методи, види та засоби вимірювання

2.1.1. Загальні поняття. Терміни, визначення

Метрологія (з грецької — вчення про міри) — це галузь фізики, основним завданням якої є вивчення методів і засобів вимірювань, розроблення систем одиниць фізичних величин, їх відтворення, оцінки похибок вимірювання, передавання значень одиниць фізичних величин (ФВ) від еталонів до робочих засобів вимірювання та контролю. З кінця XIX ст. метрологія перетворилася з описової в експериментальну науку. Сьогодні вона охоплює всі види вимірювань (механічних, електричних, теплових, світлових, акустичних, іонізаційних тощо). Вимірювання — це відображення ФВ у їх значеннях внаслідок експериментів та обчислень.

Широка стандартизація методів і засобів вимірювання дала змогу створити системи національних (державних) і міжнародних організацій та установ, які забезпечують і контролюють єдність вимірювання для всіх країн, що є членами перелічених організацій та установ.

До 1917 р. Україна була частиною Російської імперії, а до 1991 р. — республікою у складі СРСР та керувалась переважно її метрологічним законодавством. В УРСР головною метрологічною установою був Харківський інститут мір і вимірювальних приладів, організований у 1932 р. на базі Української головної палати мір і ваг, а вимірюванням частоти, акустичних, гідроакустич-

них і радіовипромінювань займався Харківський науково-дослідний інститут фізико-технічних і радіо-технічних вимірювань.

Обласні та міжобласні державні контрольні лабораторії, реорганізовані у Центри метрології, стандартизації та сертифікації, покликані сьогодні забезпечувати єдність мір і вимірювальних приладів. У 1998 р. прийнято Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність", який визначає правові основи забезпечення єдності вимірювань, регулює суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності та спрямований на захист інтересів громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань.

Будь-яку ФВ вимірюють за допомогою технічних засобів. Внаслідок вимірювання отримують значення фізичної величини

$$Q = qU, \quad (2.1.1)$$

де Q — результат вимірювання ФВ, q — кількість одиниць ФВ, U — одиниця ФВ.

Вимірюванням називають процес порівняння ФВ з ФВ, прийнятою та затвердженою компетентним органом як еталон одиниці. Вимірювання — це відображення ФВ їх значеннями шляхом експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів. Значення ФВ, яке ідеально відображає певну властивість об'єкта, називають *істинним*, а визначене за допомогою експерименту — *умовно істинним*. Часто немає необхідності визначати істинне значення ФВ, наприклад, під час контролю відповідності невідомої ФВ граничним значенням (розмірам, масам тощо). Для цього достатньо визначити знаходження заданої ФВ у середині області T , наприклад, у межах між граничними її значеннями.

Прикладом таких засобів контролю лінійних і кутових величин є нормальні та граничні калібри, шаблони, пристрої для сортування виробів за розмірами заданих поверхонь, маси тощо.

Нормативною основою метрологічного забезпечення єдності вимірювання є міжнародна система одиниць SI та стандарти єдиної системи метрології (ДСТУ 3651–97; ДСТУ 2682–94). Є сім *основних одиниць* ФВ у системі SI , для довжини — метр (м), маси — кілограм (кг), часу — секунда (с), сили електричного струму — ампер (А), термодинамічної температури — кельвін (К), сили світла — канделла (кд) і кількості речовини — моль (моль). *Додатковими одиницями* SI є радіан (рад) і стерadian (ср), призначені для вимірювання відповідно плоского та тілесного кутів.

Похідні одиниці SI отримують за допомогою рівнянь зв'язку між ФВ. Наприклад, одиницею сили є ньютон (Н), який дорівнює $\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$; одиницею тиску є паскаль (Па), який дорівнює $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$ тощо.

Для позначення кратних (помножених на 10 у степені цілих додатних чисел) і часткових (поділених на 10 у степені цілих додатних чисел чи помножених на 10 у степені цілих від'ємних чисел) долучають такі префікси до основних одиниць: екса (Е) — 10^{18} ; пета (П) — 10^{15} ; тера (Т) — 10^{12} ; гіга (Г) — 10^9 ; мега (М) — 10^6 ; кіло (к) — 10^3 ; гекто — 10^2 ; дека (д) — 10^1 ; санти (с) — 10^{-1} ; мілі (м) — 10^{-2} ; мікро (мк) — 10^{-3} ; нано (н) — 10^{-9} ; піко (п) — 10^{-12} ; фемто (ф) — 10^{-15} ; атто (а) — 10^{-18} . Наприклад, одна тисячна частка метра є 1 мм, а одна мільйонна частка метра — 1 мкм.

Під *єдністю вимірювання* розуміють такий стан, за якого результати виражені в узаконених одиницях вимірювання, а похибки вимірювання не виходять за встановлені межі.



Рис. 2.1.1.

Контролем називають процес порівняння, метою якого є визначення відповідності виробів заданим параметрам. Виріб вважають придатним, якщо його контрольний параметр перебуває у межах допускних граничних величин. Результатом контролю є тільки якісна оцінка виробу, а не кількісна, яку можна отримати лише внаслідок вимірювання.

Державна метрологічна система (рис. 2.1.1) зобов'язана забезпечувати єдність вимірювань у державі та спрямована на реалізацію єдиної технічної політики в галузі метрології; захист громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань; економію всіх видів матеріальних ресурсів; підвищення рівня фундаментальних досліджень і наукових розробок; забезпечення якості й конкурентоспроможності вітчизняної продукції; створення науково-технічних, нормативних та організаційних основ забезпечення єдності вимірювань.

2.1.2. Методи та види вимірювань

Метод (з грецької — спосіб викладу) — це спосіб, прийом чи система прийомів для досягнення будь-якої мети або виконання певної людської діяльності. Методика вимірювання — це сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювання із заданою точністю. Завдяки методам вимірювання отримують точну кількість заданої ФВ. Для лінійних і кутових розмірів методи вимірювання забезпечують точне відтворення кількості стандартних одиниць, що містяться у заданих розмірах виробів. Залежно від фізичних явищ і законів, які використовують для досягнення мети вимірювання ФВ, розрізняють механічні, оптичні, пневматичні, електричні, лазерні, оптико-механічні, електро-механічні методи вимірювання. На їх основі побудовано багато засобів вимірювання та розроблені способи їх використання.

Розрізняють такі види вимірювання: прямі, посередні (непрямі), абсолютні, відносні, контактні, безконтактні, сукупні та сумісні. *Прямими* називають такі вимірювання, які за допомогою експериментів дають змогу отримувати істинні значення ФВ. За *посередніми* вимірюваннями значень ФВ розраховують її на підставі залежності від інших ФВ, отриманих прямим вимірюванням. Наприклад, прямо вимірюють діаметри обох основ рівнобічної трапеції та її висоту, а кутовий розмір цієї трапеції розраховують за допомогою геометрично-тригонометричної формули, що зв'язує її розміри.

Абсолютні вимірювання полягають у прямому вимірюванні абсолютних значень заданих ФВ, а *відносні вимірювання* — у вимірюванні різниці чи відношення між заданою та однойменною

ФВ, значення якої близьке до невідомої ФВ та відоме із заданою точністю. Наприклад, за допомогою металевого метра у машинобудуванні прямо вимірюють розміри переважно до 1000 мм, а в будівництві будинків та інших споруд вимірюють довжину брусів, дощок, стін довжиною навіть до кількох метрів, але у разі значної кількості вимірюваних виробів із заданою точністю вимірюють тільки один з них (заготованку, деталь, брус, дошку тощо), який потім використовують як допоміжну міру відомого розміру, а усі інші вироби, що мають мати такий самий чи дещо більший (менший) розмір, виготовляють за допомогою цієї допоміжної міри. Різницю між розмірами заготовлюваних предметів та допоміжною мірою вимірюють металевим (переважно складаним) метром.

У машинобудуванні відносні вимірювання розмірів здійснюють за допомогою універсальних вимірювальних приладів, що дають змогу порівнювати близькі за значенням розміри, один з яких відомий. Часто за відому ФВ для відносних вимірювань беруть кінцеві міри (лінійних чи кутових розмірів) та блоки, складені з них. Це дає змогу забезпечувати високу точність вимірювання та продуктивність праці. Шкала вимірювання таких приладів може бути достатньо малою, а прилад може мати велику чутливість і точність. Цей вид вимірювання дуже поширений також у електричних вимірюваннях електричних і неелектричних ФВ. На його основі побудовано чимало так званих компараторів, (вимірювальних, реєстраційних і регулювальних приладів).

Скупними називають вимірювання двох і більше однойменних ФВ, а *сумісними* — вимірювання двох і більше різнойменних ФВ, значення яких знаходять шляхом розв'язування системи умовних рівнянь.

Компенсаційний (нульвий) метод вимірювання полягає у порівнянні двох чи більше однойменних (переважно електричних) сигналів, наприклад, спаду напруг на змінних резисторах, величину опору одного з яких за допомогою шкали задають залежно від вимірюваної ФВ (лінійного чи кутового розмірів, температури, тиску тощо), а величину другого отримують за допомогою перетворювача залежно від вимірюваної ФВ.

Різницю обох сигналів подають на вхід підсилювача електричних сигналів, який залежно від полярності отриманого сигналу певним механізмом змінює у той чи інший бік значення сигналу перетворювача (наприклад, опір змінного резистора) до моменту рівноваги обох електричних сигналів. Тоді на вході підсилювача буде нульовий сигнал, а вимірювану величину можна визначити за показами індикатора чи шкали змінного (зразкового) резистора. За цим принципом дії побудовані так звані автоматичні резистивні потенціометри та мости.

Прикладами сукупних вимірювань може бути одночасне вимірювання перпендикулярності, площинності, ексцентриситету, овальності, конусності, огранення гладкої циліндричної поверхні, а сумісних — вимірювання радіального биття торцевої чи циліндричної поверхонь, на яке впливають перелічені параметри.

Контактний спосіб полягає у безпосередньому контакті робочих поверхонь вимірювального засобу з вимірюваною поверхнею, а *безконтактний* — у відсутності такого контакту. Наприклад, вимірювання за допомогою оптичних проекторів і мікроскопів, де вимірюють переважно збільшене зображення (проекцію) виробу на екрані проектора чи на тині в окулярі мікроскопа, належать до безконтактних способів вимірювання чи контролю.

Прямі та посередні вимірювання з однократними спостереженнями належать до звичайних, з многократними — до статистичних.

2.1.3. Засоби вимірювальної техніки

Засобом вимірювальної техніки (ЗВТ) називають технічний засіб, який має нормовані метрологічні характеристики. *Метрологічними* вважають характеристики, від яких залежить точність отримуваних результатів вимірювань; вони регламентовані стандартами.

Розрізняють такі ЗВТ: міри (та їх набори), вимірювальні перетворювачі, прилади та системи.

Міра — це ЗВТ, призначений для відтворення ФВ заданого розміру (однозначна міра) або ряду розмірів (багатозначна міра). *Набір мір* — це комплект мір, які можуть використовуватись кожна зокрема та у різних комбінаціях (блоках) для відтворення заданих розмірів ФВ (наприклад, набір кінцевих мір лінійних чи кутових розмірів, магазин опору, ємності тощо).

Вимірювальний перетворювач — це ЗВТ, призначений для перетворення вхідного вимірюваного сигналу на вихідний сигнал, зручний для подальшого використання (перетворення, оброблення, зберігання тощо), але не для безпосереднього сприймання спостерігачем. *Вимірювальний прилад* — це ЗВТ, вихідний сигнал якого придатний для безпосереднього сприймання спостерігачем.

Вимірювальна система — це сукупність ЗВТ і допоміжних пристроїв, з'єднаних між собою та придатних для використання, сприймання, оброблення, передавання.

Результати вимірювань виражають у стандартних одиницях ФВ із заданою точністю. За точністю відтворення, передавання та зберігання одиниць ФВ ЗВТ поділяють на еталони, зразкові та робочі ЗВТ.

Еталон — це ЗВТ з найвищою точністю, що забезпечує відтворення та зберігання одиниці ФВ та передавання її іншим ЗВТ з меншою точністю. *Первинний еталон* забезпечує найвищу точність. *Державним і міжнародним* називають еталони, затверджені як такі. *Робочими еталонами* називають ті, що призначені для перевіряння чи калібрування ЗВТ. Еталоном *одиниці лінійних розмірів* довжини затверджено метр, що дорівнює 1 650 763,73 довжин світлових хвиль у вакуумі випромінювання, яке відповідає переходу між рівнями $2p_{10}$ і $5d_5$ атома кріптонa 86. На XVII Генеральній конференції мір і ваг рекомендовано нове визначення одиниці довжини метра як довжини шляху, який проходить світловий промінь у вакуумі за $1/299\,792\,458$ частку секунди.

За *одиницю часу* прийнята секунда, яка дорівнює 9 192 631 770 періодів випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133. За *еталон одиниці маси* прийняли циліндр зі стопу платини та іридію (10%), діаметр і висота якого дорівнюють 30 мм. За *еталон кількості речовини* (моль) прийнята така кількість речовини системи, що має стільки структурних елементів, скільки атомів є у 12,000 грамах водню 12. За *еталон одиниці сили світла* (канделу) прийнята сила світла джерела у заданому напрямку, що дає монохроматичне випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого у заданому напрямку становить $1/683$ В/ср.

За *еталон одиниці сили електричного струму* (ампер) прийнята сила сталого у часі електричного струму, який проходить у вакуумі по двох паралельних проводах з безконечною довжиною та безмежно малою площею поперечного перерізу, розміщених один від одного на відстані 1 м, створює на кожній ділянці проводу довжиною 1 м силу взаємодії 20 МН, а за *одиницю термодинамічної температури* (кельвін) прийнята $1/273,16$ частина термодинамічної температури потрійної точки води.

Зразковими засобами вимірювання називають ті, які прийняті та затверджені для контролю точності інших засобів вимірювання. *Робочі засоби вимірювання* використовують для вимірювань ФВ в умовах проведення експериментів у науці, техніці та виробництві, вони не служать для перевіряння інших ЗВТ.

Тип засобу вимірювальної техніки — це сукупність ЗВТ однакового призначення, які мають однакові принцип дії та конструкцію, виготовлені за однією й тією ж технічною документацією, наприклад, деякі кінцеві міри та їх набори для лінійних і кутових розмірів. Засобами вимірювальної техніки можуть бути як прості за конструкцією штрихові лінійки чи бруски, так і складні вимірювальні прилади чи системи.

Для вимірювання лінійних розмірів засобами вимірювальної техніки є: міжнародний еталон метра, що зберігається в Парижі, державний еталон метра в Україні, кінцеві міри довжини, вимірювальні прилади та системи. Для вимірювання кутових розмірів, які становлять окремі частини повного кутового розміру 2π радіан (360°), служать державні та робочі кінцеві міри кутових розмірів і вимірювальні прилади та системи.

Атестації, передавання значень одиниць ФВ від вищих до нижчих засобів вимірювання регламентовані відповідними державними стандартами.

Перевірянням ЗВТ називають визначення їх придатності до застосування на підставі результатів контролю їх метрологічних характеристик. Перевірянню підлягають засоби, на які поширюється державний метрологічний нагляд.

Калібруванням ЗВТ називають контроль метрологічних характеристик засобів, на які не поширюється державний метрологічний нагляд.

Метрологічною атестацією ЗВТ називають дослідження з метою визначення їх метрологічних характеристик і встановлення придатності цих засобів до застосування. Атестації також підлягають методи здійснення вимірювань і вимірювальні лабораторії.

Будь-який засіб вимірювання, включно з ввезеним з-за кордону, підлягає державній метрологічній атестації, калібруванню у вимірювальній лабораторії, яка успішно витримала відповідну акредитацію та отримала на це право. Після цього ЗВТ заносять до Державного реєстру і вважають допущеним до застосування в Україні.

На побутові ЗВТ державний метрологічний контроль не поширюється, а список їх узгоджується з Держстандартом України.

Порядок і правила передавання розміру одиниць ФВ від еталонів до ЗВТ нижчих розрядів точності встановлені державними стандартами для кожної зокрема.

Мірами можуть бути фізичні тіла, речовини чи засоби, призначені для відтворення одиниць вимірювання ФВ чи їх кратних і часткових значень. Міри поділяють на однозначні та багатозначні. *Однозначні міри* відтворюють тільки одне значення ФВ. Наприклад, гирі (тягарці), кінцеві міри лінійних розмірів, вимірювальні пробірки, нормальні елементи ЕРС, резистори тощо. Для зручності користування їх комплектують у набори мір.

Багатозначні міри дають змогу відтворювати не одне, а кілька значень одиниць ФВ. Наприклад, штрихові лінійки, електричні конденсатори змінної ємності, варіометри індуктивності тощо.

Зразкові речовини можуть відтворювати одиниці ФВ у заданих умовах. Наприклад, так звані реперні точки (сталі температури)

отримують в умовах переходу речовини з одного стану в інший: 1063° С — точка топлення золота; 960,8° С — точка топлення срібла; 444,6° С — точка топлення сірки; 100° С температура пароутворення у воді; 0° С — потрійна точка води, пари та льоду; -182,97° С — точка кипіння кисню тощо.

З метою забезпечення єдності вимірювань для кожної з одиниць ФВ прийнята єдина схема її передавання від еталонів до зразкових і робочих ЗВТ.

2.1.4. Штрихові та кінцеві міри лінійних і кутових розмірів

Штрихові міри — це металеві лінійки, на які нанесені позначки відліку та числа. Для кутових розмірів штриховими мірами є кутомірні транспортири, у яких позначки з числами відліку нанесені на їх радіусному боці. Відстані між сусідніми позначками відповідають встановленим одиницям вимірювання лінійних чи кутових розмірів. Штрихові міри бувають зі сталим і змінними значеннями.

Міри з одним значенням одиниці вимірюваної величини відтворюють одне її значення. Наприклад, штриховий зразковий метр з двома рисками (початку і кінця) або кутник з одним кутовим розміром (90°; 60°; 45°; 30°) відтворюють тільки по одному розміру.

Штрихові міри з багатьма значеннями отримали широке застосування, наприклад, штрихові металеві лінійки з рисками через кожний міліметр або плоскі кутоміри з рисками через кожний градус. Усі ці міри дають змогу відтворювати багато значень одиниці вимірювання. Штрихові міри поділяють на зразкові та робочі.

Кінцеві міри довжини (ГОСТ 9038–90) — це однозначні міри, призначені для відтворення одиниці довжини, налагодження універсальних засобів для відносних вимірювань та перевіряння засобів вимірювання. Найбільш поширені кінцеві міри, що мають форму прямокутних плиток чи циліндричних стержнів, з двома плоскими та паралельними між собою робочими поверхнями (рис. 2.1.2, а і б).

Номінальний розмір (рис. 2.1.2, в) між зазначеними поверхнями маркують переважно на бічних неробочих поверхнях (кінцеві міри з малими розмірами неробочих поверхонь як виняток маркують на робочих поверхнях). Кожна кінцева міра довжини відтворює тільки один лінійний розмір, наприклад 1,005; 1,01; 1,02; 2; 5; 100 мм тощо.

Точність відтворення одиниці довжини за допомогою кінцевих мір значно вища за точність вимірювальних приладів. Плитки під

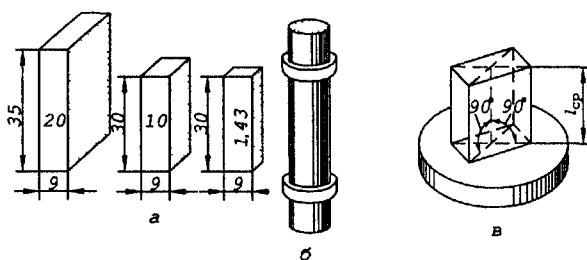


Рис. 2.1.2.

дією молекулярних сил притягання мають здатність прилипати одна до одної, що дає змогу легко складати їх у блоки по кілька штук для отримання заданих розмірів блока. З метою забезпечення високої точності розмірів блоків рекомендують добирати їх так, щоб кількість плиток у одному блоку не перевищувала п'яти.

Виготовляють плитки як поштучно, так і цілими комплектами, у які входять плитки з такими розмірами, щоб за допомогою кількох плиток (кількість їх має бути якомога меншою) дібрати будь-який розмір у заданих межах із заданою точністю. Наприклад, набір із 94 плиток дає змогу добирати будь-який розмір від 1 до 250 мм з градацією через кожні 0,005 мм, а додавання до цього додаткового набору із двадцяти плиток дає змогу зменшити градацію розмірів блоків до 0,001 мм.

Крім основних розмірних плиток у їх комплекти додають ще дві чи чотири захисні плитки з однаковими розмірами 1 і 2 мм, які забезпечують захист основних плиток від спрацювання їх робочих поверхонь. Захисні плитки, що мають однакові розміри та виготовляються серійно у значних кількостях, своєчасно можна замінити новими та дешевими плитками.

Порядок добирання плиток у блоки рекомендують починати від плитки з найменшою градацією. Наприклад, для розміру блока 122,372 мм спочатку беруть плитку з розміром 1,002. Маючи в залишку розмір 121,37 у наборі можливими є кілька варіантів добирання плиток. Взявши з наявних у наборі плитку 1,37, отримують в залишку розмір 120 мм, який можна скласти з плиток 20 і 100.

Точність плоско-паралельних плиток, як часто називають кінцеві призматичні міри, оцінюють за точністю їх розмірів, допускними відхиленнями від площинності та паралельності їх робочих поверхонь (табл. 2.1.1).

Окрім зазначених у таблиці класів точності кінцевих мір, стандарти передбачають виготовлення мір вищої точності, наприклад класу 00, які через високі вимоги до їх точності спеціально не

Допускні відхилення довжини та паралельності
кінцевих мір довжини різних класів точності

Клас точності	Допускні відхилення довжини, мкм	Допускні відхилення плоскості та паралельності, мкм
0	$\pm(0,1 + 2L)^*$	$\pm(0,09 + 0,25L)$
1	$\pm(0,2 + 3,5L)$	$\pm(0,16 + 0,40L)$
2	$\pm(0,5 + 5L)$	$\pm(0,30 + 0,70L)$
3	$\pm(1,0 + 10L)$	$\pm(0,30 + 0,70L)$

* L — номінальна довжина міри, м.

виготовляють, а добирають із наявних серед виготовлених у масовому (серійному) виробництві плиток, перелічених у таблиці класів точності. Для плиток, що тривалий час перебувають в експлуатації, у разі необхідності беруть плитки нижчих (4 та 5) від наведених у таблиці класів точності.

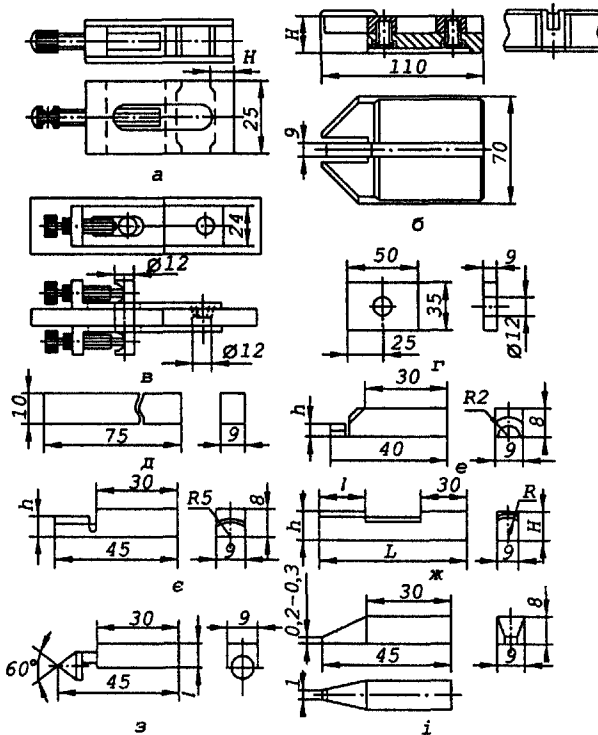


Рис. 2.1.3.

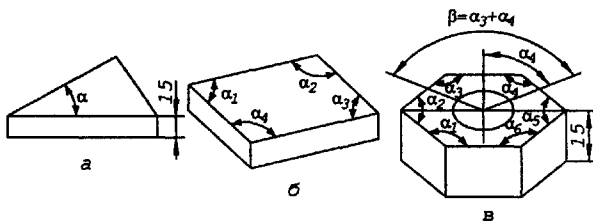


Рис. 2.1.4.

Залежно від точності атестації, кінцеві міри поділяють на п'ять розрядів точності, що дає змогу без спеціального виготовлення плиток вищих класів точності, які мають відповідно вищу вартість, підвищувати точність відтворення одиниці довжини за допомогою серійно виготовлених стандартних плиток.

Для полегшення складання блоків кінцевих мір використовують спеціальні струбцини (рис. 2.1.3, а і б) та стяжні пристрої (рис. 2.1.3, в), а в окремих плитках зі значною масою роблять спеціальні отвори, що служать для їх прикріплення одна до одної. Робочі боковини різного призначення зображені на рис. 2.1.3, г-і.

Кінцеві міри кутових розмірів (ГОСТ 2875-88) служать для налагодження та атестації ЗВТ, а також для контролю кутових розмірів виробів. Відповідно до чинних стандартів виготовляють такі кінцеві міри кутових розмірів: з одним робочим кутом і зрізаною вершиною (тип I); з одним робочим кутом (тип II, рис. 2.1.4, а); з чотирма кутовими розмірами та нерівномірним кутовим кроком (III, рис. 2.1.4, б), з шістьма робочими кутами та нерівномірним кутовим кроком (IV, рис. 2.1.4, в) та з восьми робочими кутами та рівномірним кроком (V).

Кінцеві міри кутових розмірів виготовляють поштучно та цілими наборами з різною кількістю мір, наприклад набір №1 складений із 93 мір, №2 — із 33. Міри мають здатність притиратися одна до одної, але, з огляду на вимогу точного збігання вершин їх кутових розмірів і часту потребу складання їх у блоки з різним напрямком вершин кутових розмірів, для складання блоків кутових розмірів застосовують спеціальні затискні пристрої, держакки, допоміжні лінійки тощо (рис. 2.1.5). Контрольний пристрій, складений із кінцевих мір кутових розмірів і лінійки, зображений на рис. 2.1.5, а і в; блоки кутових розмірів, складених із трьох, двох і чотирьох кінцевих мір, зображені відповідно на рис. 2.1.5, б, г, і е; а пристрій, складений із трьох кінцевих мір і лінійки — на рис. 2.1.5, д. Особливістю кінцевих мір кутових розмірів є можливість не тільки підсумовування розмірів у блоках (рис. 2.1.5, ж), а й їх віднімання (рис. 2.1.5, є).

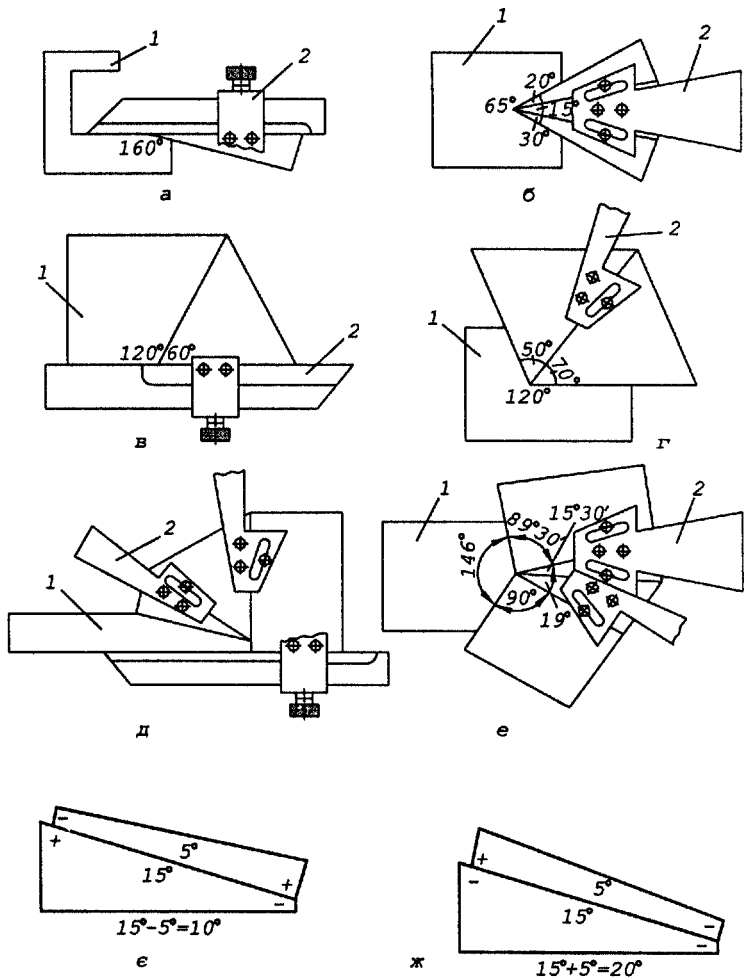


Рис. 2.1.5.

Залежно від заданої точності виготовляють кінцеві міри кутових розмірів чотирьох класів точності: 00; 0; 1 і 2. Як і у разі кінцевих мір лінійних розмірів, через високі вимоги до точності мір класу 00 їх спеціально не виготовляють, а добирають із наявних серед виготовлених у масовому (серійному) виробництві мір нижчих класів точності. Допускні відхилення робочих кутових розмірів від номінальних значень і площинності наведені у табл. 2.1.2 [21].

**Допускні відхилення робочих кутових розмірів від номінальних значень
і площинності для кінцевих мір кутових розмірів**

Клас точності	Відхилення робочих кутових розмірів для мір різних типів		Відхилення від площинності робочих граней, мкм
—	I, II і III	IV і V	—
0	±3	±5	0,1
1	±10	±10	0,15
2	±30	±30	0,3

З метою забезпечення високої стійкості кінцеві міри лінійних і кутових розмірів виготовляють зі сталей марок Х, ХГ, ШХ15 (з гартуванням до твердості *HRC62–65*), а також з оптичного скла марок К8, ЛК7 і топленого кварцу.

2.1.5. Класифікація вимірювальних приладів і перетворювачів

Розрізняють аналогові, цифрові, показувальні, реєструвальні (самописні, друкувальні), інтегрувальні та комбіновані вимірювальні прилади.

До *аналогових* належать вимірювальні прилади, покази яких є безперервною функцією зміни вимірюваної ФВ, а до *цифрових* — прилади, що видають дискретні сигнали вимірюваної інформації у цифровій формі. *Реєструвальними* називають прилади, які дають змогу заносити виміряну інформацію на зберігальний носій (папір, магнітну плівку тощо).

Вимірювальні перетворювачі поділяють на первинні, проміжні, передавальні, масштабні (підсилювальні чи знижувальні). *Первинний* вимірювальний перетворювач призначений для перетворення вимірюваної ФВ, наприклад температури, у інформаційний сигнал (електричний струм, напругу, частоту), а всі інші — для зміни значення отриманого сигналу.

Вимірювальні прилади за принципом дії поділяють на механічні, електричні, пневматичні, магнітні, резистивні, оптичні, лазерні, комбіновані, а за кількістю одночасно вимірюваних параметрів — на одно- та багатоточкові. Залежно від кількості ФВ, які можуть вимірювати прилади, їх поділяють на однойменні, багатовійменні, одно-, багатоточкові. За режимом роботи вимірювальні прилади поділяють на ручні, напівавтоматичні, автоматичні, автономні, з живленням від електричної мережі (неавтономні), стаціонарні, переносні, лабораторні, спеціальні (вібро-, ударо-, температуростійкі) .

Вимірювальні прилади та перетворювачі ФВ, незважаючи на значну відмінність принципів дії, за якими вони побудовані, значне розмаїття їх конструкцій (типів), розмірів, мають практично аналогічні метрологічні характеристики.

2.1.6. Основні характеристики вимірювальних приладів

Метрологія належить до складних і точних наук, основною метою її є забезпечення заданої точності вимірювання ФВ, єдності термінології, методів і способів вимірювання, перетворення, передавання та зберігання отриманої інформації. Про складні завдання метрології свідчить значна кількість встановлених стандартами характеристик вимірювальних приладів [3, 13, 17]. Розглянемо основні з них.

Показом вимірювального приладу називають значення вимірюваної ФВ, визначене за допомогою відлікового пристрою, шкали з покажчиком, цифрового табло. Показ, відлік, стала та ціна поділки вимірювального приладу пов'язані співвідношенням

$$x_n = N_n f_x = N_b C = N_{\text{под}} C_{\text{под}}, \quad (2.1.2)$$

де x_n — показ вимірювального приладу, виражений за допомогою його числового значення N_n та одиниць f_x фізичної величини X ; N_b — відлік, як абстрактне число, зчитане з відлікового пристрою або отримане внаслідок лічби послідовних позначок чи сигналів; C — стала вимірювального приладу, яка є числом, вираженим в одиницях f_x величини X ; $N_{\text{под}}$ — кількість поділок (може бути не цілим числом), позначених на шкалі; $C_{\text{под}}$ — ціна поділки шкали, як різниця значень ФВ X , що відповідають двом сусіднім позначкам шкали. Наприклад, 1 мкм — для оптиметра; 1 мм — для металевої лінійки; 0,1° С — для термометра; 10 міліграм — для ваги тощо.

Шкала металевої вимірювальної лінійки (рис. 2.1.6, *a*) не має покажчика, ціна поділки шкали 1 мм, відлік показів — візуальний, внаслідок порівняння вимірюваної довжини виробу з рівнозначною їй ділянкою лінійки.

Штангенциркуль (рис. 2.1.6, *б*) має дві шкали: основну з ціною поділки 1 мм і додаткову (ноніусну) з ціною поділки 0,1 мм. Відлік показів такої шкали ведуть за сумою показів обох шкал (цілі міліметри відраховують за основною, а соті частки міліметра — за додатковою шкалою). Як покажчик для основної шкали використовують першу риску ноніусної шкали (26 мм), а покажчик для ноніусної шкали — риска основної шкали, що збігається

з однією з рисок ноніусної (0,1 мм). Сумарний відлік розміру на шкалі штангенциркуля 26,1 мм.

З двох шкал складена також і шкала мікрометра (рис.2.1.6, в): основної, вздовж циліндричної поверхні корпусу 4 з ціною поділки 0,5 мм, та додаткової, по колу циліндричної поверхні гайки 1 з ціною поділки шкали 0,1 мм. Показчиком для основної шкали є лівий край гайки (14,5 мм), а для додаткової — роздільна лінія, що поділяє основну шкалу на дві, розміщені одна над одною, частини, кожна з яких має риски через 1 мм, але зміщені одна відносно одної на 0,5 мм (0,12 мм). Сумарний відлік розміру на шкалі мікрометра становить 14,62 мм.

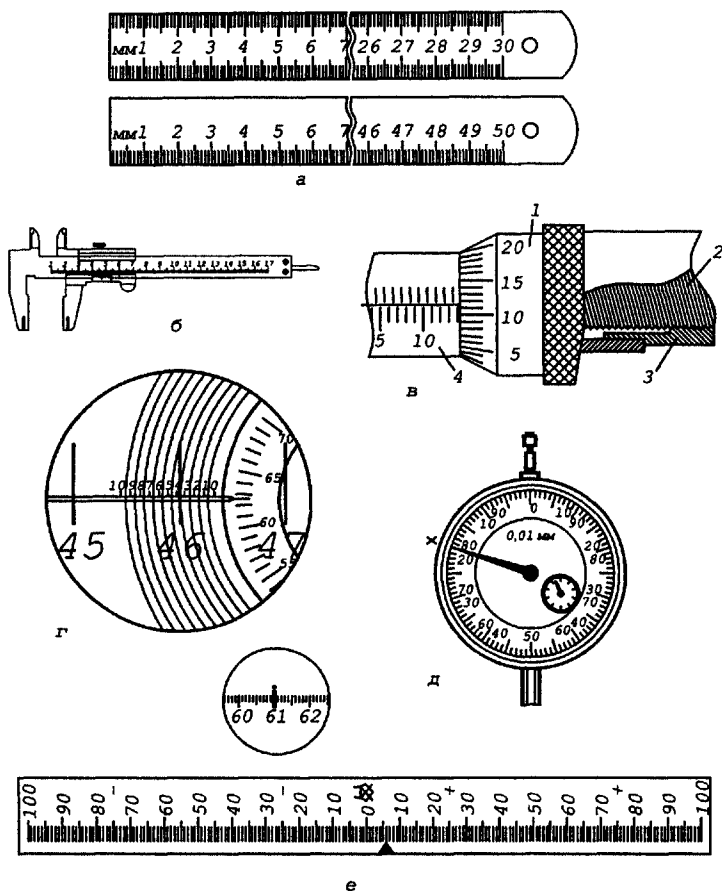


Рис. 2.1.6.

Дві шкали має і шкала індикатора годинникового типу (рис. 2.1.6, *д*): покажчик основної шкали з ціною поділки 1 мм вказує на позначку 8, а покажчик додаткової шкали з ціною поділки 0,01 мм — на позначку 0,79 мм. Сумарний відлік розміру на шкалі індикатора — 79 мм.

Універсальний інструментальний мікроскоп (рис. 2.1.6, *з*) має три шкали: риска основної шали (46 мм) з ціною поділки 1 мм в окулярі мікроскопа з збільшенням у 62 рази перетинає першу додаткову шкалу з ціною поділки 0,1 мм між 3 і 4 рисками (0,3 мм), а горизонтальна її риска вказує на відлік другої додаткової шкали з ціною поділки 0,001 мм (0,062). Сумарний відлік за допомогою трьох шкал — 46,362 мм.

Вимірювальна оптична машина складається з трьох шкал (рис. 2.1.6, *е*): в окулярі мікроскопа машини цифра 8, що над подвійною рисою, вказує на кількість сотень міліметрів (800 мм), а розміщення її на стоміліметровій шкалі — на десятки, одиниці та десяті частки міліметра (60,8 мм), на вертикальній шкалі оптиметра машини оптична стрілка вказує на соті та тисячні частки міліметра (0,0075). Сумарний відлік шкали машини — 860,8075 мм.

Діапазон показів шкали — це значення ФВ, що містяться між початковим і кінцевим її значеннями на шкалі вимірювального приладу. Наприклад, шкали приладів для відносних вимірювань мають такі діапазони показів шкали: мікрокатор — $\pm 0,030$ мм; мінікатор — $\pm 0,050$, ортотест — $\pm 0,100$, оптиметр — $\pm 0,100$, важільно-механічні багатообертові індикаторні головки — від 0 до 1 мм; від 0 до 2 мм; від 0 до 5 мм і від 0 до 10 мм; шкали мікрометрів мають діапазони показів шкали від 0 до 12,5 мм і від 0 до 25 мм.

Діапазоном вимірювання називають значення ФВ, що перебувають між найбільшим і найменшим вимірюваними її значеннями. Наприклад, діапазони вимірювання можуть бути для: металевих лінійок від 0...150 мм до 0...1000 мм; штангенінструментів від 0...125 мм до 0...2000 мм і більше; мікрометрів від 0...12,5 мм до 2500...6000 мм; індикаторних нутромірів від 2...3 мм до 160...260 мм; оптичних довгомірів від 0...150 мм до 0...350 мм; інструментальних мікроскопів від 0...75 мм до 0...200 мм; вимірювальних машин від 0...1000 мм до 0...4000 мм тощо.

Градуовальною характеристикою ЗВТ називають залежність між значеннями ФВ на його вході та виході. Її визначають за допомогою формул теоретичної залежності між вхідними та вихідними величинами або практично — на підставі експериментів, що дає змогу підвищити точність засобів вимірювання, усунувши можливі похибки вимірювання, які не вдається визначити теоретично. Окрім цього, чимало первинних перетворювачів ФВ не ста-

більші у часі, мають нелінійну залежність між вхідними та вихідними ФВ. Для таких перетворювачів (частоти обертання, тиску, температури, витрат тепла) тільки індивідуальне їх градування дає змогу забезпечити задану точність вимірювання.

Розрізняють неперервні та дискретні градувальні характеристики ЗВТ. Для перших за умови неперервної зміни вимірюваної ФВ від x_{\min} до x_{\max} вихідна ФВ також змінюється неперервно від y_{\min} до y_{\max} (рис. 2.1.7, а).

Залежність $y = f(x)$ називають *статичною характеристикою* ЗВТ. Для забезпечення сталої чутливості ЗВТ у заданому інтервалі його статична характеристика має бути *лінійною*. Якщо неперервна зміна вхідної ФВ ЗВТ зумовлює на його виході дискретну зміну вихідної ФВ, то таку градувальну характеристику називають *дискретною*. Наприклад, з неперервною зміною вхідної ФВ від x_{\min} до x_{\max} вихідна ФВ змінюється стрибкоподібно: від y_1 до y_2 для $x = x_1$; від y_2 до y_3 для $x = x_2$ тощо (рис. 2.1.7, б). Зі зміною вхідної ФВ від x_{\min} до x_1 , від x_1 до x_2 , від x_2 до x_{\max} ФВ y залишається сталою та дорівнює відповідно y_1 , y_2 і y_3 . Точки a_1 , a_2 і a_3 на рис. 2.1.7, б відповідають статичній характеристиці (штрихова лінія), яка була б такою при неперервній зміні вихідної ФВ.

Впливовими називають такі ФВ, які заданий ЗВТ не вимірює, але вони здатні змінювати результати вимірювань. До таких ФВ належать температура, вологість, атмосферний тиск, напруженість магнітного поля, вібрації, удари, параметри електричного живлення ЗВТ тощо.

Нормальні умови використання ЗВТ це умови, за яких розсіяння показів не перевищує допускних відхилень. За стандартами нормальними умовами експлуатації ЗВТ вважають: температуру у приміщенні, де виконують вимірювання, 20°C ; атмосферний тиск — 1000 кПа, вологість повітря від 30 до 80%, відсутність вібрацій та ударів, напругу електричного живлення — 220/127 В $\pm 10\%$; частоту $50 \pm 0,1 \text{ c}^{-1}$ тощо (ГОСТ. 8.050–73).

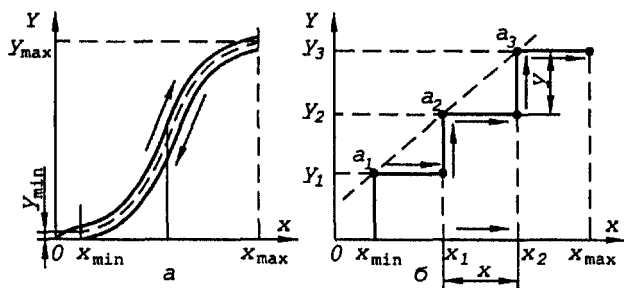


Рис. 2.1.7.

Для вимірювання лінійних і кутових розмірів температура об'єктів і суб'єктів вимірювання має бути однаковою. Тому перед початком вимірювання рекомендують витримувати ЗВТ та вимірювані вироби у сталій температурі протягом заданого відрізка часу.

Коефіцієнтом перетворення вимірювального перетворювача називають відношення зміни сигналу на його виході до зміни сигналу на вході перетворювача, що його зумовив. Замість терміну коефіцієнт перетворення часто вживають термін чутливість за собу перетворення (вимірювання) [17].

Наприклад, якщо під час вимірювання лінійного розміру 100 мм зміна вимірюваного (вхідного) розміру на 0,01 мм зумовила переміщення стрілки відносно шкали ЗВТ на 10 мм, то *абсолютну чутливість* ЗВТ визначають як

$$s = \frac{\Delta l}{\Delta x} = \frac{10}{0,01} = 1000; \quad (2.1.3)$$

а відносну чутливість як

$$s_b = \frac{\Delta l}{\Delta x} = \frac{\Delta l \cdot x}{\Delta x} = \frac{10 \cdot 100}{0,01} = 10000, \quad (2.1.4)$$

де s і s_b — відповідно абсолютна та відносна чутливості ЗВТ; Δl — переміщення покажчика шкали, мм; Δx — зміна вхідного сигналу, мм.

Незважаючи на те, що ціна поділки шкали ЗВТ не пов'язана з коефіцієнтом перетворення, для ЗВТ зі шкалами *абсолютна чутливість* кількісно дорівнює коефіцієнту перетворення.

Для ЗВТ з нелінійною градууювальною характеристикою чутливість їх залежить від вимірюваної ФВ, тобто також має нелінійну характеристику. У цьому разі вживають термін *диференційна чутливість* S_d

$$S_d = \frac{dl}{dx}, \quad (2.1.5)$$

а якщо статична характеристика дискретна, то чутливість

$$s_x = \frac{y}{x}. \quad (2.1.6)$$

Для ЗВТ, що складаються з кількох, з'єднаних послідовно блоків (елементів), загальна чутливість s_{nc}

$$s_{nc} = s_1 s_2 \dots s_n = \prod_{i=1}^n s_i, \quad (2.1.7)$$

де s_i — чутливість i -го блока; n — кількість блоків.

Загальну чутливість ЗВТ S_{np} , що складається з кількох з'єднаних паралельно блоків, запишемо у вигляді

$$s_{\text{пр}} = s_1 + s_2 \dots + s_n = \sum_{i=1}^n s_i . \quad (2.1.8)$$

Чутливість ЗВТs, утвореного з'єднаними послідовно та паралельно блоками, така:

$$s = \frac{\prod_{i=1}^k s_i}{1 + \prod_{i=1}^k s_i \cdot s_{zi}} , \quad (2.1.9)$$

де s_i — чутливість блоків 1, 2, 3, 4 і 6, а s_{zi} — чутливість блока зворотного зв'язку; k — кількість блоків, з'єднаних послідовно. Функціональна схема ЗВТ зображена на рис. 2.1.8.

Використовують також термін "поріг чутливості", за який приймають найменший приріст вхідної ФВ, що зумовлює помітну зміну вихідної ФВ ЗВТ.

Стабільністю ЗВТ називають їх властивість зберігати незмінними свої метрологічні характеристики. Для контактних ЗВТ важливою характеристикою є *вимірювальне зусилля* у місці контакту поверхні вимірювального щупа (наконечника) з поверхнею вимірюваного виробу.

Точність вимірювання — це показник якості ЗВТ, що характеризує ступінь наближення результатів вимірювання до істинних значень вимірюваної ФВ. Точність вимірювання оцінюють абсолютною та відносною похибками.

Розрізняють такі похибки вимірювання: основну та додаткову, абсолютну та відносну, систематичну та випадкову, статичну та динамічну, малу, велику, грубу. Залежно від місця (причини, джерела) виникнення розрізняють похибки методу вимірювання, налагодження, відліку результатів вимірювання, градуювання тощо.

Основною називають *похибку ЗВТ*, що може виникати у нормальних умовах його експлуатації, а *додатковою* — похибку ЗВТ, зумовлену зміною будь-якого з впливових факторів поза межами їх значень, визначених для нормальних умов експлуатації.

Абсолютна похибка вимірювання — це різниця між отриманим внаслідок вимірювання значенням вимірюваної та істинної ФВ. Відносною похибкою вимірювання називають відношення абсолютної похибки вимірювання до істинного значення ФВ.

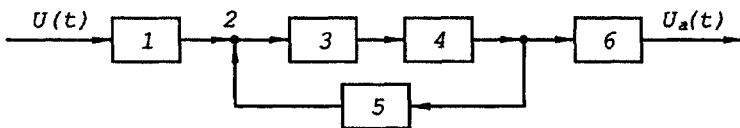


Рис. 2.1.8.

За *систематичну похибку вимірювання* приймають ту її складову частину, що залишається сталою чи змінюється за відомим законом у всіх повторних вимірюваннях одною й того ж значення ФВ, а за *випадкову похибку* — ту, що може змінюватись у цих же умовах довільно, як за значенням, так і за знаком, і не повторюється у повторних вимірюваннях.

Статичною називають похибку, що є різницею виміряного та істинного значень ФВ у заданому режимі, а *динамічною* — похибку, що є різницею між похибкою ЗВТ у динамічному режимі та його статичною похибкою, що відповідає значенню ФВ у заданий момент часу. Меншу від основної похибку називають малою, більшу від неї — великою, а значно більшу — грубою. Груба похибка переважно істотно перевищує сподівану за заданих умов похибку вимірювання. Дуже велику похибку, яка може бути наслідком несправності ЗВТ чи порушення правил використання, називають промахом і до уваги не беруть.

Похибка вимірювання завжди є сумою її складових частин, тобто містить у собі похибки, зумовлені різними впливовими величинами: недосконалістю методу вимірювання, якістю ЗВТ, точністю його налагодження, градуювання, відліку результатів вимірювання, впливу зміни умов експлуатації тощо.

Похибки вимірювання є випадковими ФВ з детермінованими, індетермінованими та ймовірнісними складовими. Детерміновані складові здебільшого називають *систематичними*, а індетерміновані — *випадковими похибками*.

Результат спостереження отримують під час окремого експерименту, а результат вимірювання — під час вимірювання та оброблення отриманих результатів спостереження.

Узагальненою характеристикою ЗВТ, визначеною значеннями найбільших граничних основних і додаткових похибок вимірювання, а також іншими властивостями за чинними стандартами, є клас точності, який характеризує тільки властивості ЗВТ та не визначає точність вимірювання ФВ.

Контрольні запитання

1. *Охарактеризуйте завдання метрології.*
2. *Як забезпечують єдність вимірювань?*
3. *Які організації керують метрологією?*
4. *Що називають вимірюванням?*
5. *Які знаєте основні та додаткові одиниці системи SI?*
6. *Як утворюють похідні та кратні одиниці у системі SI?*
7. *Чим відрізняється метод від виду вимірювання?*
8. *Які знаєте види вимірювання розмірів виробів?*

9. Абсолютні та відносні вимірювання.
10. Компенсаційний метод вимірювання.
11. Чим відрізняються сукупні та сумісні види вимірювання?
12. Де використовують контактний та безконтактний способи вимірювання?
13. Що таке еталон, міра та зразковий ЗВТ?
14. Намалюйте схему відтворення одиниць ФВ.
15. Які ви знаєте міри довжини та кутових розмірів?
16. Перелічіть штрихові міри.
17. Охарактеризуйте кінцеві міри лінійних і кутових розмірів.
18. Як класифікують універсальні ЗВТ?
19. Функції вимірювального перетворювача.
20. Перелічіть параметри універсальних ЗВТ.
21. Дайте визначення термінів: ціна поділки, діапазон шкали та діапазон вимірювання вимірювального приладу.
22. Що називають градуовальною характеристикою ЗВТ?
23. Які ви знаєте впливові фактори?
24. Які умови експлуатації засобів вимірювання приймають за нормальні?
25. Перелічіть різновиди похибок вимірювання.
26. Що означає клас точності ЗВТ?

Глава 2.2

Прилади для вимірювання лінійних і кутових розмірів

2.2.1. Загальні положення

Прилади для вимірювання лінійних і кутових розмірів широко застосовуються у науці, техніці та народному господарстві. З їх допомогою вимірюють абсолютні значення розмірів та їх відхилення від заданих значень.

З метою розширення виконуваних функцій прилади часто використовують разом з технологічним спорядженням (пристроями, стояками, штативами, плитками, затискачами). Універсальні ЗВТ загального та спеціального призначення відрізняються між собою тим, що перші застосовують для вимірювання розмірів різних поверхонь виробів, а другі — для вимірювання тільки поверхонь заданої форми. Наприклад, штрихова лінійка, штангенциркуль, мікрометр — засоби загального призначення, а штангензубмір чи нормалемір — засоби спеціального призначення (для вимірювання відповідно товщини зуба та відхилень розміру спільної нормалі зубчастих коліс).

Розглянемо універсальні ЗВТ у порядку зростання їх точності.

2.2.2. Штрихові ЗВТ

Найбільше зі штрихових ЗВТ застосовують металеві брускові та стрічкові лінійні міри (лінійки, рулетки, складані металеві метри) та металеві кутоміри (транспортири). Брускові штрихові міри довжини використовують для прямого вимірювання лінійних розмірів як шкали вимірювальних приладів, відлікових пристроїв оброблювальних верстатів і зразкові міри.

Штрихові ЗВТ здебільшого виготовляють зі стійких до спрацювання пружинних сталей і покривають хромом. Стандартні штрихові лінійки (ГОСТ 417-75) мають довжину від 150 до 1000 мм з ціною поділок 1 мм. Зразкові міри довжини (брускові) можуть мати ціну поділки 0,1 і 0,2 мм. Їх переважно виготовляють зі спеціальних мідних стопів (інвару) зі збільшеними розмірами, різного за формою поперечного перерізу, споряджають оптичними окулярами, які дають змогу забезпечити високу точність відліку вимірюваних розмірів. Загальна довжина шкали брускових мір коливається від 60 мм до 2000 мм. Вони бувають шести класів точності (від 0 до 5) з допускними відхиленнями, для довжини 200 мм — відповідно від 0,6 до 25 мкм. Лінійки можуть мати один чи два робочі торці, одну чи дві шкали (див. рис. 2.1.6, а).

Штрихові рулетки виготовляють довжиною 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50 і 100 м. Для навчальних та побутових потреб виготовляють штрихові лінійки з пластмас, дерева та інших матеріалів, які через низьку точність не використовують у машинобудуванні.

Точність штрихових лінійок та кутомірів регламентована відповідними стандартами, згідно з якими відхилення номінальних значень розмірів між сантиметровими позначками шкал лінійок і десятковими позначками шкал кутомірів не перевищують $\pm 0,1$ мм, а між міліметровими та градусними позначками відповідно шкал лінійок і кутомірів — $\pm 0,05$ мм.

Точність вимірювання штриховими лінійками згідно зі стандартами і залежно від класу їх точності може бути від 0,1 мм для зразкових та 0,5 мм для робочих лінійок і відповідно $0,5^\circ$ для штрихових плоских кутомірів.

Вимірювання штриховими ЗВТ здійснюють, накладаючи їх на вимірювані поверхні виробів. У разі незручності вимірювання деяких розмірів (діаметрів циліндричних поверхонь, глибини западин, глухих отворів) використовують допоміжні технологічні пристрої (кронциркулі, глибиноміри тощо).

2.2.3. Штангенінструменти та універсальні кутоміри

Штангенінструменти та універсальні кутоміри служать для вимірювання відповідно лінійних і кутових розмірів зовнішніх і внутрішніх поверхонь, відстаней між ними, кутів нахилу, а також для розмічування заготовок перед обробленням їх поверхонь, різанням матеріалів.

Для штангенінструментів відмінною ознакою є наявність у них штанги 1 (рис. 2.2.1, а) з губкою 2 та нанесеною на ній основною шкалою рухомої рамки 6 з губкою 3 та шкалою ноніуса 4. Усі вони мають дві шкали: основну та додаткову (ноніусну). Основна шкала служить безпосередньо для вимірювання розмірів, а додаткова — для підвищення точності відліку основної шкали. Наявність додаткової шкали дає змогу використати здатність людського ока точніше визначати співпадання чи неспівпадання штрихів двох дотичних шкал, ніж оцінювати частку поділки основної шкали.

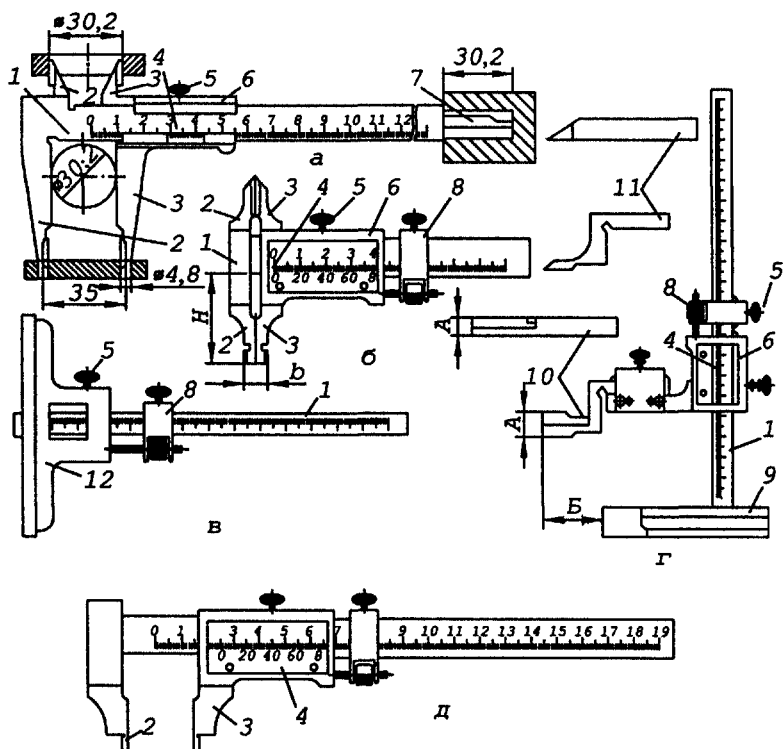


Рис. 2.2.1.

Штангенциркуль ШЦ-I (ГОСТ 166-89; рис. 2.2.1, а) призначений для вимірювання розмірів зовнішніх, внутрішніх поверхонь та глибини западин, а також для розмічування заготовок. Штангенциркуль ШЦ-II (рис. 2.2.1, б) має аналогічне призначення, окрім вимірювання глибини западин (відсутня лінійка глибиноміра). Штангенглибиномір (ГОСТ 162-90; рис. 2.2.1, в) призначений для вимірювання глибини отворів, пазів, западин. Робочими поверхнями глибиноміра є торцева поверхня штанги 1 та основи 12.

Штангенрейсмас (ГОСТ 164-90; рис. 2.2.1, г) здебільшого призначений для розмічування заготовок і вимірювання лінійних розмірів (висотних). Робочими поверхнями його є торцева поверхня основи 9 та нижня поверхня вимірювальних (розмічувальних) ніжок 10 та 11. Оскільки прямі ніжки не забезпечують отримання розмірів від 0 до 30 мм, то для вимірювання менших ніж 30 мм розмірів використовують фігурні ніжки.

Діапазони вимірювання штангенциркулів різних типів визначені відповідними стандартами і можуть змінюватися від 0...125 мм до 1800...3000 мм. Допускні похибки вимірювання штангенінструментів за стандартами становлять від $\pm 0,06$ мм (для діапазону вимірювання 0...150 мм) до $\pm 0,2$ мм (для діапазону вимірювання 800...2000 мм).

Деякі закордонні фірми Швейцарії, Німеччини виготовляють штангенциркулі з круглими плоскими шкалами зі стрілкою як у індикаторних вимірювальних головках, з ціною поділки шкали 0,01 і 0,02 мм.

Ноніусні шкали штангенінструментів будують, використовуючи принцип поділу одної поділки основної шкали на n частинок (переважно 10 чи 20). Кількість поділок ноніусної шкали визначає ціну однієї поділки. Наприклад, для $n = 10$ ціна поділки $1/n = 0,1$ мм, а для $n = 20$ становитиме $1/20 = 0,05$ мм. Довжини ноніусних шкал з конструктивних міркувань приймають переважно 9; 19 мм. Залежно від довжини ноніусної шкали відповідною буде відстань між сусідніми рисками.

У загальному випадку довжину поділки шкали ноніуса визначають як

$$a' = \gamma a - i, \quad (2.2.1)$$

де a' — довжина поділки шкали ноніуса, мм; γ — модуль шкали ноніуса, який приймають відповідно рівним 1, 2, 3; a — ціна поділки основної шкали, мм. Ціна поділки шкали ноніуса

$$i = a/n, \quad (2.2.2)$$

де i — ціна поділки шкали ноніуса, мм; n — кількість поділок шкали ноніуса. Тоді загальна довжина шкали ноніуса

$$l = a'n. \quad (2.2.3)$$

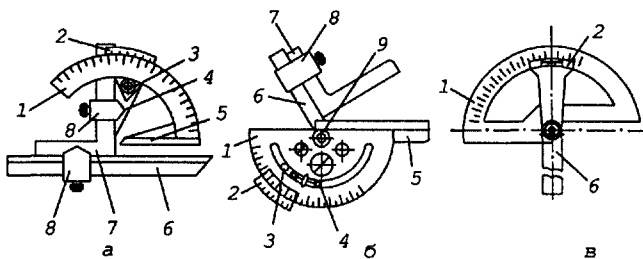


Рис. 2.2.2.

Наприклад, для $i = 0,1\text{мм}$; $a = 1\text{мм}$; $\gamma = 2$ знаходимо за (2.2.2) $n = a/i = 1/0,1 = 10$. Тоді $a' = \gamma a - i = 2 \cdot 1 - 0,1 = 1,9\text{ мм}$, а довжина шкали ноніуса за (2.2.3) — $l = a' = 1,9 \cdot 10 = 19\text{ мм}$. Приймаючи більші значення модуля (більший масштаб), отримують більші довжини шкал ноніуса.

Штрихові ЗВТ кутових розмірів мають кутові шкали переважно у кутових градусах і мінутах. Кутоміри з ноніусом виготовляють трьох модифікацій: типу 2УН (рис. 2.2.2, а), типу 2УМ (рис. 2.2.2, б) і типу 4УМ (рис. 2.2.2, в). В усіх перелічених кутомірах градусна шкала з ціною поділки 1° нанесена на основу 1 кутоміра, по якій пересувається ноніус 2, пов'язаний зі сектором 4. Прикріплюють рухомий сектор з ноніусом до основи за допомогою гвинтового затискача 3.

В універсальному кутомірі (ГОСТ 5378–88; рис. 2.2.2, а) основа 1 має зовнішню циліндричну та внутрішню конічну поверхні. До нижнього краю основи прикріплюють лінійку 5, яка служить однією вимірювальною поверхнею. До сектора 4 за допомогою держака 8 прикріплюють кутник 7, а до нього за допомогою іншого держака — лінійку 6. Бічні поверхні кутника 7 та лінійки 6 є другою вимірювальною поверхнею.

Закріплюючи за допомогою держака 8 кутник 7 чи лінійку 6 у різних комбінаціях, забезпечують можливість вимірювання кутових розмірів у діапазоні від 0 до 320° . Можливі комбінації складання універсального кутоміра для вимірювання кутових розмірів у різних піддіапазонах зображені на рис. 2.2.3.

У кутомірі типу 2УМ (див. рис. 2.2.2, б), який називають *транспортним*, нерухома лінійка 5 є продовженням основи 1. Рухома лінійка 6, до якої за допомогою держака 8 прикріплюють кутник 7, зв'язана зі сектором, який може повертатися на осі 9. Кутомір має механізм 4 для точного переміщення рухомого сектора. Кутомір 4УМ (див. рис. 2.2.2, в) має тільки одну рухома лінійку 6, на кінці якої закріплений ноніус 2 з ноніусною шкалою. Другою вимірювальною поверхнею є нижня поверхня основи 1.

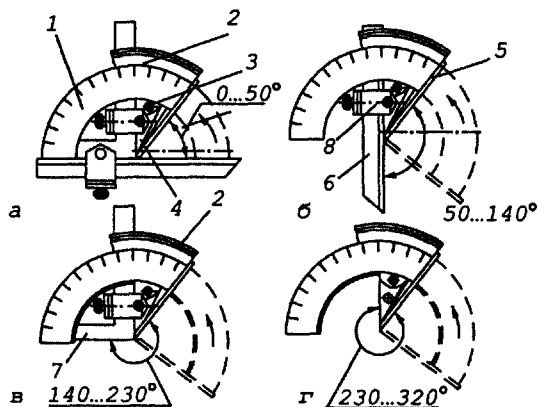


Рис. 2.2.3.

Ціна поділки ноніусних шкал кутомірів залежить від їх конструкції. Наприклад, ціна поділки кутомірів типу 2УН і 2УМ має 2 кутові мінути, а кутоміра типу 4УМ — 15 кутових хвилин.

Для вимірювання малих кутових розмірів використовують рівні, чутливим елементом яких є скляна прозора циліндрична ампула, зігнута дугою значного радіуса. Ампула наповнена спеціальною рідиною, у якій плаває кулька пари цієї рідини. Кулька намагається зайняти найвище положення в ампулі і є покажчиком шкали рівневого кутоміра.

Штрихова шкала з лінійною відстанню 2 мм між сусідніми поділками нанесена на верхній циліндричній поверхні ампули. Ціна поділки рівневих кутомірів різних типів становить 0,02...0,15 мм/м (кутових секунд).

2.2.4. Мікрометри

Мікрометри (ГОСТ 6507-90; рис. 2.2.4) служать для вимірювання лінійних розмірів зовнішніх і внутрішніх поверхонь, глибин отворів, пазів, висоти уступів тощо. Відмінною конструктивною ознакою мікрометрів є наявність у них точного мікрометричного різьбового з'єднання з малим кроком (0,5 мм), яке служить для перетворення малих переміщень гвинта у більші лінійні переміщення на зовнішній циліндричній поверхні барабана (гайки). Тому ціна поділки додаткової шкали з n поділками

$$i = P/n, \quad (2.2.4)$$

де P — крок різьби, мм.

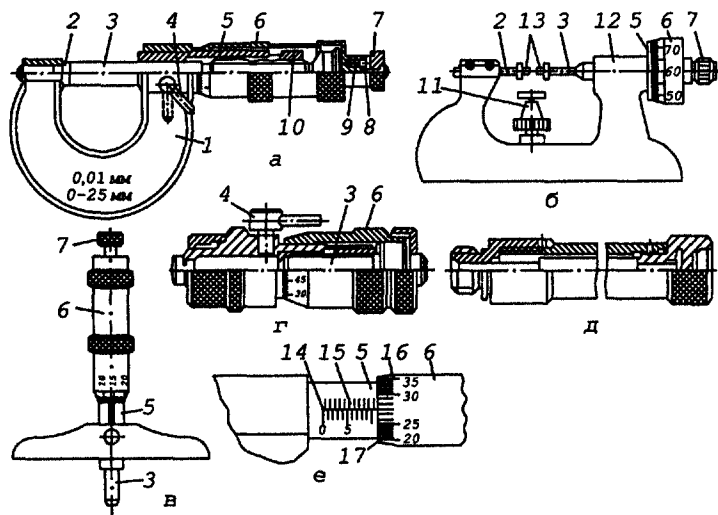


Рис. 2.2.4.

Результат вимірювання отримують як суму показів основної шкали 15 (рис. 2.2.4, е), що нанесена вздовж циліндричної поверхні нерухомої гайки 5 (рис. 2.2.4, а) та торцевої поверхні барабана 6, який жорстко закріплений на гвинті 3 та разом з ним може рухатися вздовж своєї осі відносно вимірювальної п'ятки 2 скоби 1. Конструкція мікрометричної скоби зображена на рис. 2.2.4, а, а пристрій відліку — на рис. 2.2.4, е.

Гладкі мікрометричні скоби (рис. 2.2.4, а, б) служать для вимірювання розмірів зовнішніх поверхонь, *глибиномири* (рис. 2.2.4, в) — для вимірювання глибини западин, а *мікрометричні нутромири* (рис. 2.2.4, г) — для вимірювання внутрішніх поверхонь. П'ятка 2 гладкого мікрометра (рис. 2.2.4, а, б), яку часто роблять регульованою, служить для точного виставлення шкали на нульову позначку.

Рекомендують такий порядок налагодження мікрометра на нульовий розмір. Спочатку мікрометричний гвинт закріплюють за допомогою ексцентрикового затискача. Після цього, відпустивши кінцеву гайку та роз'єднавши барабан 6 з мікрометричною гайкою 5, виставляють положення барабана відповідно до нульового значення розміру на коловій шкалі 16 (рис. 2.2.4, е) і закручують кінцеву гайку, з'єднуючи тим самим барабан 6 і мікрометричну гайку 5.

Ручка храпового механізму 7 зі штифтом 8 і пружиною 9 утворюють муфту, що запобігає перевантаженню мікрометричного гвин-

тової пари. Повертаючи мікрометричний гвинт за допомогою ручки 7, забезпечують величину вимірювальної сили, що тисне на п'ятку, від 5 до 9Н.

Діапазон показів шкали мікрометрів для скоб і глибиномірів (ГОСТ 7470–92) від 0 до 25 мм, а для нутромірів (ГОСТ 10–88) — від 0 до 13 мм. Такий малий діапазон показів зумовлений складністю виготовлення точних мікрометричних гвинтових пар значних повздовжніх розмірів. Збільшення вимірюваних за допомогою мікрометрів розмірів досягають відповідними змінами їх конструкцій, залишаючи сталою вимірювальну мікрометричну головку зі стандартним діапазоном показів. Збільшення діапазонів вимірювання для скоб вимагає відповідного збільшення розмірів їх конструкцій, а для глибиномірів і нутромірів — застосування відповідних подовжувачів 3 для мікрометричних гвинтів (рис. 2.2.4, в) та стержнів нутромірів (рис. 2.2.4, д), що мають спеціальні поверхні для з'єднання їх з мікрометричними головками.

Для настроювання мікрометричних засобів вимірювання з більшими від 25 мм діапазонами вимірювання на початкову позначку шкали їх комплектують спеціальними кінцевими мірами. Для гладких мікрометрів кінцевими мірами є спеціальні стержні, для глибиномірів — спеціальні трубки, а для нутромірів — гладкі мікрометричні скоби. За допомогою спеціальної кінцевої міри налагоджують шкали засобів як на умовну нульову, так і на умовну кінцеву позначки. Це дає змогу за допомогою однієї кінцевої міри перекривати розміри $2 \times 25 \text{ мм} = 50 \text{ мм}$. Тому відповідно до стандартів визначений такий ряд діапазонів вимірювання для гладких мікрометричних скоб і глибиномірів: 0...25 мм; 25...50 мм; 50...75 мм; 75...100 мм; 100...200 мм (з двома кінцевими мірами довжиною 125 мм і 175 мм); 300...2000 мм.

Для нутромірів найменші вимірювані розміри отворів зумовлені конструктивними розмірами мікрометричної головки. Тому діапазони вимірювання для них такі: 50...63 мм; 60-73 мм; до 500...600 мм.

Крім гладких мікрометричних скоб, виготовляють також важільні, зубомірні та інші мікрометри спеціального призначення (для вимірювання товщини листових матеріалів, стінок труб тощо), а деякі зарубіжні фірми виробляють також мікрометри з цифровим відліком або вимірювальними головками. Мікрометри з цифровими шкалами дають змогу зменшити втомлюваність працівників під час багатьох вимірювань, підвищити продуктивність їх праці та точність вимірювання, що пояснюється меншою кількістю помилок у результатах вимірювання.

Допускні похибки мікрометрів встановлені у відповідних стандартах для кожного типу та залежно від класу їх точності. На-

приклад, допускна похибка гладких мікрометрів становить від $\pm 0,002$ мм для 1 класу точності та діапазону вимірювання до 100 мм, до $\pm 0,01$ мм для 2 класу точності та діапазону вимірювання 500...600 мм.

2.2.5. Вимірювальні головки

Вимірювальною головкою називають ЗВТ з порівняно малим діапазоном показів шкали та значною чутливістю. Вимірювальні головки широко застосовуються для побудови ЗВТ та контрольно-вимірювальних пристроїв, у яких використовують відносний спосіб вимірювання. Такі пристрої здебільшого складаються зі стояка (корпуса, основи тощо), предметного столика та вимірювальної головки [21].

Прикладом такого ЗВТ може бути вертикальний пристрій, зображений на рис. 2.2.5. Пристрій складається з основи 1, предметного столика 2, прямої колони 12 з гвинтовою різьбою, підпори 11, у якій закріплена вимірювальна головка, встановлюють вимірювальну головку на заданій висоті над предметним столиком шляхом переміщення підпори 11 та закріплюючи її у заданому положенні затискачем 10.

Вимірювальна головка служить для визначення відхилень Δx вимірюваного розміру від заданого за допомогою блока кінцевих

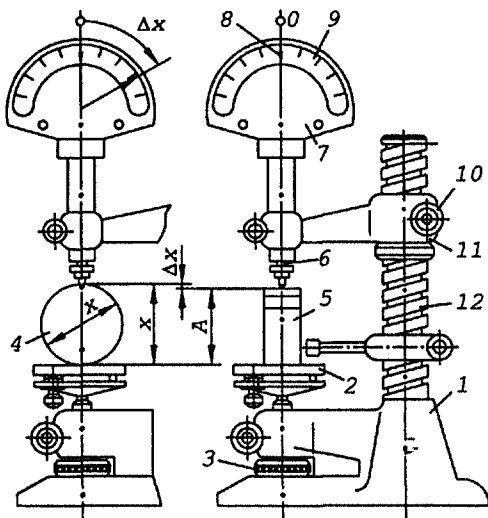


Рис. 2.2.5.

мір розміру A . Встановивши спочатку на предметний столик блок 5 кінцевих мір чи еталонний виріб з відомим розміром, налагоджують вимірювальну головку на нульову позначку її шкали 9. Для цього переміщують підпору 11 до зіткнення щупа 6 вимірювальної головки 7 з верхньою поверхнею блока кінцевих мір, а після цього плавним переміщенням предметного столика 2 за допомогою ручки 3 гвинтового механізму досягають точного встановлення покажчика 8 шкали вимірювальної головки навпроти нульової позначки шкали 9. Потім, замінивши блок 5 вимірюваним виробом 4, за показами стрілки на шкалі 9 знаходять відхилення розміру виробу від заданого розміру блока кінцевих мір. Для отримання самого розміру виробу x залежно від знаку відхилення (переміщення покажчика вправо чи вліво від нульової позначки шкали) додають чи віднімають отримане відхилення від розміру A , тобто

$$x = A \pm \Delta x, \quad (2.2.5)$$

де x — вимірюваний розмір виробу, мм; A — заданий розмір блока кінцевих мір, мм; Δx — відхилення покажчика вимірювальної головки від нульової позначки шкали, мм.

Деякі конструкції вимірювальних головок мають гвинтові механізми для точного налагодження їх показів на нульову позначку шкали. У цьому разі зникає необхідність такого механізму у конструкції предметного столика.

За допомогою вимірювальних головок будують конструкції контрольно-вимірювальних технологічних пристроїв для дослідження відхилень форми поверхонь, їх взаємного розміщення, биття робочих (базових) поверхонь відповідальних деталей (шпинделів і карусельних столів оброблювальних верстатів, роторів турбін та електродвигунів, колінчастих валів двигунів внутрішнього згорання, компресорів і прокатних станів, осей коліс транспортних засобів тощо).

За умови забезпечення заданої жорсткості конструкцій стояків чи корпусів зазначених пристроїв досягають високої точності (до $\pm 0,001$ мм) вимірювання. Завдяки використанню інтерференційних способів вимірювання атестують кінцеві міри довжини з точністю до сотих часток мікрометра. Вимірювальні головки використовують також для абсолютних вимірювань малих розмірів виробів, якщо їх значення не перевищує діапазон вимірювання шкали.

Конструкції вимірювальних головок будують на підставі багатьох принципів перетворення малих переміщень у великі (механічних, оптичних, пневматичних, електричних, комбінованих з двох і більше принципів тощо). Найбільш поширені з них завдяки простоті та надійності конструкції механічні, оптичні та комбіновані.

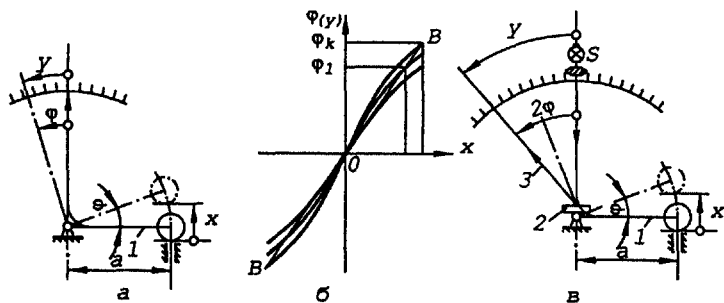


Рис. 2.2.6.

Вимірвальні головки з важільними передачами є чи не найпростішими з них. Їх часто комбінують із зубчастими передачами. Основна вимога до вимірвальних головок — забезпечення лінійності їх характеристики для якомога більшого переміщення вимірвального штока зі щупом.

Прикладом може бути синусна важільна передача (рис. 2.2.6, а), характеристика залежності показів шкали якої (чи кута φ відхилень стрілки) від переміщення вимірвального щупа x зображена на рис. 2.2.6, б. Як бачимо, характеристика цієї передачі не є лінійною. Тому завданням конструкторів вимірвальних головок є добір таких співвідношень довжин плеча a важеля та покажчика стрілки, щоб у діапазоні вимірювання (переміщення щупа) відхилення від лінійності не перевищувало заданої величини. Дослідження свідчать, що для забезпечення допускового значення відхилення стрілки φ_k довжина плеча a має відповідати коефіцієнту передачі з умовою, що кут $\varphi_1 = 0,87 \varphi_k$.

Для збільшення чутливості та точності відліку таких вимірвальних головок замість механічного покажчика використовують оптичний промінь 3 (рис. 2.2.6, в), відбитий від дзеркальця 2, встановленого на важелі 1 замість покажчика. Якщо дзеркальце відхиляється на кут φ , то відбитий від нього промінь світла відхиляється на кут 2φ , що забезпечує відповідно удвічі більшу чутливість вимірвальної головки.

Перевагою оптичного променя над механічним покажчиком є його безінерційність і відсутність явища паралакса (різних значень показів шкали залежно від кута зору).

Вимірвальні головки з зубчастими передачами (ГОСТ 877–68). За таким принципом будують вимірвальні головки (індикатори) годинникового типу з діапазонами вимірювання: 0...2 мм; 0...3 мм; 0...5 мм і 0...10 мм. Відповідно ціна поділки їх шкали може становити 0,002...0,01 мм. Кінематична схема вимірвальної го-

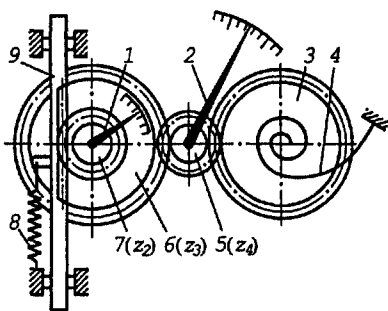


Рис. 2.2.7.

ним на його осі показником 2 довжиною $R = 25$ мм. Повний оберт зубчастого колеса 5 з показником 2 відповідає переміщенню вимірювального щупа 9 на 1 мм, а шкала має 100 поділок. Тому ціна однієї поділки $i = 1 \text{ мм}/100 = 0,01 \text{ мм}$.

Для відліку кількості повних обертів стрілки 2 (цілих міліметрів) служить додатковий малий показник 1, встановлений на осі зубчастого колеса 7, і груба (основна) шкала з ціною поділки 1 мм. Спіральна пружина 4, закріплена на осі додаткового великого зубчастого колеса 3, служить для усунення проміжка, який міг би зумовлювати похибки вимірювання під час зворотного руху вимірювального щупа 9. Вимірювальне зусилля на щупі 9, залежно від кута закручування пружини 4, перебуває у межах від 0,8 до 2 Н. Для збільшення початкового зусилля вимірювання до вимірювального щупа 9 прикріплюють додаткову пружину 8.

Чутливість такої вимірювальної головки

$$u = \frac{2\pi R}{2\pi \frac{z_4 m z_2}{z_3^2}} = \frac{2R z_3}{m z_4 z_2}, \quad (2.2.6)$$

де u — чутливість вимірювальної головки; R — довжина показника шкали, мм; m — модуль зубчастих рейки та коліс 7, 6 і 5, мм.

Точність вимірювальної головки обмежена точністю зубчастих передач і визначена відповідно до стандартів залежно від класу їх точності (0 або 1). Допускна похибка вимірювальної головки з ціною поділки точної шкали 0,01 мм та довжиною шкали у 10 обертів згідно зі стандартом становить $\pm 0,01$ мм для діапазону вимірювання 0...2 мм та $\pm 0,025$ мм для діапазону 0...5 мм.

Вимірювальні головки з важільно-зубчастою передачею (ГОСТ 9696–82). Точність вимірювальної головки зі зубчастими передача-

ми зумовлюється переважно точністю зубчастої передачі рейка — перше зубчасте колесо. З метою підвищення точності вимірювальних головок цю передачу у деяких конструкціях замінюють важільною передачею (рис. 2.2.8).

За такою кінематичною схемою побудовані вимірювальні головки типу МКМ, ортотестів, мілімес, альмілімес, УГМ (багатообертова), важільні мікрметри тощо. Такі вимірювальні головки мають ціну поділки шкали від 0,5 до 2 мкм, діапазони вимірювання від — 30 до +30 мкм і від — 100 до 100 мкм. Принцип дії такої вимірювальної головки зображений на рис. 2.2.8, а. Основною відмінністю її є важільна передача на вході. Пружина 5 усуває вільний хід, зумовлений проміжками у передачах, а пружини 6 і 7 створюють вимірювальне зусилля. Для захищення від ударних навантажень на вимірювальному щупі 1 передбачено спеціальний виступ, що служить упором. Чутливість таких вимірювальних головок

$$u = \frac{l\varphi}{\varphi \frac{r_3}{r_2} r_1} = \frac{r_2 l}{r_1 r_3}, \quad (2.2.7)$$

де l — довжина покажчика шкали, мм; r_1 — довжина короткого плеча важеля 2, мм; r_2 і r_3 — радіуси відповідно зубчастих сектора 2 і колеса 3, мм. Наприклад, для вимірювальної головки з $i = 0,001$ мм, $r_2 = 100$ мм, $r_1 = 5$ мм; $r_3 = 1$ мм; $l = 50$ мм

$$u = \frac{100 \cdot 50}{5 \cdot 1} = 1000.$$

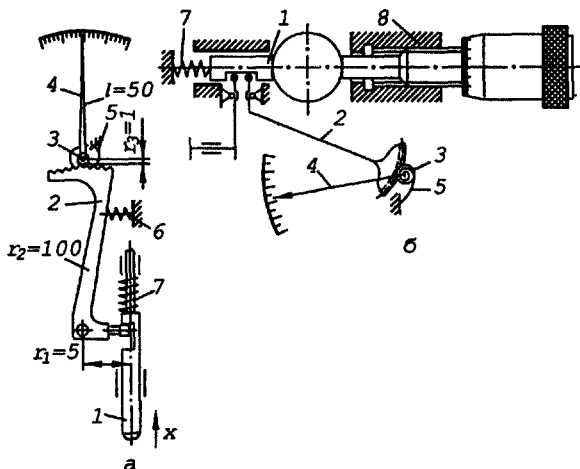


Рис. 2.2.8.

Основна похибка для всього діапазону вимірювання таких головок за стандартом становить 0,3 мкм (для $i = 0,5$ мкм) і 1 мкм (для $i = 1$ мкм).

Кінематична схема важільно-зубчастого мікрометра, у якому, крім важільної та зубчастої передач, є ще й мікрометрична гвинтова пара 8, зображена на рис. 2.2.8, б. Діапазони вимірювання таких головок — 0...25 мм і 25...50 мм, а ціна поділки для діапазону показів шкали ± 30 мкм становить 0,001 мм.

Вимірювальні головки з пружинною передачею (мікротатори) для перетворення малих переміщень вимірювального щупа у значні переміщення покажчика шкали мають плоскі прями чи скручені пружинні стрічки. Такі головки широко застосовуються завдяки відсутності у них похибок, зумовлених наявністю проміжків (вільних ходів), спрацюванням і тертям поверхонь рухомих

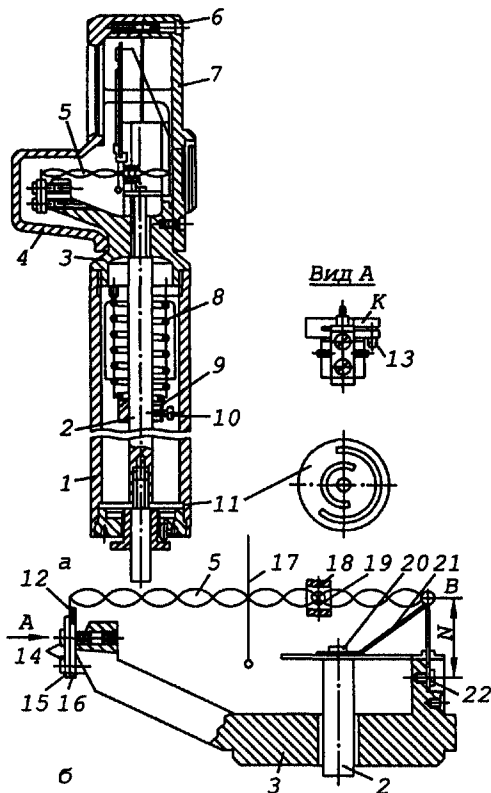


Рис. 2.2.9.

елементів. Вони відрізняються високою надійністю, тому їх використовують для вимірювання не тільки лінійних розмірів, але й параметрів шорсткості поверхонь, відхилень форми та взаємного їх розміщення. Ціна поділки шкали таких головок становить від 0,0001 до 0,01 мм.

Принцип дії вимірювальних головок (рис. 2.2.9) полягає у залежності розтягування тонкої скрученої металевої стрічки та кута повертання її середнього перерізу навколо поздовжньої осі. Товщину стрічки з берилієвої бронзи беруть від 0,003 до 0,008 мм, а ширину — від 0,15 до 0,3 мм. Весь механізм головки (рис. 2.2.9, а) вмонтований у корпусі, складеному із трубки 1, каркаса 3, кришок 4 (з прозорим скляним віконцем) і 7. Вимірювальний щуп 2 нижнім кінцем прикріплений до плоскої пружини 11. Вимірювальне зусилля 1,8...2,5 Н створюють за допомогою гвинтової пружини 8, закріпленої хомутом 9 і гвинтом 10. Скручена стрічка 5 (рис. 2.2.9, б) одним кінцем кріпиться до нерухомої пружинної пластини 12, за допомогою якої створюють початковий натяг стрічки 5. Другим кінцем вона з'єднана з пружинним трикутником 21, прикріпленим за допомогою гвинта 20 до вимірювального щупа, а гвинтом 22 — до каркаса 3.

На середині скрученої стрічки 5 закріплений показчик 17 шкали. Переміщення вимірювального щупа 2 зумовлює відповідне розтягування стрічки 5 та повертання її разом з показчиком шкали на кут, що відповідає цьому переміщенню. Демпфер 18 служить для гальмування коливань скрученої стрічки 5 разом з показчиком.

Недоліком таких головок є дуже тонкий показчик, що втворює зір вимірювальників, і порівняно значний паралакс шкали.

2.2.6. Оптиметри

Оптиметрами називають ЗВТ з важільно-оптичними передачами. Їх широко використовують як стаціонарні (настільні) засоби вимірювання з високою точністю та чутливістю. Похибки вимірювання оптиметрів типу ОВО-1 і ОГО-1 не перевищують $\pm 0,0002$ мм для діапазону вимірювання від 0 до 0,06 мм [21].

Конструктивно оптиметри виконують у вигляді масивних вимірювальних засобів з чавунними стояками та екранами. На рис. 2.2.10 зображено горизонтальний оптиметр, складений з основи 1, напрямного вала 3, лівої та правої підпор 2, трубки оптиметра 10, предметного столика 9, ексцентрикового затискача 8, пінолі 7, фіксатора 6, мікрометричного гвинта 5, корби 4 вертикального переміщення предметного столика, правого та лівого держаків 11

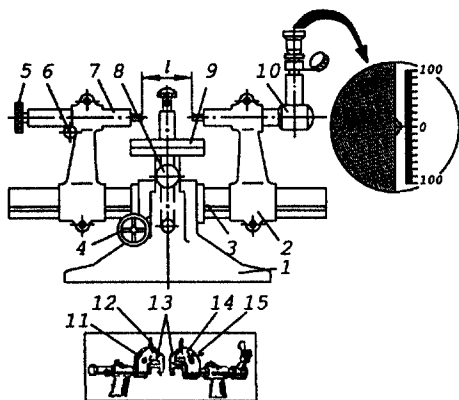


Рис. 2.2.10.

і 14, двох гвинтових затискачів 12, двох вимірювальних дуг 13 та аретира 15.

Предметний столик може повертатися навколо вертикальної осі і закріплений затискачем 8. У пінолі 7, що переміщається за допомогою мікрометричного гвинта 5, закріплюють змінний щуп, який використовують для вимірювання розмірів тільки зовнішніх поверхонь. Для вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь застосовують змінні правий та лівий держачи 11

і 14 і вимірювальні дуги 13 з гвинтовими затискачами 12.

Лівий держак прикріплюють до зовнішньої поверхні пінолі, а правий — до зовнішньої поверхні труби оптиметра. Вимірювальні дуги 13 за допомогою гвинтових пружин і запресованих у них кульок притискають до вимірювальних щупів пінолі та трубки оптиметра. Праву вимірювальну дугу від зразкової внутрішньої циліндричної поверхні чи вимірюваної внутрішньої поверхні виробу під час їх встановлення та знімання відводять за допомогою аретира 15 (щоб уникнути спрацювання робочих вимірювальних поверхонь). Вимірювальні дуги роблять малими і великими відповідно для вимірювання розмірів отворів від 13,5 до 26,5 мм і більше.

Виготовляють горизонтальні та вертикальні оптиметри багатьох типів. За вимірювальну головку для оптиметрів служить трубка оптиметра, принцип дії якої ґрунтується на явищах автоколімації та оптичного важеля. Це дає змогу перетворювати незначні переміщення вимірювального щупа у значні переміщення світлової шкали відносно нерухомого світлового покажчика.

Принцип дії трубки оптиметра зрозумілий з рис. 2.2.11. Переміщення вимірювального щупа зумовлює повертання дзеркала довкола його осі. Для вертикального положення дзеркала точковий об'єкт S_0 (наприклад, світлова точка), пройшовши через об'єтив і відбившись від дзеркала, сфокусується у фокальній площині у точці S_0' (рис. 2.2.11, а). Поворот дзеркала на кут α (рис. 2.2.11, б) зумовить відхилення світлового променя на кут 2α , а зображення об'єкта S_0 переміститься у точку S_0'' . Величина зміщення

$$H = Ftg2\alpha, \quad (2.2.8)$$

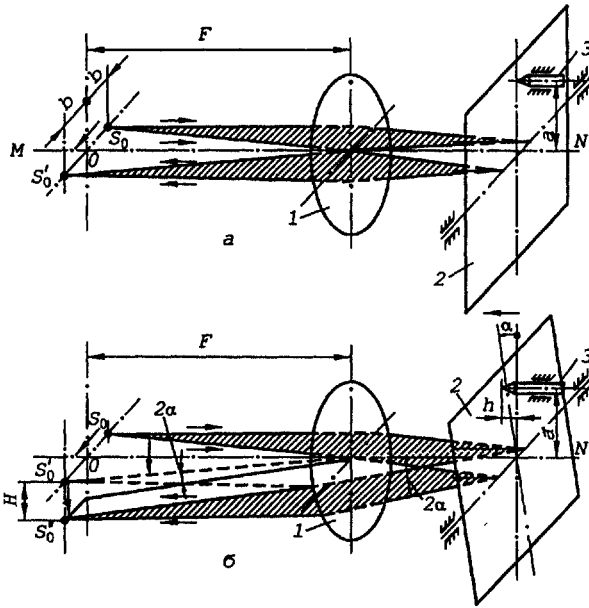


Рис. 2.2.11.

де H — переміщення зображення точки S_0 , зумовлене поворотом дзеркала на кут α , мм; F — фокусна відстань об'єктива, мм; α — кут повороту дзеркала від його початкового положення, $^\circ$.

У трубці оптиметра замість світлової точки поміщають нерухому шкалу, яку підсвічують. Тоді замість світлової точки на екрані трубки буде видно світлову шкалу, яка буде переміщатися у вертикальному напрямку залежно від кута повороту дзеркальця 2 відносно нерухомого та темного покажчика шкали. Шкала оптиметра має ± 100 поділок з інтервалом $0,08$ мм. Переміщення вимірювального щупа 3 на величину h зумовлює переміщення шкали на величину H , а чутливість трубки оптиметра

$$u = \frac{H}{h} = \frac{F \operatorname{tg} 2\alpha}{\alpha \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.2.9)$$

де α — відстань від осі вимірювального щупа до осі повертання дзеркала, мм. Оскільки кут повертання дзеркала дуже малий, то вираз (2.2.9) можна записати як

$$u \approx \frac{2F}{\alpha}. \quad (2.2.10)$$

Наприклад, для $F = 200$ мм і $a = 5$ мм $u \approx 80$. Отже, переміщення вимірювального щупа на 1 мкм зумовить переміщення шкали оптиметра 8 на 80 мкм. Відлік показів шкали роблять за допомогою окуляра з 12-тикратним збільшенням, тому загальна чутливість оптиметра $u_3 = u \cdot 12 = 80 \cdot 12 = 960$, а видимий через окуляр інтервал шкали оптиметра $i = 0,08 \cdot 960 = 0,96$ мм. Ціна поділки шкали оптиметра $i = 0,96/960 = 0,001$ мм.

З використанням трубки оптиметра розроблені конструкції вертикального, горизонтального оптиметрів, а також довгомірів.

2.2.7. Універсальні оптичні ЗВТ

Універсальні оптичні ЗВТ широко застосовуються завдяки їх високій точності, надійності та довговічності. До таких засобів належать довгоміри, інструментальні та універсальні мікроскопи, проектори тощо [21].

Довгоміри використовують для вимірювань абсолютних розмірів зовнішніх і внутрішніх поверхонь. Залежно від конструкції довгоміри бувають горизонтальні та вертикальні. Діапазон вимірювання горизонтального довгоміра 0...200 мм, а вертикального — 0...500 мм. Ціна поділки шкали довгомірів 0,001 мм.

Конструктивна схема вертикального довгоміра зображена на рис. 2.2.12. На його вимірювальному щупі 4 закріплена скляна міліметрова шкала 5, що має 100 поділок. Вимірювання розміру виробу 2 полягає у визначенні переміщення шкали, підсвіченої джерелом світла 13 відносно нерухомого відлікового мікроскопа 7. За допомогою ручки 8 налагоджують мікроскоп на нульову позначку. Вимірювальний щуп підвішений за допомогою сталеві стрічки 10, шківів 11, 12 і протизаги 14, розміщеної в олійному демпфері 13. Співвісність вимірюваного розміру зі шкалою забезпечує виконання вимог принципу Аббе. Ручкою 6 повертають спіральний ноніус відліку сотих і тисячних часток міліметра. Вимірювальний тиск регулюють за допомогою тягарців 9, шнур 16 служить за аретир.

У мікроскоп 7 (рис. 2.2.12, б) видно подвійні лінії архімедової спіралі 22 та три шкали: міліметрову 23, нанесену на скляну пластину 5; дециміліметрову 24, нанесену на пластину 19 мікроскопа з ціною поділки 0,1 мм; шкалу, утворену за допомогою спіралі 22 і кругової шкали 21 з ціною поділки 0,001 мм, нанесену на скляну круглу пластину 18. Кругова шкала має 100 поділок. Дециміліметрова шкала 24 та кругова шкала з архімедовою спіраллю 22 перебувають у фокальній площині окуляра 17. На цю ж площину за допомогою об'єктива 20 проектується зображення міліметрової

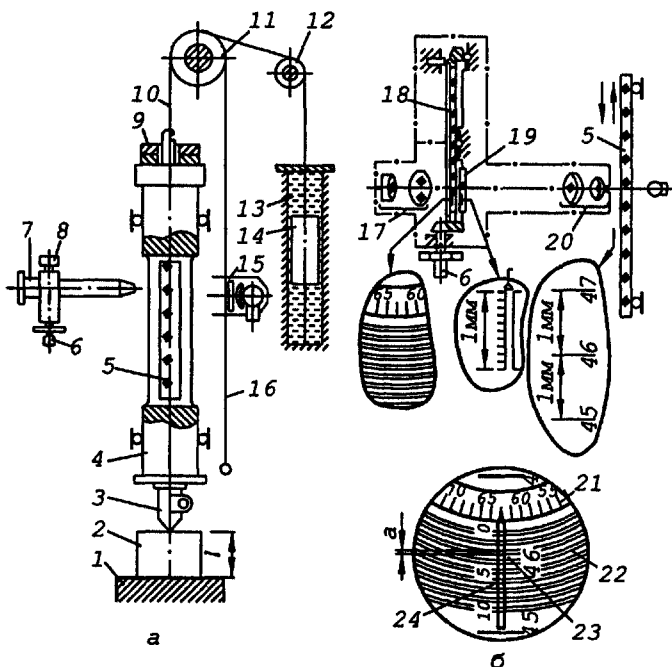


Рис. 2.2.12.

шкали 23 з пластинки 5, що переміщується разом з вимірювальним щупом. Положення шкали 5 відносно нерухомої дециміліметрової шкали залежить від вимірюваного розміру.

Міліметри відраховують за рисою на міліметровій шкалі, що міститься у межах дециміліметрової шкали — 46 мм. Кількість поділок дециміліметрової шкали, відрахована до риски міліметрової шкали, становить десяти частки міліметра (маємо розмір 46,3 мм).

Для визначення частки поділки a дециміліметрової шкали (рис. 2.2.12, б) служить архімедова спіраль і розміщена у її середині кругова ноніусна шкала. Ручка 6 зумовлює (рис. 2.2.12, а) повертання пластинки 18 з круговою шкалою та спіраллю. Витки спіралі зміщуються відносно дециміліметрової шкали, а кругова шкала служить для відліку зміщення витків спіралі вздовж дециміліметрової шкали. Ціна поділки кругової шкали дорівнює величині зміщення витка вздовж дециміліметрової шкали на одну поділку. Крок спіралі p дорівнює одній поділці дециміліметрової шкали, тобто 0,1 мм. Тому за повний оберт кругової шкали витки

спіралі змістяться вздовж дециміліметрової шкали на одну її поділку, а ціна поділки кругової шкали $i = p/100 = 0,1/100 = 0,001$ мм.

Повний відлік розміру 46,362 мм на довгомірі отримують так: міліметри знаходять за допомогою риски міліметрової шкали (46 мм), десяті частки міліметра визначають за дециміліметровою шкалою (0,3 мм), а за круговою шкалою — соті та тисячні частки міліметра (0,062 мм).

На деяких типах довгомірів встановлюють оптичні проєкційні пристрої для відліку розмірів та оптичний мікрометр з плоскопаралельною кінцевою мірою замість спірального мікрометра, що полегшує роботу з ними та підвищує точність відліку результатів вимірювання.

Інструментальні мікроскопи (ГОСТ 8074–82) призначені для вимірювання лінійних і кутових розмірів виробів (різальних інструментів, калібрів, шаблонів, кулачків тощо). За конструкцією їх поділяють на малі — з діапазоном вимірювання 0...75 мм (рис.2.2.13, б); великі — з діапазоном вимірювання 0...150 мм (рис.2.2.13, а); бінокулярні — з діапазоном вимірювання 0...150 мм; з проєкційними екранами та цифровим відліком результатів вимірювання.

Порядок вимірювань за допомогою інструментальних мікроскопів такий: різні точки поверхні виробу, розміщеного на предметному столику, візують окуляром мікроскопа, повертають стіл з виробом навколо вертикальної осі і за допомогою мікрометричних та оптичних відлікових пристроїв визначають координати заданих точок.

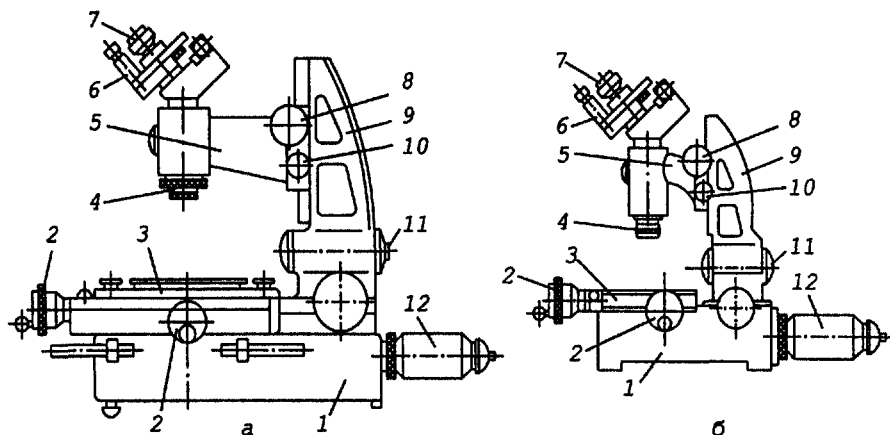


Рис. 2.2.13.

За отриманими результатами вимірювань знаходять лінійні та кутові розміри виробу.

Для візування точок виробів інструментальні мікроскопи мають змінні об'єктиви з різним ступенем збільшення (у 10, 15, 30 і 50 разів з відповідними полями зору 21, 14, 7 і 4,2 мм), а для вимірювання кутових розмірів використовують спеціальну кутомірну окулярну головку. Окрім цього, використовують проєкційні, фотографічні та установно-закріплювальні (для складних за формою виробів) пристрої.

Великий інструментальний мікроскоп (рис. 2.2.13, а) має високу точність вимірювання лінійних переміщень у двох перпендикулярних між собою координатах, з діапазоном показів шкал 0...25 мм, ціною поділки мікрометричних головок 0,005 мм. Предметний столик може повертатися на кут 360° ; ціна поділки шкали кутoměра повертання стола — 3 кутових мінути. Для збільшення діапазону вимірювання лінійних розмірів вздовж предметного столика до 0...150 мм і впоперек його до 0...50 мм між мікрометричним гвинтом та предметним столиком вставляють кінцеві міри відповідного розміру. Колона 11 мікроскопа може нахилитися на кут $\pm 12'30''$.

Розглянемо кутомірну окулярну головку для інструментальних мікроскопів (рис. 2.2.14). Вимірювані вироби візують на фоні прозорої сітки 8, яку видно в окулярі 1. Замість сітки 8 інколи застосовують сітку 6 з додатковими штриховими лініями, що дають змогу підвищити точність візування. Кутoměрна головка має градусну шкалу 3, що підсвічується відбитим від дзеркала 5 світлом, яку видно в окулярі 2. Повертання сітки 8 за допомогою ручки 7 навколо оптичної осі зумовлює відповідне зміщення градусної шкали 3 відносно нерухомої шкали 4.

Вимірюють кутові розміри шляхом суміщення однієї зі штрихових ліній сітки 8 зі сторонами вимірюваного кута. Ціна поділки кутомірної шкали головки — $1'$.

Універсальні мікроскопи відрізняються від інструментальних тим, що замість відліку лінійних переміщень предметного столика за допомогою мікрометричних гвинтових головок застосовані спіральні відлікові мікроскопи з ціною поділки шкали 0,001 мм, а діапазони їх переміщень становлять відповідно 0...200 мм вздовж і 0...100 мм уперек столика. На предметному столику

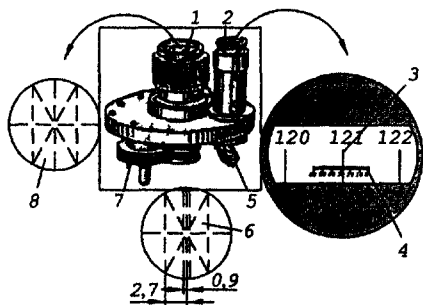


Рис. 2.2.14.

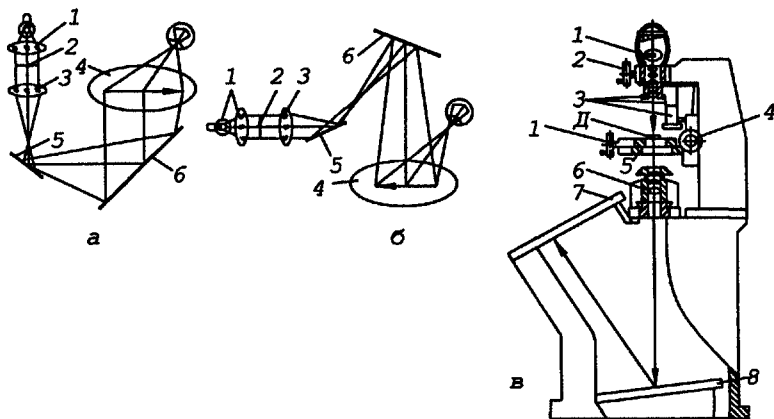


Рис. 2.2.15.

універсального мікроскопа можна встановити виробу довжиною до 750 мм, шириною до 100 мм і висотою до 160 мм.

Проектори служать для вимірювання та контролювання виробів, спроєктованих на екран зі заданим ступенем збільшення. Є чимало типів проєкторів, принцип дії яких полягає у проєктуванні виробів на екран та порівнянні отриманої світлової проєкції з проєкцією виробу, виконаною на прозорому матеріалі (кальці, плівці, склі тощо), або вимірюванні розмірів отриманої на екрані проєкції за допомогою засобів вимірювання. Проєкції малих за розмірами виробів виконують із заданим збільшенням, що дає змогу відповідно підвищувати точність вимірювання чи контролю розмірів виробу.

Проектор дає змогу також контролювати розміри, форму поверхонь і відхилення їх взаємного розміщення без вимірювання їх дійсних величин, оскільки на виготовлені проєкції виробів можна наносити не тільки номінальні контури поверхонь виробів, а й поля допусків. Тому, оцінюючи, чи перебуває оптична проєкція виробу у межах полів допусків, роблять висновок про придатність чи непридатність виробу без вимірювання його розмірів.

Проектори можуть працювати як у прохідному, так і у відбитому світлі. На рис. 2.2.15, а зображена оптична схема проєктора з прозорим, а на рис. 2.2.15, б — з непрозорим екранами. Світло від джерела через конденсор 1 паралельним пучком спрямовується на контрольований чи вимірюваний виріб 2. За допомогою об'єктива 3 істинне обернене зображення виробу через дзеркала 5 та 6 проєктується на прозорий (рис. 2.2.15, а) та непрозорий (рис. 2.2.15, б) екрани 4.

Виготовляють проектори з круглими та прямокутними екранами розміром 250 мм, 400 мм і більше. Так званий годинниковий проектор (рис. 2.2.15, *в*) призначений для вимірювання розмірів і контролю малогабаритних виробів (деталей, інструментів тощо). Він складається з освітлювача 1, змінних конденсорів 3, предметного столика 5 з повздовжнім і поперечним мікрометричними гвинтами 4 і 9, з ціною поділки 0,001 мм, об'єктива 6, дзеркала 8 і екрана 7. Ручкою 2 механізму руху столика у вертикальному напрямку фокусують зображення на екрані. Змінні об'єктиви дають змогу збільшувати зображення виробів у 10–200 разів. Екран проектора прямокутний з розміром 560 × 460 мм. Виготовляють такі проектори з цифровим відліком переміщень столика.

2.2.8. Пневматичні засоби вимірювання

Принцип дії пневматичних засобів вимірювання полягає у залежності тиску та витрат повітря від поперечного перерізу вихідного сопла (рис. 2.2.16, *а*), які можуть змінюватись від наближення чи віддалення від поверхні досліджуваного виробу [20].

Повітря сталого тиску H надходить у камеру 3 через вхідне сопло 1 і виходить через сопло 2 меншого перерізу, але через зміну відстані z торцевої поверхні сопла від стінки виробу переріз вихідного отвору сопла відповідно змінюється і тому тиск повітря h у середині камери 3 є функцією поперечного перерізу вхідного f_1 та вихідного f_2 сопел і коефіцієнта витікання. Якщо до вихідного сопла 2 наблизити поверхню N , то тиск у камері 3 відповідно зросте, а витрати повітря зменшаться.

Наближено залежність тиску повітря у камері p_k і відстані z від торця сопла 2 до поверхні N [2] запишемо у вигляді

$$p_k = \frac{P_{bx}}{1 + a^2 z^2}, \quad (2.2.11)$$

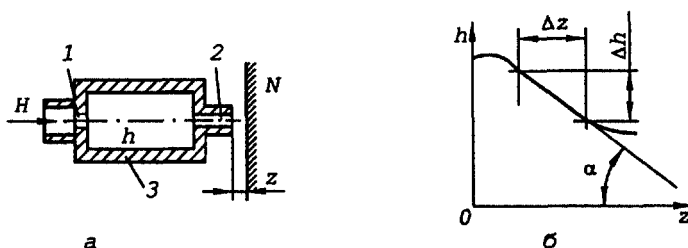


Рис. 2.2.16.

де p_k і p_{bx} — відповідно тиск повітря у камері та на вході до неї, Па; $a = 4d_2^2/d_1^2$; d_1 і d_2 — діаметри отворів вхідного та вихідного сопел, мм². Залежність $p_k = f(z)$ називають *характеристикою пневмоперетворювача* (рис. 2.2.16, б). Ділянка з лінійною залежністю Δz не перевищує 0,2 мм. Тангенс кута нахилу кривої характеризує коефіцієнт передачі перетворювача, тобто

$$u_n = \operatorname{tg} \alpha = \Delta h / \Delta z, \quad (2.2.12)$$

де u_n — чутливість пневмоперетворювача.

Вимірювальні засоби, побудовані з використанням пневмоперетворювачів, бувають низького та високого тиску. Як візуальні шкали для перших використовують рідинні, а для других — пружинні манометри зі сільфонами чи без них. Складовими частинами пневматичних засобів вимірювання є вимірювальна камера з каліброваними соплами, фільтри та очищувачі повітря від бруду та вологи, стабілізатори тиску тощо. Нижче розглянемо деякі з них.

Пневматичні довгоміри низького тиску з рідинними манометрами застосовують найширше. Принципова схема довгоміра з водяним манометром типу "Солекс" зображена на рис. 2.2.17. Через трубку 3 повітря надходить у водяний стабілізатор тиску 2, трубка якого занурена у воду на глибину H , а балон 1 сполучений з атмосферою. Завдяки цьому у стабілізаторі підтримується сталий тиск, що дорівнює висоті водяного стовпа H . Через вхідне сопло 5 подається повітря у камеру 6 і виходить з неї через сопло 8.

Залежно від розміру виробу 9 змінюється проміжок z , що зумовлює відповідну зміну витрат повітря та тиску у камері 6, який вимірюють за різницею висот h водяних стовпів у балоні 1 і трубці 7. Для регулювання витрат повітря, що надходить у балон 3,

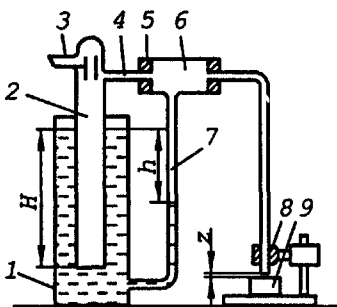


Рис. 2.2.17.

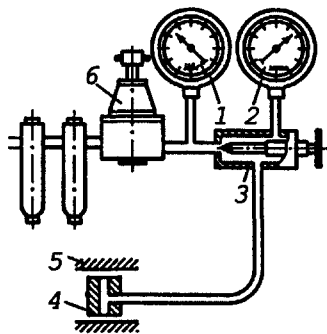


Рис. 2.2.18.

застосовують набори сопел або додатковий мембранний стабілізатор тиску.

Чутливість таких довгомірів становить від 600 до 10 000. Вони бувають одно- та двоточкові і дають змогу вимірювати два розміри водночас. Тиск повітря у камері — 5 000 Па.

Довгомір високого тиску з пружинним манометром типу трубки Бурдона схематично зображений на рис. 2.2.18. Очищене від бруду, оливи та води повітря подають у пружинно-мембранний стабілізатор тиску. Від стабілізатора через редуктор 6, у якому знижують тиск до $2 \cdot 10^5$ Па, повітря надходить у вхідне сопло, переріз якого регулюють за допомогою конічної голки.

Вимірювальна головка 4 має форму та розміри, що відповідають вимірювальній поверхні виробу 5. Тиск повітря перед входом і в середині камери 3 вимірюють пружинними манометрами 1 і 2.

Чутливість таких довгомірів становить від 50 до 400. Використовують їх для вимірювання та контролю розмірів різних поверхонь виробів, а також у пасивних та активних системах контролю технологічних процесів виготовлення виробів.

Диференційні пневматичні засоби вимірювання (рис. 2.2.19) відрізняються порівняно вищою точністю. Принцип їх дії полягає у використанні диференційної камери, в одну частину якої надходить повітря з вхідного трубопроводу через сопло 10, а у другу — через сопло 2. Тиск повітря у першій частині камери регулюють соплом 8 з конічною голкою 7, а в другій частині тиск повітря залежить від перетину сопла 6, проміжку між ним і вимірюваною поверхнею. Обидві частини камери розділені гнучкою мембраною, яка, прогинаючись у той чи інший бік, замикає відповідний електричний контакт автоматичного пристрою чи відхиляє відповідно показчик ЗВТ.

Такі ЗВТ менше чутливі до коливань робочих тисків повітря у мережах живлення, навколишньої температури тощо. Їх часто використовують для побудови контрольно-вимірювальних і сортувальних автоматів пасивного та активного контролю розмірів різних за формою поверхонь виробів під час виготовлення. Тиск повітря мережі живлення пневматичних засобів вимірювання становить від 0,3 до 0,7 МПа.

У ротаметричних довгомірах високого тиску (рис. 2.2.20) очищене від бруду, води та оливи повітря через стабілізатор 9 і редуктор 8 надходить у ротаметр, складений з вертикальної конічної

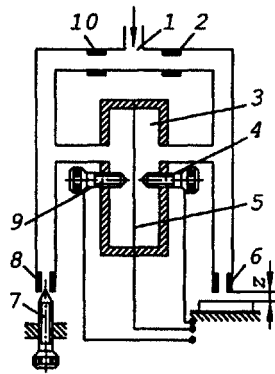


Рис. 2.2.19.

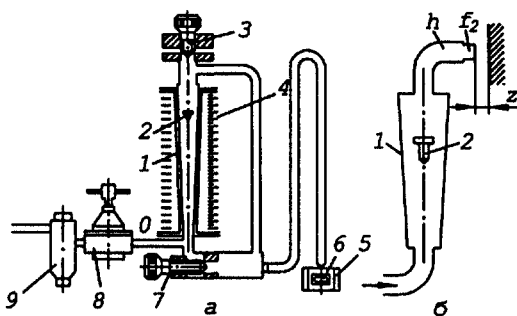


Рис. 2.2.20.

прозорої трубки 1, поплавка 2, регульованих сопел 3 і 7 і шкали 4, а звідти через з'єднувальну трубку у вимірювальну головку 6, яку вставляють у вимірюваний отвір виробу 5.

Витрати повітря є функцією значення проміжків між поверхнею вимірювальної головки і виробу, а поплавков 2 залежно від їх значення займає у потоці повітря трубки 1 відповідне місце по висоті шкали, вказуючи на вимірюваний розмір. Градуюють ЗВТ (встановлюють початкову позначку шкали та чутливість засобу) за допомогою регульованих сопел 7 і 3. Чутливість таких довгомірів становить від 2000 до 10000, а тиск у мережі їх живлення — 0,3...0,6 МПа.

Пневматичні ЗВТ широко застосовують у машинобудуванні. Перевагами їх є придатність до вимірювання чи контролю розмірів тонкостінних виробів з м'яких матеріалів, малих отворів, відхилень форми поверхонь та їх взаємного розміщення.

Недоліками пневматичних засобів вимірювання є малий діапазон вимірювання розмірів (до 0,2 мм), значна інерційність, потреба у пневматичній мережі.

Контрольні запитання

1. Класифікація приладів для вимірювання лінійних і кутових розмірів.
2. Які ви знаєте штрихові засоби вимірювання?
3. З яких матеріалів виготовляють брусків та стрічкові штрихові міри?
4. Для чого служать штангенциркулі?
5. Перелічіть типи штангенциркулів та їх основні параметри.
6. Які ціни поділок шкал у штангенінструментах?
7. Що таке коніусна шкала, як відраховують розміри на штангенінструментах?
8. Чим відрізняються мікрометри від штангенінструментів?

9. Які знаєте типи мікрометрів і штангенінструментів?
10. Який порядок виставлення мікрометрів на нульову позначку?
11. Яку точність вимірювання забезпечують мікрометри?
12. Для чого служать вимірювальні головки?
13. Поясніть принцип роботи засобів для відносних вимірювань.
14. Які знаєте вимірювальні головки?
15. Яка чутливість і точність вимірювальних головок?
16. Поясніть схему роботи оптиметрів.
17. Які ви знаєте універсальні оптичні ЗВТ?
18. Призначення інструментальних мікроскопів.
19. Яка різниця між малим, великим та універсальним мікроскопами?
20. Призначення проекторів.
21. У чому полягає принцип дії пневматичних ЗВТ?
22. Перелічіть переваги диференційних пневматичних ЗВТ?

Глава 2.3

Спеціальні засоби вимірювання з підвищеною точністю

2.3.1. Інтерференційні ЗВТ

Принцип дії інтерференційних ЗВТ ґрунтується на хвильовій природі світлових променів. Колір світлових променів залежить від довжини (частоти) їх хвиль, що знаходиться у межах від 0,38 до 0,78 мкм. Довгі хвилі мають червоний колір, а короткі — синій та фіолетовий. Жовте та зелене світло має довжину хвилі 0,5 мкм. Є джерела світла, що випромінюють хвилі всіх довжин, і джерела світла, які випромінюють хвилі тільки однієї довжини, лінійчастого спектра.

Усі світлові промені (хвилі) можуть накладатися і, як наслідок, підсилюватися чи послаблюватися, залежно від збігу фаз і частоти їх коливань. *Інтерференцією світла* називають посилення або послаблення його накладання світлових хвиль. Для отримання явища інтерференції потрібні джерела світла, що мають сталу у часі різницю фаз і когерентні світлові хвилі, тобто, щоб світлові промені виходили з одного джерела і поширювалися в одному напрямку. Для забезпечення таких умов беруть одне джерело світла та розділюють його промені на два, кожний з яких проходить своїм шляхом, а потім їх накладають. У цьому разі явище інтерференції залежатиме тільки від довжини шляху, який пройшли обидва промені світла. Різниця довжини шляхів має бути меншою від половини довжини хвилі заданого променя світла. За

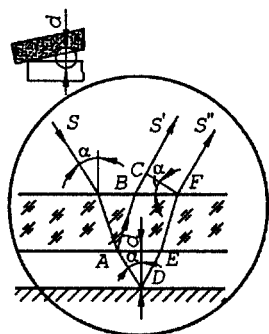


Рис. 2.3.1.

умови рівності цієї різниці половині довжини хвилі внаслідок накладання обох променів вони "гасяться".

Для точного вимірювання розмірів і відхилень від площинності використовують інтерференцію світла, отриману за допомогою плоскопаралельних і клиноватих пластин. Інтерференція виникає під час проходження світла через скляну (прозору) пластину або через повітряний клин, утворений між поверхнями скляної пластини та полірованої металевої поверхні виробу. Інтерференційні смуги, які видно крізь скляну пластину, мають бути прямолінійними і паралельними до ребра клина. Найконтрастнішими вони бувають біля самого ребра клина. Схема виникнення інтерференційних смуг зображена на рис. 2.3.1.

Промінь світла S , що падає на скляну пластину під кутом α , у точці A поділяється на два промені S' і S'' . Промінь S' , що перебуває у густішому середовищі, відбившись від границі середовищ з різною густиною, запізнюватиметься на довжину напівхвилі. Після виходу зі скляної пластини промені S' і S'' будуть інтерферувати. Підсилення чи послаблення світла під час інтерференції залежатиме від різниці шляхів променів S' і S'' . Різницю шляху визначають за товщиною клина d у місці розділення променя S .

Різницю шляхів променів записують у вигляді

$$R = AD + DE - BC + \frac{\lambda}{2}, \quad (2.3.1)$$

де R — різниця шляху променів S' і S'' , мм; AD , DE і BC — довжини відповідних відрізків, мкм; λ — довжина хвилі світлового променя, мкм.

Після деяких спрощень і перетворень з (2.3.1) отримують [20]

$$R = 2d \cos \alpha + \frac{\lambda}{2}, \quad (2.3.2)$$

де α — кут між напрямком світлового променя та перпендикуляром до скляної поверхні (кут падіння променя), °. Для $\alpha = 0^\circ$

$$R = 2d + \frac{\lambda}{2}. \quad (2.3.3)$$

Визначивши різницю шляхів інтерферованих променів за довжиною напівхвилей, тобто прийнявши $R = k + \frac{\lambda}{2}$, для $\alpha = 0^\circ$ отримаємо

$$k = \frac{4d}{\lambda} + 1. \quad (2.3.4)$$

З (2.3.4) випливає, що погашення світла (утворення темних смуг) властиве для товщин повітряного клина $d = 0; \frac{\lambda}{2}; 2\frac{\lambda}{2}; 3\frac{\lambda}{2}$ і ще відповідає непарному значенню k . Відстань між сусідніми темними смугами відповідає зміні товщини клина на $\frac{\lambda}{2}$, а перша темна смуга завжди розміщується вздовж ребра клина. Ясні смуги утворюються для товщин повітряного клина $d = 0,5\frac{\lambda}{2}; 1,5\frac{\lambda}{2}; 2,5\frac{\lambda}{2}$ тощо, що відповідає парному значенню k . Розміщення інтерференційних смуг зображене на рис. 2.3.2, а.

Інтерференція відбувається тільки для монохроматичного світла заданої довжини хвилі. Біле світло розсіюється на окремі смужки, тому за ширину смуги приймають відстань між серединами двох сусідніх смуг однакового кольору. Інтерференція білого світла виникає тільки для товщини клина меншого від 2 мкм, що відповідає 6–7 смугам для $\lambda = 0,3$ мкм. Решта смуг будуть практично невидимими.

Для менших кутів клина (рис. 2.3.2, б) відстань між інтерференційними смугами збільшена і вони віддалені від ребра клина, а для більших кутів ширина інтерференційної смуги зменшується і вони ближчі до ребра клина (рис. 2.3.2, в). У місці проходження кожної смуги товщина клина залишається сталою і дорівнює відповідно $\frac{\lambda}{2}; 2\frac{\lambda}{2}; 3\frac{\lambda}{2}$ тощо. Переміщення нижньої пластини у напрямку x для сталого кута клина смуги відбувається у напрям-

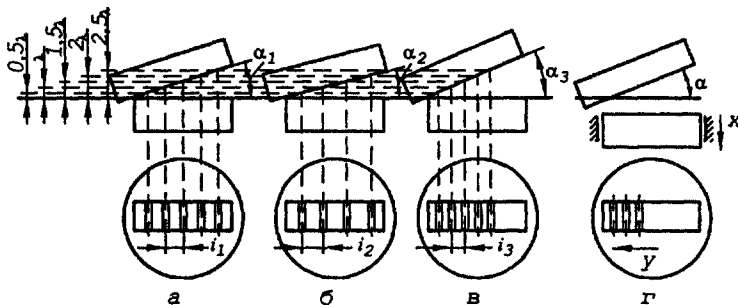


Рис. 2.3.2.

ку y , але ширина їх залишається незмінною (рис. 2.3.2, z). Переміщенню $x = \frac{\lambda}{2}$ відповідає переміщення смуг $y = i$. Тому чутливість (коефіцієнт) перетворення

$$u_1 = \frac{y}{x} = \frac{2i}{\lambda}, \quad (2.3.5)$$

де u_1 — чутливість перетворення; i — крок хвилі променя, мкм. Як видно з рис. 2.3.2,

$$\frac{\lambda}{2} = itg\alpha \quad \text{або} \quad i = \frac{\lambda}{2tg\alpha}. \quad (2.3.6)$$

Підставивши значення i у (2.3.5), отримують $u_1 = 1/tg\alpha$, що свідчить про пряму залежність чутливості цього перетворення від кута клина. Обидві залежності інтерференційних смуг від кута клина і лінійного переміщення нижньої пластини використовують для побудови інтерференційних ЗВТ.

Вертикальний контактний інтерференційний компаратор (рис. 2.3.3.) призначений для вимірювання розмірів і відхилень плоскопаралельності лінійних кінцевих мір відносним способом. Основним вузлом компаратора є трубка інтерферометра. Найбільшу допускну похибку вимірювання компаратора визначають як

$$\Delta_B = \pm(0,03 + 1,5n^3 \frac{\Delta\lambda}{\lambda}), \quad (2.3.7)$$

де Δ_B — похибка вимірювання компаратора, мкм; n — кількість поділок шкали від нульової риски; $\Delta\lambda$ — похибка довжини хвилі за атестатом компаратора, мкм; λ — довжина хвилі променів, яку пропускає фільтр, мкм.

Світло від джерела 1 (рис. 2.3.3) проходить через конденсор 2, щілину 3 і далі або через світлофільтр 4 на розділювальну напівпосріблену пластину 6. Частина променів світла, відбита від поверхні пластини 6, проходить до поворотного дзеркала 5 і, відбившись від нього, вертається назад до пластини 6. Решта променів світла, що пройшла через пластину 6 і компенсатор 7, направляється до рухомого дзеркала 8, закріпленого до вимірювального щупа 9, і, відбившись від нього, також повертається до пластини 6. Компенсатор 7 забезпечує рівну довжину шляхів розділених променів світла у склі. Тому пластину 6 і компенсатор 7 роблять однакової товщини з однієї марки оптичного скла. Відбиті від основного 5 і рухомого 8 дзеркал промені зустрічаються та інтерферують на нижній площині пластини 6.

За допомогою об'єктива 10 інтерференційне зображення проектується на площину сітки 11, яку видно через окуляр 12. Основне дзеркало 5 разом з рухомих дзеркалом 8 утворюють повітряний клин. Змінюючи кут повертання дзеркала 5, змінюють ширину інтерференційних смуг та їх кількість на заданій ділянці шкали. Відповідно змінюється чутливість компаратора та ціна поділки його шкали, яку встановлюють для монохроматичного (переважно зеленого) світла. На всій робочій ділянці шкали добре видно інтерференційні темно- та світлозелені смуги. Для встановлення заданої ціни поділки шкали повертають дзеркало 5 так, щоб на ділянці шкали з n поділок розмістилось k інтерференційних смуг, кількість яких

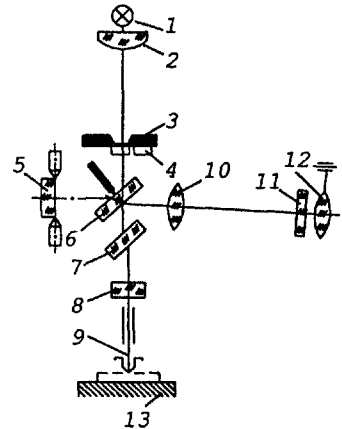


Рис. 2.3.3.

$$k = \frac{2ni}{\lambda}. \quad (2.3.8)$$

Наприклад, для $i = 0,2$ мкм і $\lambda = 0,550$ мкм, прийнявши $n = 40$, отримаємо $k = 29$.

Оскільки розміри кінцевих мір визначають за допомогою білого світла, у центрі кожної темної смуги інтерференційного зображення видно чорну ахроматичну смужку та кілька кольорових. Чорну смужку використовують як стрілку шкали, що відхиляється відповідно до переміщення вимірювального щупа з дзеркалом 8. Оскільки вимірювання виконують відносним способом, то спочатку на предметний столик 13 встановлюють попередньо атестовану міру-зразок, а потім, зміщуючи предметний столик за допомогою грубого та точного механізмів, намагаються сумістити ахроматичну смужку з нульовою рисою шкали. Після цього замість зразкової міри на предметний столик встановлюють вимірювану кінцеву міру і різницю їх розмірів визначають за зміщенням ахроматичної смужки відносно шкали.

Інтерференційні вимірювання за допомогою стандартних скляних пластин широко застосовуються у машинобудуванні завдяки своїй простоті та відносно низькій вартості. Ці вимірювання виконують за схемою, зображеною на рис. 2.3.1, і використовують для визначення середніх розмірів і відхилень від плоскопаралельності лінійних кінцевих мір, а також відхилень від площинності робочих поверхонь різних вимірювальних засобів.

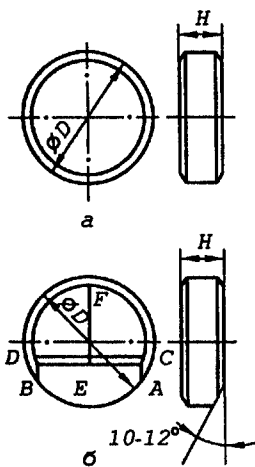


Рис. 2.3.4.

Для вимірювань використовують стандартні скляні пластини циліндричної форми (рис. 2.3.4). До нижніх пластин (рис. 2.3.4, а) притирають поверхню вимірюваної кінцевої міри. Верхні пластини (рис. 2.3.4, б), які слугають для вимірювання відхилень розмірів кінцевої міри від зразкової, мають зрізану під кутом 10–12° поверхню. На незрізаній поверхні пластини нанесені риски *EF* і *CD* під кутом 90° одна до одної. Риска *CD* паралельна до ребра *AB* пластини. Нижні пластини виготовляють двох класів точності з допускними граничними відхиленнями від площинності відповідно 0,03 і 0,1 мкм. Верхні пластини виконують одного класу точності з відхиленням від площинності до 0,1 мкм.

Для визначення відхилень від площинності використовують нижні скляні пластини. Пластину кладуть на вимірювану (досліджувану) поверхню та легко притискають з одного боку, створюючи невеликий повітряний клин для отримання інтерференційних смуг. Якщо кривизна інтерференційних смуг не перевищує половини відстані між ними (крок), то таку кінцеву міру вважають прийнятною.

На рис. 2.3.5, а зображені інтерференційні смуги для кінцевої міри з незначними відхиленнями від площинності для встановленої скляної пластини на коротке ребро, а на рис. 2.3.5, б — інтерференційне зображення для пластини, встановленої на довге ребро. Інтерференційні смуги для поверхні кінцевої міри зі значними відхиленнями від площинності бачимо на рис. 2.3.5, в і г. Відхилення від площинності визначають за відношенням величини *a* інтерференційної смуги до її ширини *l* (рис. 2.3.5, в). Як видно з рисунка, $\alpha \approx i/2 = \lambda/2$.

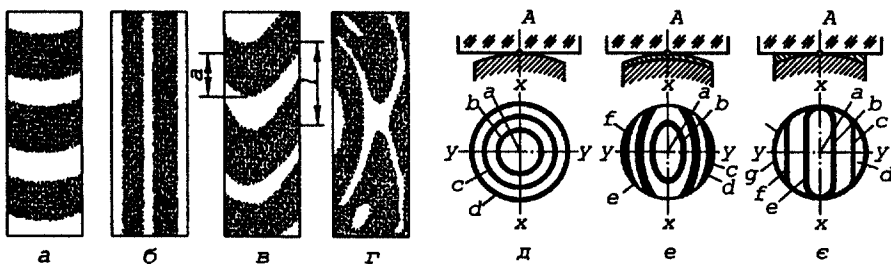


Рис. 2.3.5.

Вигнуті чи увігнуті невеликі круглі робочі поверхні, наприклад, торцьові поверхні п'яток і шпинделів мікрометрів, важільних скоб тощо, перевіряють за допомогою інтерференційних кілець, які утворюються у разі притискання скляної пластини не скраю, а у середині (рис. 2.3.5, *д*, *е*, *є*).

Оцінюючи величину відхилень від площинності, зовнішнє кільце *d* не враховують, якщо воно розміщене у зоні 0,5мм (для мікрометрів) від краю робочої поверхні (рис. 2.3.5, *д*), а також не беруть до уваги смуг *d* і *f* (рис. 2.3.5, *е*) та *d* і *g* (рис. 2.3.5, *є*). Інтерференційні смуги мають еліптичну форму, якщо радіуси кривизни поверхні у різних перерізах, що проходять через точку *A*, неоднакові. На рис. 2.3.5, *е* радіус кривизни у перерізі *XX* більший ніж у перерізі *YY*. У цьому разі еліпс приймають за першу смугу, а смуги *c* і *e* — за другу, оскільки вони творять ще один еліпс, перерваний через обмеження вимірюваних розмірів поверхні.

Інтерференційні кільця перетворюються у прямі лінії для вимірюваної поверхні, що має циліндричну форму (рис. 2.3.5, *є*). Контакт скляної пластини з такою поверхнею відбувається по прямій лінії *A*, яка є твірною циліндричної поверхні. Як і у попередньому випадку, кожна пара смуг (*b* і *e*, *c* і *f*) є однією смугою. Якщо з обох боків контакту спостерігають різну кількість смуг, то відлік роблять на боці, де їх більше.

2.3.2. Лазерні засоби вимірювання лінійних і кутових розмірів

Лазери — це найінтенсивніші серед використовуваних сучасною технікою джерел світла. Інтенсивність лазера вища від найбільшої інтенсивності некогерентних джерел світла майже у 10^5 разів. Це дає змогу візувати світло безпосереднім направленням світлових променів у заданому напрямку, виконувати інтерференційні вимірювання у нормально освітлених умовах, а відстані для оптичних вимірювань приймати у багато разів більшими [20].

Використання лазерів, особливо газових видимого діапазону, дуже розширило можливості вимірювання лінійних і кутових розмірів, а також спростило способи їх визначення. Просторова когерентність лазерного світла дає змогу досягти точності кутових розмірів 1 мкррад на відстані сотень метрів.

Одним із поширених способів використання лазерів є метод вивіряння розміщення елементів складних великих конструкцій (цистерн, корпусів автобусів, кораблів, ракет, будівель тощо) відносно променя лазера. Для підвищення точності вивіряння використовують детекторний пристрій (рис. 2.3.6). Промінь світла від

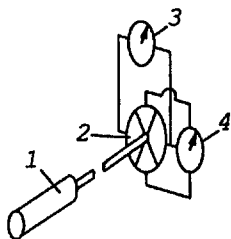


Рис. 2.3.6.

лазера 1 спрямовують на встановлений на заданому елементі конструкції фотоелемент 2. У разі точного візування променя світла у центр фотоелемента індикатори 3 і 4 будуть на нульових позначках. Відхилення лазерного променя від центра у будь-який бік зумовлює відповідне відхилення індикаторів 3 і 4, що визначають координати відхилень по осях ординат та абсцис. Обладнання цього пристрою серводвигуном дає змогу автоматизувати процес візування. Такі лазерні пристрої широко використовують у корабле-, літако-, ракето-, тунелебудуванні тощо.

Лазери використовують також для вимірювання великих лінійних розмірів за допомогою оптичної інтерференції світла. Когерентність лазерного світла та сучасна обчислювальна техніка дають змогу точно та швидко визначати кількість інтерференційних смуг для великих розмірів.

Розглянемо блокову схему абсолютного лазерного калібратора американської фірми "Culter Hammer" (рис. 2.3.7), призначеного для вимірювання лінійних розмірів виробів, безконтактного налагодження та контролю розміщення різальних інструментів металооброблювальних верстатів, калібрування засобів вимірювання тощо. Переміщення відбивача III, встановленого на рухомій частині верстата чи іншого об'єкта, зумовлює змінне інтерференційне зображення, яке сприймається та перетворюється в електричні сигнали фотодетектором 7, а цифрові вичислювальні пристрої 1 і 2 перетворюють кількість інтерференційних смуг в одиниці лінійних розмірів з автоматичним урахуванням поправок на вплив довкілля за допомогою перетворювача 3 і видають результати вимірювання за допомогою цифрового перетворювача 4 світловими цифрами. Діапазон вимірювання лінійних розмірів калібратора 0...2500 мм з точністю до $\pm 0,75$ мкм. Використання стабі-

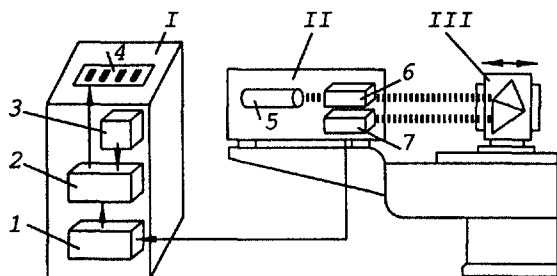


Рис. 2.3.7.

лізованих лазерів дає змогу підвищити точність вимірювання до $\pm 0,002$ мкм.

Використання інфрачервоних (з $\lambda=1$ мкм) лазерів замість звичайних джерел світла дало змогу національному бюро стандартів США створити оптичний засіб вимірювання з діапазоном вимірювання 0...200 мм з точністю до $\pm 0,2$ мкм, який має фотопристрій, що забезпечує перетворення інтерференційного зображення з інфрачервоного спектра у видимий.

Точність лазерних засобів вимірювання визначається ступенем стабілізації частоти променів і реально може бути доведена до 10^{-10} довжини хвилі. Значна інтенсивність променів лазера сприяє отриманню інтерференційних зображень навіть тоді, коли замість одного з плечей інтерферометра застосовують поверхню реальних металевих виробів. Це дає змогу вимірювати лінійні розміри заготованок під час їх оброблення на металізованих верстатах.

Пристрій для безперервного вимірювання діаметра циліндричних поверхонь оброблюваної заготованки 6 складається з лазера 1, дзеркала 2, напівпрозорої пластини 3, діафрагми 4 та фотопоможувача 5 (рис. 2.3.8). Точність оброблення розмірів поверхонь, за умови їх активного контролю, становить 0,2 мкм.

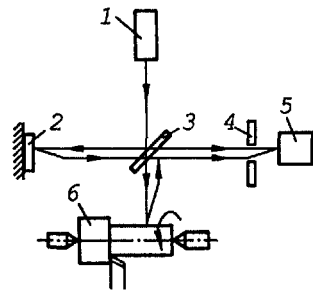


Рис. 2.3.8.

2.3.3. Засоби вимірювання з використанням голографічної інтерферометрії

Голографічний (від. гр. *holos* – весь, повний) метод дає змогу за допомогою когерентного світла лазера записати на фотоемульсії цікаве зображення хвильового поля, яке називають *голограмою*. Схема записування голографічної інформації зображена на рис. 2.3.9, а, а її відтворення — на рис. 2.3.9, б. Промінь світла (рис. 2.3.9, а) від лазера 1 поділяється на поверхні напівпрозорої пластини 2 на дві частини, одна з яких за допомогою дзеркала 6 і системи лінз освітлює вимірюваний предмет 4, а друга, відбившись від дзеркала 3, формує опорну хвилю. Результат інтерференції світла на пластині 2 фіксується за допомогою емульсійного покриття фотопластини 5 [20].

Після фотохімічного оброблення на фотопластині 5 з'являється сітка темних і світлих ділянок. Об'ємне зафіксоване зображення отримують тільки після освітлення проявленої фотопластини 5 (голограми) когерентними променями світла під заданим кутом.

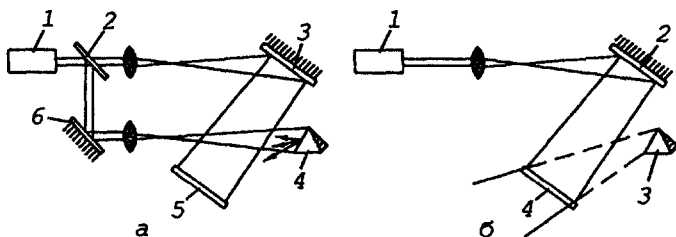


Рис. 2.3.9.

Промені світла лазера 1 (рис.2.3.9, б) відбиваються від дзеркала 2 та освітлюють голограму, що дає об'ємне зображення вимірюваного предмета 3. Людське око сприймає предмет точно таким, яким він є.

Голографічна інтерферометрія розширює можливості використання інтерферометричних вимірювань і є одним з перспективних напрямків розвитку техніки лінійних вимірювань.

2.3.4. Фотоелектричні засоби вимірювання

У фотоелектричних засобах вимірювання інформація про вимірювану величину сприймається фотоелементами, які перетворюють її в електричні сигнали, за різницею амплітуд чи фаз яких визначають вимірювані величини. Як оптичні міри у фотоелектричних засобах вимірювання використовують вимірювальні растри, дифракційні та кодові ґратки, штрихові міри тощо.

Растри для вимірювання прямолінійних переміщень рухомих частин оброблювальних верстатів зображені на рис. 2.3.10, а, для вимірювання кругових переміщень дільних головок, столів, гоніометрів тощо — на рис. 2.3.10, б. Лінійний чи круговий растр прикріплюють до рухомих частин вимірюваних об'єктів, а растр 2, освітлювач 3 та фотодіод 4 — до нерухомих. Під час руху вимірювального растра 1 у напрямку, вказаному стрілками, за растром полем освітлення відповідно змінюється і електричний струм у фотоелементі. Отримані електричні сигнали подаються до відлікових, записувальних і виконавчих механізмів верстатів, машин тощо.

У схемі з відбивним растром (рис. 2.3.10, в) вимірювальний растр 1 освітлюється за допомогою джерела 2 та напівпрозорого дзеркала 3. Зображення растра 1 за допомогою об'єктива 4 проєктується на площину індикаторного растра 5. Під час руху вимірювального растра його зображення рухається у площині растра 5,

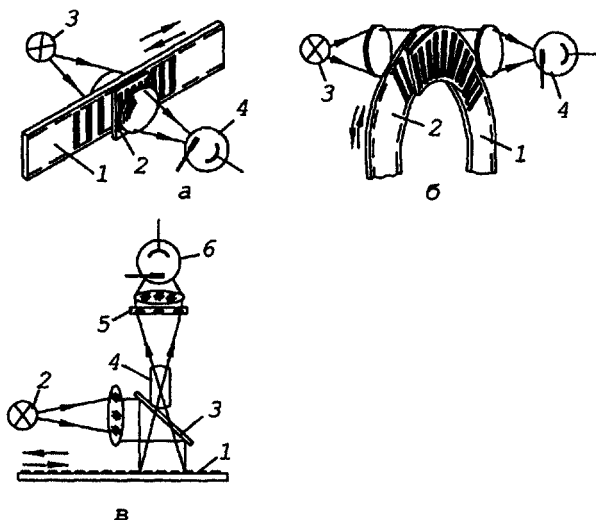


Рис. 2.3.10.

внаслідок чого на фотодіод *б* направляється змінний світловий потік променів, що зумовлює відповідні зміни електричного струму, який подають на відлікові, записувальні чи виконавчі механізми.

Схема інтерференційного фотоелектричного засобу вимірювання відхилень від площинності зображена на рис. 2.3.11. Монохроматичний промінь світла через щілинну діафрагму *1*, світлофільтр *2* і об'єктив *3*, відбившись частково від напівпрозорої пластини *4*, падає на поверхню *А* плоскопаралельної пластини і через неї на поверхню *В* досліджуваного виробу.

Промені світла, що падають на поверхні *А* і *В* перпендикулярно, відбиваються від них у протилежний бік і, проходячи через пластину *4*, об'єктив *5* і щілинну діафрагму *6*, інтерферують і потрапляють на фотодіод. Якщо площини *А* і *В* паралельні, то різниця шляху для інтерферованих променів дорівнює нулю, а на інтерференційному зображенні у цьому місці з'являється темна пляма.

Переміщення предметного столика разом з досліджуванним виробом вправо чи вліво, як показано стрілками, за наявності нерівностей досліджуваної поверхні зумовлює відхилення її від паралельності відносно площини скла-

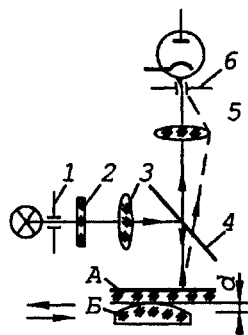


Рис. 2.3.11.

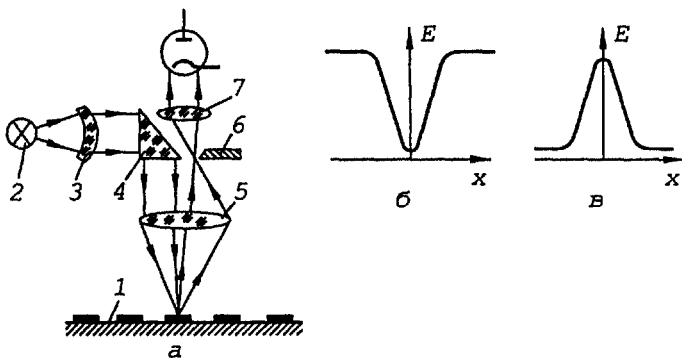


Рис. 2.3.12.

данья пластин і утворює повітряні клини з різними кутами та відповідну появу інтерференційного зображення з темними та світлими місцями. Такі смуги буде видно для $d = k \frac{\lambda}{2}$, де $k = 1, 2, 3$ тощо.

Зміна світла від переважання світлих чи темних плям зумовлює відповідну зміну електричного струму в колі фотодіода. Таким способом, переміщуючи досліджувану поверхню відносно скляної пластини з поверхнею A , визначають величини відхилень її від площинності.

Принципова схема фотоелектричного мікроскопа зі штриховою ланкою, який працює у відбитому світлі, зображена на рис. 2.3.12, *а*. Штрихова ланка 1 (шкала) освітлюється лампою 2 через конденсор 3, призму 4 та об'єктив 5, за допомогою якого зображення шкали проектується на щілину діафрагми 6 і через об'єктив 7 на катод фотодіода.

Якщо робоча точка фотоприймача розміщена на лінійній ділянці його світлової характеристики, то за достатньо вузької щілини форма кривої фотоструму діода буде повторювати освітленість штрихової ланки. Темні штрихи на світлому фоні штрихової ланки зумовлюватимуть форму кривої фотоструму, (рис. 2.3.12, *б*), а світлі штрихи на чорному фоні — форму кривої, зображеної на рис. 2.3.12, *в*. Такі мікроскопи використовують для побудови систем автоматизації вимірювання та контролю розмірів поверхонь прокатуваних, вальцьованих, протягуваних, пресованих виробів (штаб, листів, стрічок, дротів, прутків, катанок) під час їх виготовлення.

2.3.5. Струнні засоби вимірювання

Струнні вимірювальні засоби побудовані на використанні струнних перетворювачів частоти [31], застосовують їх для вимірювання та контролю багатьох ФВ (лінійних і кутових розмірів, температури, тиску). Вони мають високі характеристики та дають змогу отримувати частотну інформацію про результати вимірювань, яка з високою точністю та надійністю може передаватися на значні відстані, легко оброблятися засобами обчислювальної техніки та видаватися у цифровій формі.

Принцип дії перелічених засобів ґрунтується на взаємозв'язку вимірюваної величини та ступеня натягування струни вимірювального перетворювача, від якого залежить частота її власних коливань, що перетворюється у дискретну інформацію про вимірювану ФВ.

В однострунному перетворювачі (рис. 2.3.13, а) струна 2 одним кінцем закріплена до корпуса 1, а другим — до рухомого плеча пружинного важеля 3. На великому плечі цього важеля b розташований вимірювальний стержень 4, що контактує з вимірювальним виробом 5. Початковий натяг струни створюють попереднім прогином пружини важеля. Зменшення вертикального розміру виробу відповідно збільшує натяг струни та частоту її власних коливань, а збільшення його, навпаки, зменшує натяг та частоту її власних коливань.

Для початкового (еталонного виробу чи блока кінцевих мір) розміру й натягу струни δ_0 струна має частоту коливань f_0 , при збільшенні натягу на δ струна матиме частоту

$$f = f_0 \sqrt{1 - \frac{\delta}{\delta_0}}, \quad (2.3.9)$$

де $\delta = kh$ — збільшення пружного деформування струни, зумовлене переміщенням вимірювального щупа на величину h ; k — коефіцієнт пропорційності, який залежить від співвідношення пле-

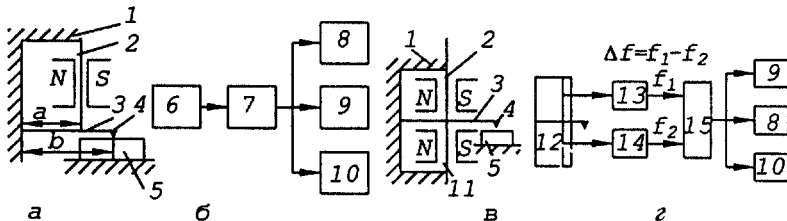


Рис. 2.3.13.

чей важелів a і b . Різницю між початковою частотою f_0 і частотою коливань струни f , що відповідає вимірюваному розміру, визначають як

$$\Delta f = f_0 - f = f_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{\delta}{\delta_0}} \right). \quad (2.3.10)$$

Після розкладання виразу у дужках у степеневий ряд і деяких перетворень отримують [31] вираз для визначення чутливості струнних перетворювачів

$$u_1 = \frac{\Delta f}{\Delta} = \frac{f_0}{2\delta_0}, \quad (2.3.11)$$

де u_1 — чутливість струнного перетворювача, залежність вимірюваного переміщення (чи розміру) від частоти записують у вигляді

$$h = \frac{2\delta_0}{kf_0} \Delta f = k_1 \Delta f. \quad (2.3.12)$$

Залежність між величиною переміщення вимірювального щупа та зміною частоти коливань струни перетворювача має нелінійний характер

$$\gamma = \frac{4\delta}{\delta_0} + \frac{1}{8} \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^2. \quad (2.3.13)$$

Нелінійність вихідної характеристики перетворювача для $\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{kh}{\delta_0} = 0,1; \dots, 0,2$ менша від 2...5%. Якщо використати не наближену, а реальну функцію перетворення, то можна забезпечити точність вимірювання з похибкою до 0,05...0,1%.

Однострунний засіб вимірювання (рис. 2.3.13, б) складається з первинного струнного перетворювача 6, електронного підсилювача 7 з додатковим зворотним зв'язком та блоків реєстрації 8, перетворення сигналу 9 і стабілізатора 10.

Вищу точність вимірювання має диференційний струнний перетворювач (рис. 2.3.13, в), у якому замість однієї використано дві струни 2 і 11. Одні кінці струн закріплені до корпусу 1, а інші — до рухомого важеля 3 з вимірювальним щупом 4. Під час настроювання засобу вимірювання на номінальний розмір вимірюваного виробу 5 забезпечують рівність частот коливань обох струн $f_1 = f_2 = f_0$.

Зміна вимірюваного розміру на величину h частоту однієї струни збільшує, а іншої — зменшує. Тоді частоти обох струн

$$f_1 = f_0 \sqrt{1 + \frac{\delta}{\delta_0}}; \quad (2.3.14)$$

$$f_2 = f_0 \sqrt{1 + \frac{\delta}{\delta_0}}, \quad (2.3.15)$$

де $\delta = kh$ — зміна пружного деформування кожної струни, що відповідає переміщенню вимірювального стержня на величину h ; δ_0 — початкове деформування струни. Після розкладання правих частин рівнянь (2.3.14) і (2.3.15) у степеневі ряди та деяких перетворень отримали вираз для визначення чутливості струнного диференційного перетворювача

$$u_2 = \frac{\Delta f}{\delta} = \frac{f_0}{\delta_0}, \quad (2.3.16)$$

де u_2 — чутливість струнного диференційного перетворювача. Порівняння (2.3.11) і (2.3.16) свідчить, що чутливість диференційних перетворювачів удвічі більша від чутливості однострунних.

Вимірювальне переміщення для диференційного перетворювача

$$h = \frac{\delta_0}{kf_0} \Delta f = k_2 \Delta f. \quad (2.3.17)$$

Нелінійність функції перетворення $\gamma = \frac{1}{8} \left(\frac{\delta}{\delta_0} \right)^2$ також менша від нелінійності однострунного перетворювача. Наприклад, для відношення $\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{kh}{\delta_0} = 0,1 \dots 0,2$ нелінійність вихідної характеристики диференційного перетворювача не перевищує 0,06...0,15%.

Диференційний струнний засіб вимірювання (рис. 2.3.13, з) складається з первинного диференційного струнного перетворювача 12, електронних збуджувачів коливань 13 і 14 з додатним зворотним зв'язком, змішувача частот 15, що виділяє частотний сигнал Δf як функцію вимірюваного розміру виробу 5, та блоків реєстрування 8, перетворення сигналів 9 і стабілізатора 10.

Для подальшого підвищення точності використовують систему автоматичного настроювання струнних диференційних перетворювачів за допомогою еталонного джерела частоти (кварцевого генератора). Такі струнні вимірювальні перетворювачі мають похибку меншу ніж 0,01...0,005%.

Контрольні запитання

1. На якій теорії ґрунтується принцип дії інтерференційних ЗВТ?
2. Які джерела світла використовують для інтерференційних ЗВТ?
3. Поясніть правила визначення розмірів і відхилень за допомогою інтерференційних засобів вимірювання.
4. Перелічіть ЗВТ, у яких використовують інтерференцію світла.
5. Розміри та відхилення форми поверхонь яких виробів вимірюють шляхом інтерференції світла?
6. Яку чутливість і точність забезпечують інтерференційні ЗВТ?
7. Для яких вимірювань використовують лазери?
8. Охарактеризуйте лазерний калібратор.
9. Яку точність вимірювання забезпечують лазерні калібратори та від чого вона залежить?
10. Що таке голографічна інтерферометрія?
11. Поясніть принцип дії фотоелектричних ЗВТ.
12. Для чого використовують вимірювальні растри?
13. Перелічіть фотоелектричні ЗВТ.
14. Поясніть принцип дії первинних струнних перетворювачів і ЗВТ.
15. Яку точність забезпечують струнні вимірювальні перетворювачі?

Глава 2.4

Спеціальні засоби контролю та вимірювання розмірів і якості поверхонь виробів

2.4.1. Загальні положення. Класифікація засобів контролю

Контроль та вимірювання — поняття взаємопов'язані, але не тотожні, хоча інколи вони й збігаються. Контролюють усі матеріали, що надходять у виробництво, операції виробничих процесів, параметри деталей, характеристики вузлів, агрегатів, готової продукції тощо. Контроль не вимагає знання істинних значень параметрів, а тільки впевненості, що вони перебувають у допустимих межах чи поза ними.

Залежно від призначення результатів контролю та характеру параметрів об'єкта контролюють зразки ФВ, їх імітатори, числові значення. В останньому випадку контроль здійснюють з використанням вимірювальних операцій.

Поняття контролю вимірювання часто збігаються, тому їх трактують [22] як елементи розпізнавання образів, або як ознаки роз-

пізнання. Контроль як процес, достатній для визначення стану об'єкта діагностики, називають *діагностичним тестуванням*, а ступінь придатності виробу для використання за його призначенням — якістю.

Контроль, як і вимірювання, полягає в експериментальному оцінюванні певних параметрів виробу. Засоби, методи та алгоритми контролю визначають за видом і фізичним характером параметрів, а також ступенем автоматизації процесу.

Параметри якості поділяють на прості, узагальнені та параметри ефективності [22]. Прості параметри (лінійні і кутові розміри, шорсткість поверхонь тощо) безпосередньо контролюють універсальними або безшкальними ЗВТ (калібрами). Таким контролюванням перевіряють, чи не виходить значення певного простого параметра за допустимі межі.

Узагальнені параметри є функціями простих параметрів, які знаходять за допомогою засобів вимірювання та обчислювальних пристроїв. Параметри ефективності є функціями узагальнених параметрів, служать ймовірнісними показниками придатності виробів для їх використання, а також для прогнозування їх якості на майбутнє.

За використовуваними методами розрізняють контроль активний, який здійснюють під час формування параметрів, щоб уникнути браку, та пасивний, що може бути повним і добірковим. Алгоритм контролю аналогічний алгоритму вимірювання, а основним показником його є вірогідність отриманих результатів.

Контроль розмірів та якості поверхонь — це визначення їх придатності заданими розмірами чи показником якості поверхонь без кількості вимірювання їх параметрів [5, 20, 23]. Наприклад, за допомогою граничних калібрів, не вимірюючи розмірів і параметрів окремих поверхонь, визначають їх відповідність чи невідповідність вимогам, які є у робочих кресленнях виробів (заготовок, деталей тощо).

За призначенням засоби контролю поділяють на нормальні (номінальні) та граничні. До *нормальних* належать калібри, шаблони, кінцеві міри, за допомогою яких контролюють тільки номінальні розміри поверхонь, задану номінальну форму та взаємне розміщення поверхонь.

Граничними називають калібри, що дають змогу контролювати допускні значення розмірів поверхонь, їх форму та взаємне розміщення. Наприклад, прохідним граничним калібром контролюють найбільший розмір зовнішньої поверхні (вала) та найменший розмір внутрішньої поверхні (отвору), непрохідним граничним калібром — відповідно найменший розмір зовнішньої поверхні (вала) та найбільший розмір внутрішньої поверхні (отвору).

Залежно від конструкції калібри бувають прості та складані. *Прості калібри* — це суцільні вироби (вали, кільця, пластини тощо), а складані — це вироби, що мають у своєму складі дві та більше складових частин (деталей, вузлів). За діапазонами контрольованих параметрів калібри поділяють на сталі та регульовані. *Сталі калібри* дають змогу контролювати тільки одне значення (величину) параметра, а *регульовані* — значення параметра тільки у заданому діапазоні, тобто можуть бути переналагодженими на будь-яке значення у заданих його межах.

Калібри також бувають поелементними та комплексними. *Поелементними* контролюють тільки один, а *комплексними* — відповідно два та більше параметрів водночас. Залежно від розмірів та маси калібри бувають переносними та стаціонарними.

Залежно від отримуваної (вихідної) інформації засоби контролю можуть бути аналогами з'єднаних виробів, наприклад, для контролю отворів калібри мають форму вала, а для контролю валів — форму втулки, кільця чи скоби; індикаторними, побудованими з використанням вимірювальних головок; сигнальними, що видають відповідні звукові та світлові сигнали тощо.

За функціональним призначенням засоби контролю поділяють на: шаблони, кінцеві міри, пластини; гладкі, різьбові, шпонкові, шліцьові, конічні, робочі, контрольні калібри; пристрої для контролю відхилень і допусків форми, взаємного розміщення, шорсткості, хвилястості поверхонь тощо.

2.4.2. Контроль розмірів гладких циліндричних поверхонь

Розміри гладких циліндричних поверхонь у серійному та великосерійному виробництві переважно контролюють за допомогою калібрів або універсальних ЗВТ відносним способом. Оскільки універсальні ЗВТ описані вище, у даному розділі розглянемо контроль розмірів циліндричних поверхонь тільки за допомогою гладких калібрів.

Гладкими називають калібри, що мають гладкі (циліндричні, сферичні та плоскі) робочі поверхні. Їх використовують для контролю виробів, які виготовляють у значних кількостях. У серійному, великосерійному та масовому виробництві виробів з метою здешевлення контролю на підставі теорії математичної статистики та ймовірності переважно використовують добірковий контроль виробів. У цьому разі контролюють не всі виготовлені вироби, а тільки визначену на підставі розрахунків і дібрану за установленою методикою кількість виробів. У масовому виробництві контроль великої кількості виробів здійснюють за допомогою від-

повідних до типу виробництва автоматизованих і автоматичних засобів пасивного та активного контролю.

У серійному виробництві для контролю виробів найчастіше застосовують гладкі калібри, конструкції та розміри яких стандартизовані. У зв'язку зі значною кількістю калібрів номери стандартів для них не подано. Комплект калібрів для контролю гладких циліндричних поверхонь відповідно до стандартів передбачає робочі калібри: прохідний (ПР) калібр, яким контролюють допускний розмір, що відповідає найбільшій кількості матеріалу виробу (для отворів — найменший, а для валів — найбільший контрольовані розміри), та непрохідний (НЕ), яким контролюють граничний розмір, що відповідає найменшій кількості матеріалу виробу (для отворів — найбільший, а для валів — найменший контрольовані розміри).

Окрім робочих стандарти передбачають ще й контрольні калібри, що служать для контролю робочих калібрів-скоб.

Розглянемо конструкції основних типів калібрів для контролю внутрішніх поверхонь і контрольних калібрів: калібр зі вставними стержнями для діаметрів 1...6 мм (рис. 2.4.1, а); двобічний калібр зі вставками для діаметрів 3...50 мм (рис. 2.4.1, б); прохід-

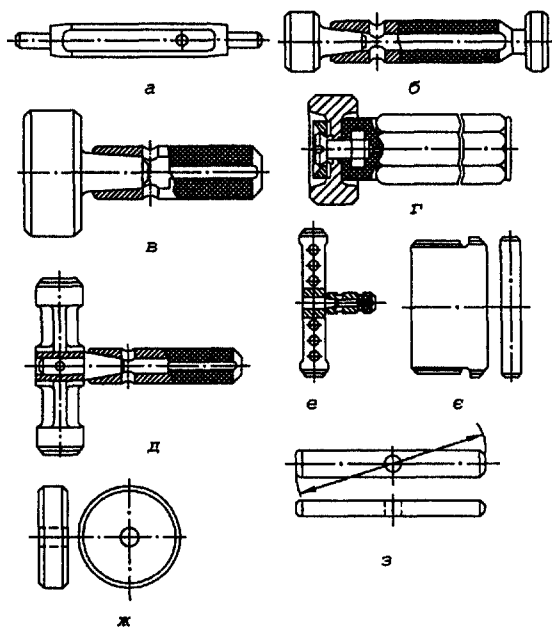


Рис. 2.4.1

ний (чи непрохідний) калібр зі вставкою для діаметрів 52...75 мм (рис. 2.4.1, в); калібр штампований прохідний (чи непрохідний) з пластмасовою ручкою для діаметрів 52...100 мм (рис. 2.4.1, з); калібр прохідний (непрохідний) неповний штампований для діаметрів 102...160 мм і для діаметрів 102...300 мм (рис. 2.4.1, е); двобічний листовий калібр для діаметрів 52...250 мм (рис. 2.4.1, є); контрольний калібр (шайба) для діаметрів 18...100 мм (рис. 2.4.1, ж); контрольний калібр (шайба) для розмірів 10...325 мм (рис. 2.4.1, з).

До основних типів калібрів-скоб для контролю валів належать граничний двобічний листовий калібр для розмірів 1...50 мм (рис. 2.4.2, а); однобічний листовий калібр для розмірів 1...70 мм (рис. 2.4.2, б), а для розмірів 1...180 (рис. 2.4.2, в); однобічний штампований калібр для розмірів 3...50 мм (рис. 2.4.2, г); двобічний штампований калібр для розмірів 3...100 мм (рис. 2.4.2, д); однобічний штампований калібр для розмірів 50...170 мм (рис. 2.4.2, е); регульований калібр для розмірів 6...500 мм (рис. 2.4.2, є).

Робочі калібри ПР і НЕ служать для контролю готових виробів і заготованок під час їх оброблення. Для визначення розмірів регульованих калібрів і контролю нерегульованих використовують контрольні калібри та калібри, якими контролюють спрацювання робочих калібрів. Контрольні калібри для отворів не роблять через значну складність їх виготовлення, з одного боку, та можливість контролю їх придатності за допомогою засобів для відносних вимірювань — з другого.

З метою забезпечення стійкості до спрацювання робочих елементів калібрів їх виготовляють з твердих стійких до спрацюван-

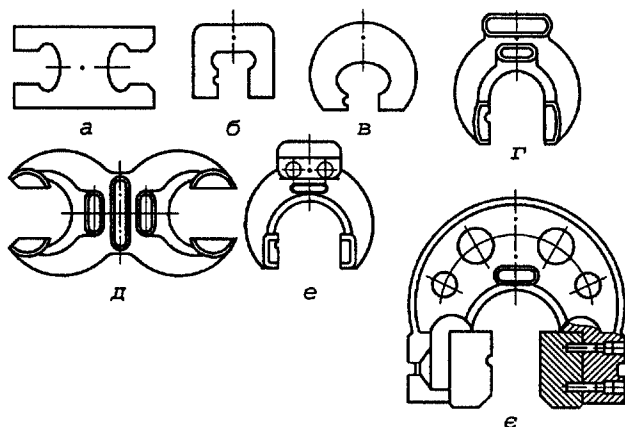


Рис. 2.4.2

ня сталей, термообробляють, хромують або оснащують наконечниками з твердих стопів.

Конструюють допускні калібри за принципом Тейлора, згідно з яким прохідні калібри мають контролювати якомога більшу кількість параметрів (розмірів, форми поверхні), а непрохідні — тільки один параметр для кожного калібру. Тому для контролю складних за формою деталей роблять не один, а цілий комплект непрохідних калібрів. За цим принципом прохідний калібр для контролю циліндричного отвору має форму вала довжиною відповідно до заданої довжини отвору, що забезпечує одночасно контроль тільки розмірів і форму поверхні отвору; а непрохідний має форму вала незначної довжини, що дає змогу контролювати тільки розмір поверхні отвору, а не його форму.

Граничні калібри дають змогу контролювати розміри та форму поверхонь відповідно до заданих граничних відхилень розмірів і допусків форми поверхонь. Поверхню виробу вважають придатною, якщо прохідний калібр проходить через контрольовану поверхню (чи над нею), а непрохідний не проходить. Таким чином, граничні калібри дають змогу визначити відповідність і невідповідність готових виробів вимогам робочих креслень до кожного окремого розміру їх поверхонь. Під час такого контролю непридатні вироби ще поділяють на такі, що вимагають доопрацювання, та такі, що доопрацюванню не підлягають.

Відхилення розмірів і допуски калібрів стандартизовані. У стандартах встановлені схеми розміщення полів допусків для робочих і контрольних калібрів залежно від допуску розміру контрольованої поверхні виробу. Оскільки допуск є функцією якості точності та величини розміру, то з метою уніфікації відхилень розмірів калібрів у стандартах відхилення та допуски для них подані залежно від якості точності, але тільки для заданих піддіапазонів розмірів. Для діапазону 0...500 мм відповідно до стандарту виділено два піддіапазони: 0...180 мм і 180...500 мм.

Розглянемо схеми розміщення полів допусків гладких калібрів для отворів і валів з номінальними розмірами виробів 0...180 мм (рис. 2.4.3). На цих схемах відхилення розмірів і допуски для розмірів калібрів позначені буквами. Схеми розміщення полів допусків калібрів для квалітетів точності від 6 до 8 зображені на рис. 2.4.3, а і б, а схеми полів допусків калібрів для квалітетів точності від 9 до 17 — на рис. 2.4.3, в і г. Розміщення полів допусків контрольних калібрів за стандартами однакові для всіх квалітетів точності від 6 до 17 (з метою економії місця на рис. 2.4.3 вони зображені тільки для 6–8 квалітетів точності).

Для прохідних калібрів, окрім відхилень і допусків розмірів для їх виготовлення у стандартах наведено ще граничне відхилен-

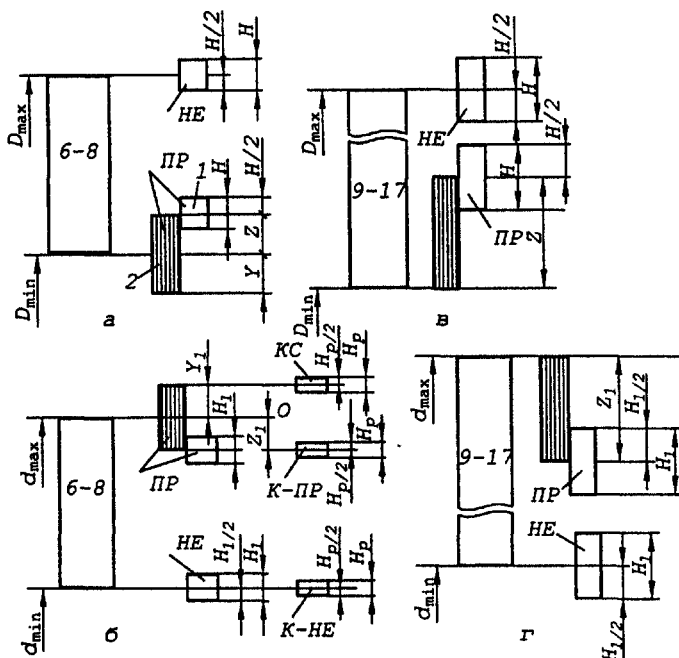


Рис. 2.4.3.

ня для розмірів спрацьованих калібрів. Як видно з рис. 2.4.3, відхилення розмірів подані залежно від граничних розмірів отворів і валів контрольованих виробів.

Як для отворів, так і для валів поля допусків непрохідних калібрів розміщені частково у межах їх полів допусків. Це дає змогу вважати частину виробів з граничними розмірами отворів бракованими (у разі виготовлення непрохідних калібрів за найменшим граничним для них розміром) або відносити частину виробів з недопускними розмірами отворів до придатних (у разі виготовлення непрохідних калібрів за найбільшим граничним для них розміром), так само і для валів.

Для великих розмірів і квалітетів точності поля допусків непрохідних калібрів також розміщені у межах полів допусків відповідно отворів чи валів. У цьому разі забезпечують дещо вищу точність виготовлення отворів і валів від заданих у робочих кресленнях. Оскільки при цьому допуски достатньо великі, то деяке їх зменшення практично не підвищує трудомісткість і вартість їх виготовлення. У разі малих допусків (малих номінальних розмірів і високих квалітетів точності) поля допусків непрохідних і

прохідних калібрів розміщують частково поза межами полів допусків отворів і валів, децю розширюючи (порівняно з вимогами робочих креслень) допуски для їх виготовлення, відповідно зменшуючи трудомісткість і вартість їх виготовлення.

Виконавчими розмірами називають допускні розміри калібрів, за якими їх виготовляють. Номінальні розміри калібрів мають встановлювати найбільшу кількість матеріалу, а відхилення, що номінально дорівнюють допускам, мають бути направлені "у тіло" калібру. За цим правилом для всіх калібрів, які є валами, номінальними розмірами служать їх найбільші граничні розміри, а відхилення за абсолютною величиною дорівнюють величині допуску та мають від'ємний знак; для всіх калібрів, які є отворами (кільця, скоби), номінальними розмірами є їх найменші граничні розміри, а відхилення дорівнюють допуску та мають додатний знак.

Таким чином, маючи задану стандартами схему розміщення полів допусків, числові значення відхилень і допусків, нескладно визначити виконавчий розмір будь-якого калібру. Наприклад, виконавчий розмір непрохідного калібру для розміру отвору 9 квалітету точності визначають як

$$(HE_{\min})^{+H} = (D_{\max} - 0,5H)^{+H}, \quad (2.4.1)$$

де HE_{\min} — найменший граничний розмір непрохідного калібру, мм; H — допуск непрохідного калібру, мм; D_{\max} — найбільший допускний розмір отвору, мм; виконавчий розмір прохідного калібру для розміру вала 9 квалітету точності визначають як

$$(PP_{\max})_{-H1} = (d_{\max} - z_1 + 0,5H_1)_{-H1}, \quad (2.4.2)$$

де PP_{\max} — найбільший допускний розмір прохідного калібру, мм; H_1 — допуск прохідного калібру, мм; d_{\max} — найбільший допускний розмір вала, мм; z_1 — середнє відхилення розміру прохідного калібру, мм.

Усі калібри маркують, зазначаючи номінальний розмір, основне відхилення й квалітет точності контрольованого ними розміру, за стандартами калібри маркують умовними кодovими восьмизначними числами, у яких закодована зазначена вище інформація.

2.4.3. Контроль та вимірювання розмірів конічних поверхонь

Конічні поверхні переважно контролюють за допомогою приладів для прямих і посередніх вимірювань лінійних розмірів і калібрів.

Розглянемо способи контролю кутових розмірів за допомогою вимірювальних приладів. Наприклад, схеми контролю й вимірювання кутових розмірів зовнішніх конічних поверхонь зображені

на рис. 2.4.4. Пристрій (рис. 2.4.4, а) складається з синусної лінійки 4, вимірювальної головки 1, встановленої та закріпленої на штативі 2, блока кінцевих мір 3 і контрольного невеликого виробу 5. Його використовують для вимірювання й контролю невеликих кутових розмірів поверхонь конічних виробів, наприклад різальних інструментів, конусів тощо. Розмір блока кінцевих мір h розраховують за кутовим розміром, зазначеним у робочому кресленні виробу за умови паралельності поверхні розмічувальної плити чи предметного столика, на яких монтується пристрій. Синусну лінійку добирають за стандартною міжцентровою відстанню (100 чи 200 мм) між осями її опорних циліндричних поверхонь відповідно до лінійного розміру виробу. Як видно з рис. 2.4.4,

$$h = L \sin 2\alpha, \quad (2.4.3)$$

де h — розмір блока кінцевих мір, мм; L — міжцентрова відстань між осями опорних циліндричних поверхонь, мм; 2α — кутовий розмір контрольованої конічної поверхні, °.

За допуском кутового розміру відповідно до робочого креслення виробу, прийнявши довільний розмір відрізка довжини твірної конічної поверхні за l , визначають граничні відхилення лінійних розмірів діаметра конічної поверхні на одному з кінців дібраного відрізка твірної, умовно прийнявши діаметр конічної поверхні на другому кінці відрізка твірної за нульове значення,

$$Td_p = l \operatorname{tg} T_\alpha = l \sin T_\alpha, \quad (2.4.4)$$

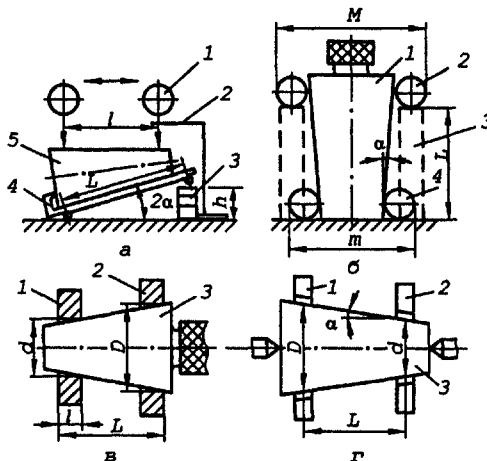


Рис. 2.4.4.

де Td_p — граничне відхилення розміру діаметра конічної поверхні на одному з кінців дібраного відрізка твірної, мм; l — дібрана довжина відрізка твірної конічної поверхні, мм; T_α — допуск кутового розміру 2α виробу, °.

Контрольовану конічну поверхню вважають придатною, якщо різниця показів за шкалою вимірювальних головок (чи однієї головки) на початку та кінці дібраного відрізка твірної конічної поверхні не перевищує Td_p . Для вимірювання істинного значення кутового розміру виробу за різницею показів шкал вимірювальних головок з урахуванням їх знака визначають істинне значення відхилення кутового розміру виробу від заданого у робочому кресленні номінального.

Пристрій (рис. 2.4.4, б), розміщений на предметному столику чи розмічувальній плиті з використанням двох каліброваних роликів 2 і двох блоків кінцевих мір 3 однакового розміру L , дає змогу вимірювати чи контролювати кутовий розмір виробу з конічною поверхнею. Вимірявши дві основи геометричної трапеції M і m та враховуючи розмір дібраних блоків кінцевих мір за допомогою відносного способу, визначають істинний кутовий розмір виробу за формулою

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{M - m}{2L}, \quad (2.4.5)$$

де α — половина кутового розміру конічної поверхні виробу, °; M і m — розміри обох основ трапеції, мм; L — розмір блоків кінцевих мір, мм. Контролюють кутовий розмір конічної поверхні виробу за допомогою допуску різниці довжин обох основ трапеції, визначеного як

$$T_{M-m} = 2L(\operatorname{tg}\alpha_{\max} - \operatorname{tg}\alpha_{\min}), \quad (2.4.6)$$

де T_{M-m} — допуск різниці довжин основ трапеції M і m , мм; α_{\max} і α_{\min} — найбільше та найменше граничне значення половини кутового розміру конічної поверхні виробу відповідно до вимог робочого креслення, °.

Як і для пристрою (рис. 2.4.4, б), вимірюють чи контролюють кутовий розмір виробу 3 за допомогою каліброваних кілець 1 і 2 (рис. 2.4.4, в) чи ножів 1 і 2 (рис. 2.4.4, г) на універсальному мікроскопі. Відстані $L - l$ (рис. 2.4.4, в) і L (рис. 2.4.4, г) між кільцями чи ножами залежно від заданої точності визначають засобами для вимірювання лінійних розмірів (лімбів мікроскопів тощо).

Схеми контролю та вимірювання кутових розмірів внутрішніх конічних поверхонь зображені на рис. 2.4.5. Порядок роботи з пристроями (рис. 2.4.5, а і б) з використанням синусної лінійки 5,

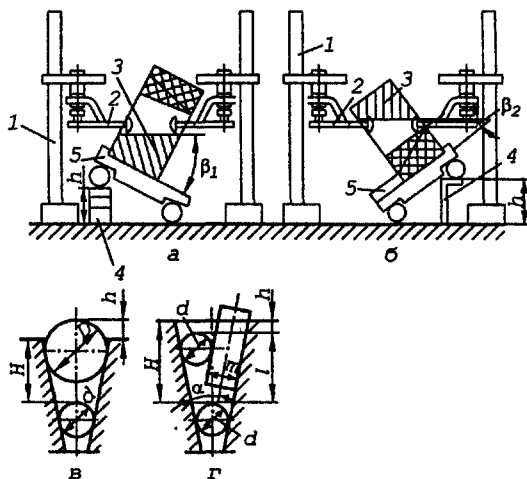


Рис. 2.4.5.

штатива 1, вимірювальної головки 2 та блока кінцевих мір 4 аналогічний порядку роботи з пристроєм (рис. 2.4.4, а). Контроль та вимірювання кутового розміру внутрішньої конічної поверхні за допомогою каліброваних кульок діаметрами D і d (рис. 2.4.5, в) такий же, як для пристрою (рис. 2.4.4, б), з тією тільки різницею, що замість розміру L беруть суму розмірів H і h , а замість розмірів M і m — відповідно розміри D і d .

За допомогою пристрою (рис. 2.4.5, г) з використанням двох каліброваних кульок однакового діаметра d та одного каліброваного ролика діаметром m кутівий розмір конічної поверхні контролюють чи вимірюють лінійними розмірами H і h як

$$\sin \alpha = \frac{m}{2l} = \frac{m}{2(H-h)}, \quad (2.4.7)$$

де m — діаметр каліброваного ролика, мм; $l = H - h$; H і h — відстані торцевої поверхні виробу з конічною поверхнею до верхніх точок каліброваних кульок діаметра d .

Граничні калібри для отворів (рис. 2.4.6, а і в) та калібри для валів (рис. 2.4.6, б і г) дають змогу контролювати базові відстані Z виробів з конічними внутрішніми та зовнішніми поверхнями за допомогою рисок, нанесених на їх спеціальні поверхні (рис. 2.4.6, а, в і г) чи спеціальні торцеві поверхні, які для придатних за кутівими розмірами конічних поверхонь виробів мають перебувати у межах допуску на базову відстань. На рис. 2.4.6, д зображено складені калібр для отвору та контрольовану втулку, у якої спеці-

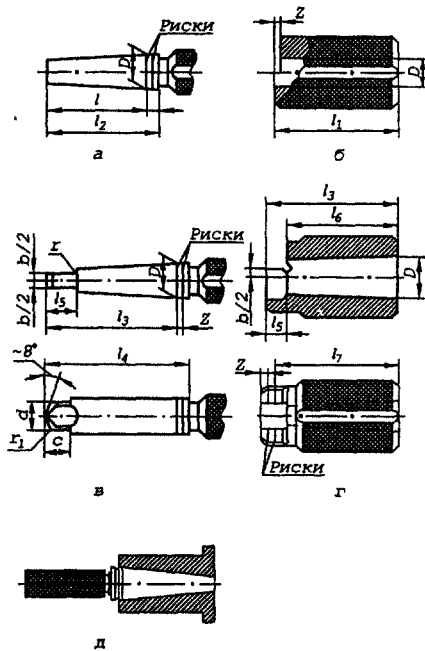


Рис. 2.4.6.

альна (базова) поверхня торця точно збігається з контрольованою рисою (середину поля допуску базової відстані) на калібрі.

Калібри-пробники (ГОСТ 2849-94) застосовують для контролю кінціальних поверхонь інструментальних конусів, фіксаторів, конусів негерметичних кінціальних з'єднань, у яких кутовий розмір виконаний з високим ступенем точності. Такі калібри використовують тільки для проміжного технологічного контролю кутів розмірів виробів перед їх попарним притиранням, тобто перед кінцевою технологічною операцією їх виготовлення.

Кутові розміри поверхонь невисокої точності контролюють переважно за допомогою шаблонів (рис. 2.4.7).

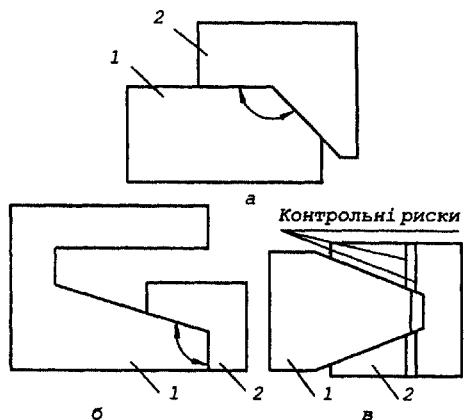


Рис. 2.4.7.

2.4.4. Контроль та вимірювання розмірів циліндричних різьбових поверхонь

Параметри циліндричних різьб вимірюють кожний окремо за допомогою вимірювальних приладів, а контролюють комплектом калібрів. Придатним вважають тільки виріб, у якого всі розміри перебувають у межах граничних відхилень.

Вимірювання розмірів різьбових поверхонь розглянемо на прикладі метричних циліндричних різьб, оскільки способи та засоби вимірювання розмірів різьбових поверхонь різних профілів практично між собою не відрізняються. Із шести розмірів поверхонь циліндричних метричних різьб (великого, малого та середнього діаметрів, кроку, правої та лівої половин кута профілю) відповідно до стандартів граничні відхилення встановлені тільки для трьох діаметрів. Окрім цього, для великого діаметра внутрішньої та малого діаметра зовнішньої різьбових поверхонь визначено тільки по одному (нижньому та верхньому) відхиленню.

Істинні відхилення кроку та обох половин кута профілю разом з істинними відхиленнями середнього діаметра різьбової поверхні не мають виходити за межі граничних відхилень середнього діаметра. Усі перелічені параметри разом становлять так званий зведений середній діаметр різьбової поверхні гайки чи болта. Для визначення придатності зовнішніх і внутрішніх різьбових поверхонь вимірюють усі шість їх параметрів, а потім придатність великих і малих діаметрів визначають, порівнюючи їх істинні розміри з граничними відповідно до стандартів чи робочих креслень, а придатність решти чотирьох параметрів встановлюють порівнянням розрахункових значень зведених середніх діаметрів з граничними.

Для вимірювання параметрів різьбових поверхонь залежно від заданої точності використовують універсальні засоби вимірювання лінійних і кутових розмірів, але, зважаючи на специфіку різьбових поверхонь, для вимірювання середніх діаметрів зовнішніх і внутрішніх різьбових поверхонь, великих діаметрів внутрішніх різьбових поверхонь і малих діаметрів зовнішніх різьбових поверхонь, кроків та половин кутів профілю, окрім універсальних, використовують ще й спеціальні засоби вимірювання.

Наприклад, усі розміри зовнішніх різьбових поверхонь вимірюють за допомогою інструментальних мікроскопів і проекторів; розміри внутрішніх різьбових поверхонь (окрім розміру малого діаметра) визначають спеціальними вимірювальними пристроями; середні діаметри зовнішніх і внутрішніх значних за величиною різьбових поверхонь вимірюють різьбовими мікрометричними засобами вимірювання. Ці мікрометри відрізняються від гладких наявністю у них спеціальних вкладнів, які добирають залежно

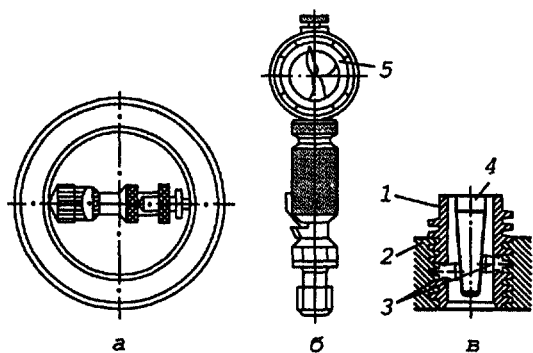


Рис. 2.4.8.

від профілю та розмірів різьбової поверхні й вставляють в отвори шпинделя та п'ятки мікрометрів.

Середній діаметр різьбової поверхні вимірюють трьома каліброваними дротиками, середній діаметр внутрішніх різьбових поверхонь значних розмірів визначають мікрометрами (штихмасів), (рис. 2.4.8, а), а діаметри менших розмірів спеціальними різьбовими вкладнями (рис. 2.4.8, б і в).

Різьбовий вимірювальний вкладень (рис. 2.4.8, в) має різьбовий калібр 1, виготовлений з гарантованим проміжком відносно контрольованої різьбової поверхні гайки 2, вкладня 3 зі сферичними поверхнями, конічний вимірювальний стержень 4 та вимірювальну головку 5 зі шкалою.

Вимірювання розмірів різьбової поверхні за допомогою сферичних вкладнів аналогічне вимірюванню її розмірів каліброваними дротинками.

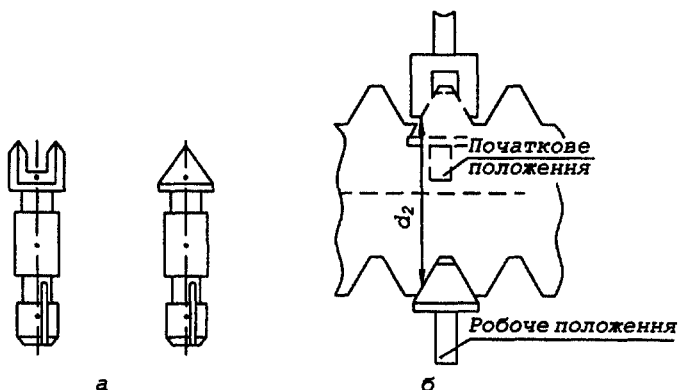


Рис. 2.4.9.

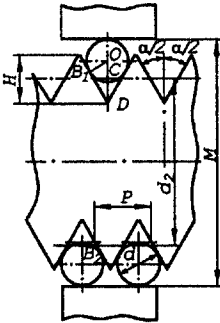


Рис. 2.4.10.

Правила вимірювання розмірів різбових поверхонь інструментальними мікрометрами (рис. 2.4.9) наведені в інструкціях з їх експлуатації і практично не відрізняються від правил вимірювання лінійних розмірів гладких поверхонь. Особливістю їх є використання спеціальних різбових вкладнів, які добирають залежно від профілю та розмірів різбових поверхонь.

Розглянемо схему вимірювання середнього діаметра зовнішньої різбової поверхні за допомогою трьох каліброваних дротинки і гладкого мікрометра (2.4.10). Розмір M вимірюють гладким мікрометром (довгоміром, оптиметром тощо), а значення середнього діаметра різбової поверхні визначають за формулою

$$d_2 = M - d_1 + \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{1}{2} P \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2.4.8)$$

де M — лінійний розмір, визначений за допомогою вимірювальної прилади, мм; d — діаметр каліброваних дротинки, який знаходять залежно від розмірів кроку та кута профілю різбової поверхні, за умови, що точки дотику поверхонь дротинки і профілю різбової поверхні лежать на рівній лінії, яка ділить профіль на рівні частини, мм. Тоді

$$d = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.4.9)$$

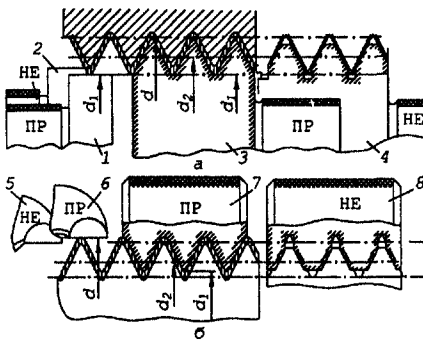


Рис. 2.4.11.

де P — крок різбової поверхні, мм; α — кут її профілю, град.

Для метричної різби з кутом профілю $\alpha = 60^\circ$ формули (2.4.8) і (2.4.9) мають вигляд

$$d_2 = M - 3d + 0,866P; \quad (2.4.10)$$

$$d = 0,5777P. \quad (2.4.11)$$

Деякі розміри метричних та інших різбових поверхонь вимірюють здебільшого для точних різбових поверхонь (різбових калібрів, ходових гвинтів

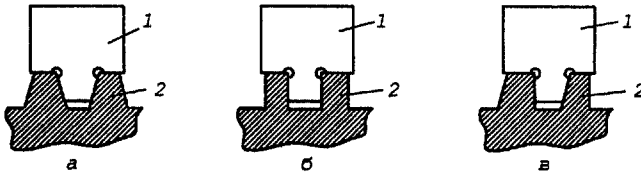


Рис. 2.4.12.

оброблювальних верстатів тощо). Тоді точність розмірів різьбових поверхонь на робочих кресленнях задають окремо для кожного з параметрів.

Контролюють розміри різьбових поверхонь за допомогою комплексних прохідних і поелементних непрохідних калібрів. Малий діаметр внутрішньої різьбової поверхні та великий діаметр зовнішньої контролюють калібрами ПР і НЕ як для гладких циліндричних поверхонь відповідних граничних розмірів (рис. 2.4.11). Середній та малий діаметри зовнішніх різьбових поверхонь, середній та великий діаметри внутрішньої різьби, а також кути профілю й крок контролюють комплексними прохідними калібрами. Непрохідними калібрами практично контролюють тільки середній діаметр різьбових поверхонь.

З метою одночасного контролю розмірів середніх діаметрів різьбових поверхонь і точності форми циліндричних поверхонь, на яких нарізана різьба, довжину прохідних калібрів виконують відповідно до зазначеної у робочих кресленнях довжини згвинчуван-

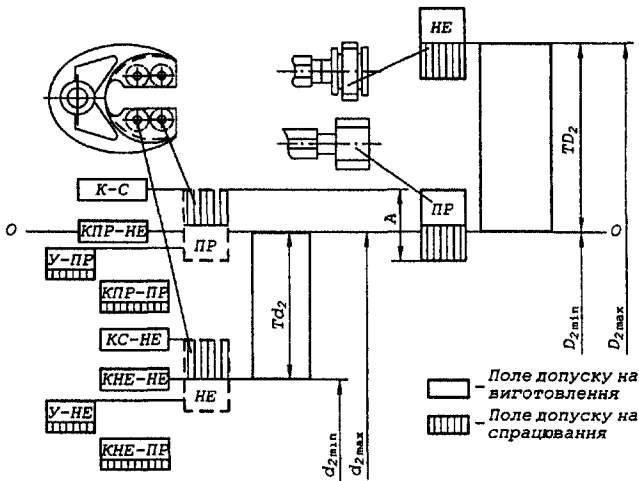


Рис. 2.4.13.

ня заданої різьби, а при відсутності таких вимог, — за вимогами стандартів.

Профілі зовнішніх різьбових поверхонь виробів контролюють також за допомогою шаблонів, зображених на рис. 2.4.12.

У стандартах для різьбових калібрів наведені схеми розміщення полів допусків робочих і контрольних калібрів окремо для великого, середнього та малого діаметрів різьбових деталей. Як і для калібрів гладких циліндричних з'єднань, відхилення робочих калібрів встановлені відносно найбільшого та найменшого граничних розмірів різьбових зовнішніх і внутрішніх поверхонь, а відхилення контрольних калібрів — від найбільшого та найменшого розмірів відповідних робочих калібрів.

Як видно зі схеми розміщення полів допусків для середнього діаметра різьбового з'єднання (рис. 2.4.13) для зовнішніх різьбових поверхонь, крім робочих калібрів ПР і НЕ та контрольних калібрів КПР-ПР, КПР-НЕ, КНЕ-ПР і КНЕ-НЕ встановлені ще поля допусків і відхилення для установних калібрів У-ПР і У-НЕ, що служать для налагодження на заданий розмір регульованих різьбових калібрів для гвинтів ПР і НЕ. Для внутрішніх різьбових поверхонь стандартами встановлені тільки робочі калібри.

Профілі різьбових калібрів роблять такими, щоб вони давали змогу контролювати тільки задані розміри, а не форму поверхонь.

2.4.5. Контроль та вимірювання параметрів зубчастих коліс і передач

Параметри точності зубчастих коліс і передач встановлюють у робочих кресленнях відповідно до їх функціонального призначення. Засоби вимірювання та контролю використовують як для визначення якості зубчастих коліс і передач, так і для налагодження зубооброблювальних верстатів.

Під час добору контролюваних параметрів керуються принципом інверсії, за яким вибирають такі параметри і способи контролю, які найкраще відповідають вимогам експлуатації зубчастих коліс і передач. З цією метою, наприклад, віддають перевагу вимірюванню міжцентрової відстані з однопрофільним зчепленням перед двопрофільним, вимірюванню за допомогою зубчастого колеса перед вимірюванням окремих параметрів (наприклад, кроку, радіального биття тощо), вимірюванню з базуванням контролюваного зубчастого колеса на центральний отвір перед базуванням на його зовнішню поверхню тощо. Використовувані контрольні-вимірювальні засоби часто дають змогу контролювати точність не одного, а кількох параметрів водночас.

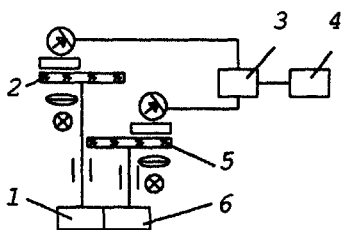


Рис. 2.4.14.

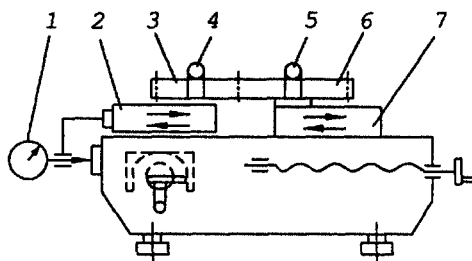


Рис. 2.4.15.

Показники кінематичної точності контролюють спеціальними пристроями. Схема ЗВТ для контролю найбільшої кінематичної похибки зубчастого колеса F'_v для однопрофільного зчеплення зображена на рис. 2.4.14. Кінематичну похибку пари зубчастих коліс 1 і 6 вимірюють за допомогою скляних прозорих лімбів 5 і 2, що мають радіальні риси з ціною поділки 2'. Переміщення рисунок зумовлює відповідні імпульси електричного струму у фотодіодах, які освітлюються променями, що проходять від джерела світла через скляні лімби до діодів. Зсув фаз імпульсів, зумовлений кінематичною похибкою зубчастих коліс 1 і 6, визначають за допомогою фазометра 3 із засобом реєстрування 4. За допомогою таких засобів контролюють зубчасті колеса та передачі діаметрами коліс 20–320 мм для зовнішнього зчеплення та 60–250 мм для внутрішнього. У разі використання замість одного з контрольованих коліс 1 чи 6 еталонного зубчастого колеса отримують змогу контролювати кінематичну похибку одного окремого зубчастого колеса.

Схема міжцентроміра, що має оправки 4 і 5, до яких щільно припасовують контрольоване 6 та зразкове 3 зубчасті колеса, зображена на рис. 2.4.15. Оправка 5 закріплена на нерухомому супорті 7, розміщення якого можна змінювати під час налагодження міжцентроміра на задану міжцентрову відстань, а оправка 4 закріплена на рухомому супорті, що притискається пружиною так, щоб обидва зубчасті колеса були щільно зчеплені. Під час обертання зубчастих коліс колесо 6 разом з оправкою 4 і супортом 2 переміщується відповідно до похибок зубчастого колеса 6. Значення та знак цього переміщення вимірюють за допомогою вимірної головки 1.

Накопичену похибку одного або k кроків переважно контролюють пристроєм, схема якого зображена на рис. 2.4.16. Під час неперервного обертання зубчастого колеса 5 в електронний блок 2 надходять електричні імпульси від кругового фотоелектричного перетворювача 4, встановленого на одній осі з вимірюваним зуб-

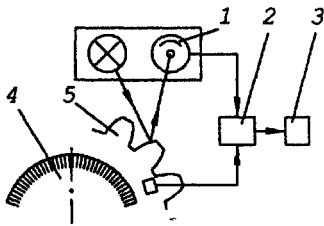


Рис. 2.4.16.

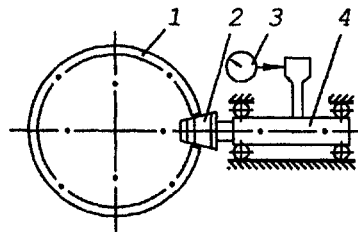


Рис. 2.4.17.

частим колесом, і від лінійного фотоелектричного перетворювача 1, що видає керувальні імпульси про задане положення зуба. Поява керувального імпульсу зумовлює реєстрацію самописним засобом 3 похибок кроку зубчастого колеса. Такі пристрої дають змогу вимірювати похибки зубчастих коліс діаметром 5...200 мм з модулем 0,2...10 мм.

Радіальне биття зубчастого колеса контролюють биттемірами (рис. 2.4.17). Вони мають профільні наконечники 2 з кутом конуса 40° для контролю зовнішніх зубчастих поверхонь. Для контролю внутрішніх зубчастих поверхонь профільні наконечники роблять сферичними. Різниця показів виміральної головки 3 на супорті 4 характеризує биття контрольованого зубчастого колеса.

Коливання довжини спільної нормалі контролюють спеціальними пристроями з мікрометричними, ноніусними, індикаторними вимірювальними головками. Наприклад, мікрометричний нормалемір (рис. 2.4.18) має два наконечники з паралельними вимірювальними плоскими поверхнями й мікрометричну головку 2. Для контролю коливань довжини спільної нормалі спочатку, визначивши за геометричними формулами номінальне значення довжини спільної нормалі, за допомогою блока кінцевих мір довжини настраюють нормалемір на нульову позначку, а потім, вимірявши відхилення довжини спільної нормалі у кількох місцях (більше трьох) на всій зовнішній поверхні зубчастого колеса порівнюють їх значення з граничним, зазначеним у робочому кресленні.

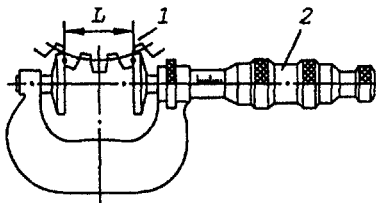


Рис. 2.4.18.

Показники плавності роботи зубчастих коліс і передач контролюють спеціальними контрольно-вимірювальними пристроями. Наприклад, місцеву кінематичну похибку визначають за допомогою пристрою для вимірювання кінематичної точності (див. рис. 2.4.14), а похибку профілю зубів — за допомогою евольвентоміра (рис. 2.4.19). Принцип ро-

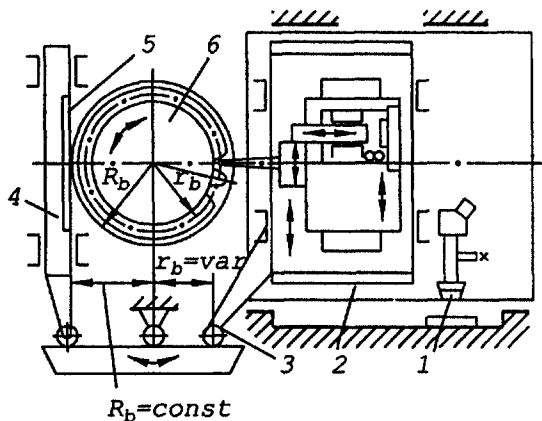


Рис. 2.4.19.

боти евольвентоміра ґрунтується на порівнянні еталонної та реальної евольвентних поверхонь. На цій схемі еталонну евольвентну поверхню відтворюють за допомогою сектора 6, розміщеного на одній осі з контрольованим зубчастим колесом. Лінійкою обкатування евольвентної поверхні служить супорт 4, зв'язаний з сектором 6 за допомогою стрічок 5. Радіус основного кола змінюють під час налагодження евольвентоміра за допомогою переміщення упора 3, що знаходиться на вимірювальному супорті. Під час налагодження нормалеміра на заданий радіус основного кола використовують мікроскоп 1.

Широко застовують також стаціонарні (для значних за розмірами зубчастих коліс) і переносні індикаторні та мікрометричні контрольно-вимірювальні пристрої, призначені для вимірювання кроків зубчастих коліс.

Якість контакту зубів у передачі також контролюють спеціальними вимірювальними засобами. Найпоширенішими серед них є ручні та автоматизовані контрольно-обкатувальні верстати та пристрої, що дають змогу визначати величину контактних плям контрольованих зубчастих коліс. Для цього спочатку поверхні зубів контрольованого зубчастого колеса фарбують і сушать, а потім у парі зі зразковим чи еталонним зубчастим колесом під навантаженням прокручують кількома повними обертами. За знятою (стертою) фарбою визначають якість контрольованого зубчастого колеса.

Часто контактні плями вимірюють після встановлення зубчастих коліс у виробі і напрацювання ними заданої частини ресурсу в умовах, близьких до експлуатаційних.

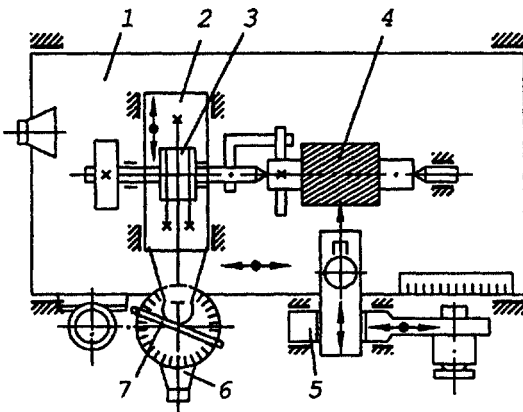


Рис. 2.4.20.

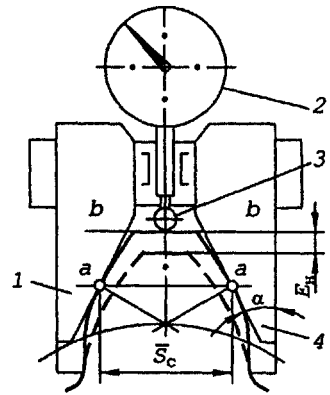


Рис. 2.4.21.

Розглянемо схему контрольно-вимірювального засобу для контролю похибок направлення зубів на рис. 2.4.20. Повздовжнє переміщення стола 1 разом з контрольованим зубчастим колесом 4 порівнюють із заданою евольвентною поверхнею. Узгодженість лінійного та обертального рухів зубчастого колеса забезпечують за допомогою нахиленої лінійки та охоплювальних шпindelів 3 стрічок, кінці яких закріплені до поперечного супорта 2. Вимірювальний вузол 5, встановлений на основі, налагоджують на задані параметри зубчастого колеса, а мікроскоп 6 дає змогу точно встановлювати лінійку 7 на заданий кут.

Величину бічного проміжку складеної передачі часто контролюють наборами щупів, виготовленими з плюмбієвих чи інших м'яких матеріалів, які вставляють між робочими поверхнями зубів коліс. Бічний проміжок для окремого зубчастого колеса контролюють, вимірюючи потоншення зубів або зміщення (у тіло зуба) вихідного контура.

Цей параметр зручно вимірювати тангенсійними зубомірами (рис. 2.4.21), що мають два щупи 1 і 4, вимірювальні стержень 3 і головку 4. Перед вимірюванням зубомір налагоджують на задану величину модуля зубів контрольованого зубчастого колеса за допомогою каліброваних роликів. Зубоміри

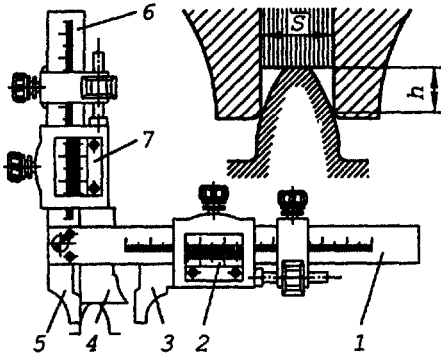


Рис. 2.4.22.

дають змогу контролювати товщину зубів на заданій відстані від лінії виступів до сталої хорди.

Товщину зубів на заданій відстані від лінії виступів до сталої хорди вимірюють за допомогою штангензубомірів (рис. 2.4.22), з ноніусними, мікрометричними, ін-

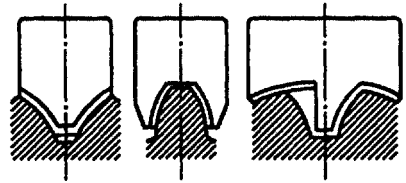


Рис. 2.4.23.

дикаторними відліковими пристроями (вимірювальні головки). У ноніусному зубомірі (рис. 2.4.22) задане розміщення сталої хорди 4 (розмір h) встановлюють за допомогою ноніусної пари 6-7, а довжину хорди S вимірюють ноніусною парою 1-2 і вимірювальними наконечниками 3 і 5, вставленими у западини між зубами контрольованого зубчастого колеса. Для контролю профілю зубів широко застосовуються шаблони (рис. 2.4.23).

Спеціальні стаціонарні та переносні контрольньо-вимірювальні засоби різних класів точності для ручного та автоматизованого, пасивного та активного контролю, з аналоговими та цифровими показувальними та реєструвальними блоками, з частковим обробленням отриманих результатів контролю та вимірювання використовують для параметрів циліндричних, конічних зубчастих коліс і черв'яків.

2.4.6. Контроль та вимірювання розмірів шпонкових і шліцьових поверхонь

Лінійні розміри шпонкових та прямокутних шліцьових поверхонь здебільшого визначають за допомогою вимірювальних приладів залежно від заданої точності та форми поверхонь. Точне вимірювання кутових розмірів шпонкових і шліцьових деталей — технічно складна задача, тому під час вимірювання, як і нормування цих параметрів деталей, добирають поля допусків, які забезпечують рухомість з'єднання.

Наприклад, стандартами встановлені поля допусків, які утворюються за допомогою відхилень D , d , F і f розмірів обох деталей для 9-10 квалітетів точності. Це дає змогу компенсувати похибки кутових розмірів деталей та забезпечує складання шпонкових і прямокутних шліцьових з'єднань.

Параметри евольвентних шліцьових поверхонь вимірюють тими ж способами і засобами, що й параметри зубчастих евольвентних коліс. Зважаючи на складність і невисоку точність вимірювання деяких параметрів евольвентних шліцьових поверхонь, їх точність забезпечують відповідною технологією виготовлення (точ-

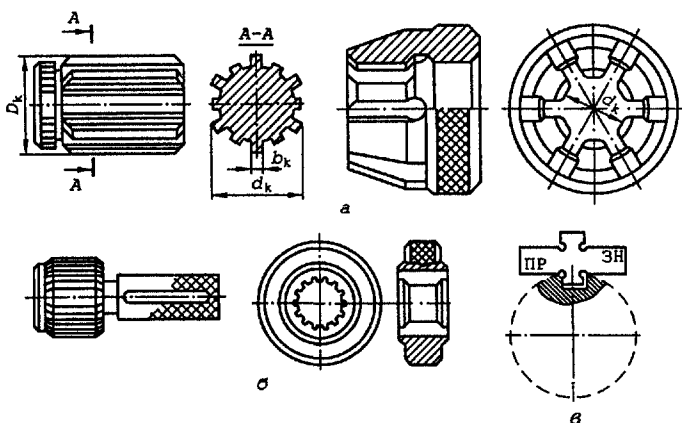


Рис. 2.4.24.

ністю шліцерізних інструментів, структурою та послідовністю операцій оброблення тощо).

Задану якість шпонкових та шліцевих деталей у серійному виробництві забезпечують за допомогою комплексних прохідних і поелементних непрохідних калібрів. Конструкції та допуски розмірів калібрів регламентовані відповідними стандартами. На рис. 2.4.24 зображено комплексні прохідні калібри для контролю прямобічних (а) та евольвентних (б) шліцевих поверхонь.

Пластинчастий калібр для контролю ширини шпонкового чи шліцевого паза зображено на рис. 2.4.24, в.

2.4.7. Засоби вимірювання та контроль відхилень форми і взаємного розміщення поверхонь

Відхилення форми та взаємного розміщення поверхонь визначають універсальними і спеціальними засобами, для створення яких використовують розмічувальні плити, кутники, призми, рівні, оптичні та механічні вимірювальні головки, натягнені струни, лазерні джерела світла, кінцеві міри тощо.

Вимірюють і контролюють відхилення від прямолінійності та площинності, наприклад виробів 5 (рис. 2.4.25, а), за допомогою лінійки 2, кінцевих мір довжини 1 і 6, рівня 3, набору щупів, які вставляють між лінійкою та кінцевою мірою 6 і вимірювальної головки зі штативом 4.

Відхилення від прямолінійності значних вертикальних ліній та поверхонь знаходять за допомогою вертикальних струнних рів-

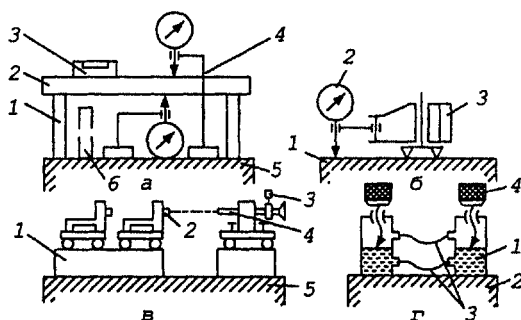


Рис. 2.4.25.

нів у комплекті з оптичними вимірювальними головками, а відхилення від площинності виробів 1 (рис. 2.4.25, б) контролюють поворотним плоскоміром 3 з вимірювальною головкою 2 чи оптичним засобом (рис. 2.4.25, в), якими вимірюють відстані від контрольованої поверхні виробу 1 до оптичної осі трубки 4 за допомогою автоколіматора, дзеркала 2 та вимірювального компенсатора 3, встановлених на столі 5. З цією метою використовують також гідростатичні рівні (рис. 2.4.25, г) з кількома вимірювальними головками 1, з'єднаними між собою гнучкими сполучними трубками 2. Встановивши головки 1 у вимірюваних місцях виробу 1, крутять мікровинти 4 зі шкалами до стикання їх гострого наконечника з поверхнею рідини.

Відхилення від круглості визначають круглмірами (рис. 2.4.26).

Для контролю можливого огранення циліндричних поверхонь відхилення від круглості вимірюють у багатьох місцях цих поверхонь. Оскільки похибки вимірювання зумовлюються точністю ви-

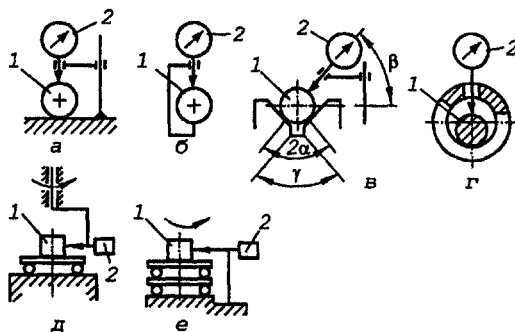


Рис. 2.4.26.

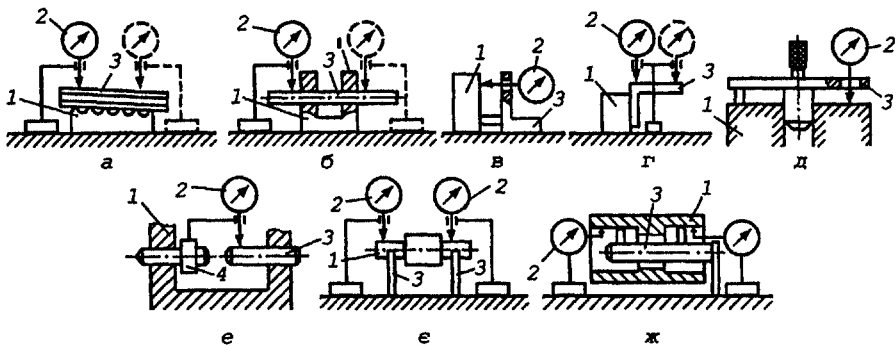


Рис. 2.4.27.

користовуваних елементів, залежно від заданої точності параметрів відповідно добирають точність вимірювальних головок та інших складових частин контрольно-вимірювальних пристроїв.

В автоматизованих кругломірах використовують перетворювачі переміщень з подальшим обробленням отриманої інформації. Це дає змогу безпосередньо визначати такі похибки поверхонь виробів як ексцентриситет, овальність, огранення різних порядків, хвилястість, відхилення від співвісності тощо.

Схеми відхилення взаємного розміщення поверхонь виробів 1 та співвісності поверхонь отворів і виробів зображені на рис. 2.4.27.

Як засоби для вимірювання відхилень форми та взаємного розміщення поверхонь застосовують також вимірювальні машини (координатні, пневматичні, оптико-механічні плоскоміри, кругломіри тощо).

2.4.8. Вимірювання та контроль параметрів шорсткості поверхні

Кількісну оцінку параметрів шорсткості поверхонь виробів роблять безконтактним способом за допомогою оптичних засобів вимірювання (мікроскопів, мікроінтерферентів тощо) та контактним способом засобами вимірювання з голчастими вимірювальними головками (профілометрами, профілографами тощо).

Завдяки оптичним засобам вимірювання визначають параметри шорсткості R_z і R_{\max} у межах від 0,1 до 320 мкм, S і S_m — від 0,001 до 6,3 мм, а за допомогою голчастих профілографів і профілометрів залежно від типу вимірювального засобу — параметри R_a від 0,008 до 100 мкм, R_z і R_{\max} від 0,025 до 250 мкм, S і S_m від 0,003 до 12,5 мм t_p від 0 до 100% [20].

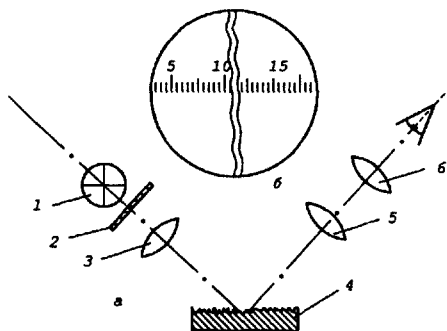


Рис. 2.4.28.

досліджуваної поверхні за допомогою нахилоного світлового плоского променя (рис. 2.4.28, а), світловий промінь проходить від джерела світла 1 через діафрагму 2 з вузькою щілиною, конденсор 3 і проєктує світлу смужку поверхні 4 за допомогою об'єктиву 5 у фокальну площину окуляра 6.

Висоту мікронерівностей знаходять за допомогою окуляра-мікрометра (рис. 2.4.28, б). Отримують світлову криву нерівностей поверхні (з тіннями від виступів), розміри якої визначають за прозорою шкалою мікрометра.

Принцип дії інтерферометрів полягає у використанні інтерференції світлових променів, відбитих від зразкової та вимірюваної поверхонь.

Форма інтерференційних смуг залежить від виду та висоти нерівностей поверхонь. Зображення поверхні разом з інтерференційними смугами розглядають в окуляр інтерферометра (рис. 2.4.29), а висоту нерівностей її профілю R (чи інші параметри шорсткості поверхні) визначають за співвідношенням викривлення інтерференційних смуг a до ширини їх інтервалу b як

$$R = \frac{a \lambda}{b 2}. \quad (2.4.12)$$

Для довжини хвилі джерела світла $\lambda = 0,550$ мкм, $R = 0,275 \frac{a}{b}$.

Значення a і b визначають наближено або за допомогою окулярного мікрометра.

Принцип дії растрових мікроскопів полягає в утворенні муарових смуг від накладання зображень елементів двох періодичних структур (слідів оброблення та дифракційних ґраток), а мікронерівності поверхонь визначаються ступенем спотворення муарових смуг.

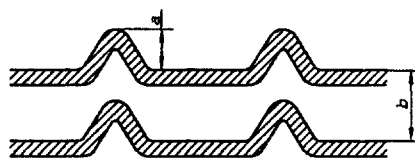


Рис. 2.4.29.

У безконтактних оптичних вимірювальних засобах, принцип дії яких полягає у вимірюванні параметрів шорсткості за проєкцією світлового перерізу

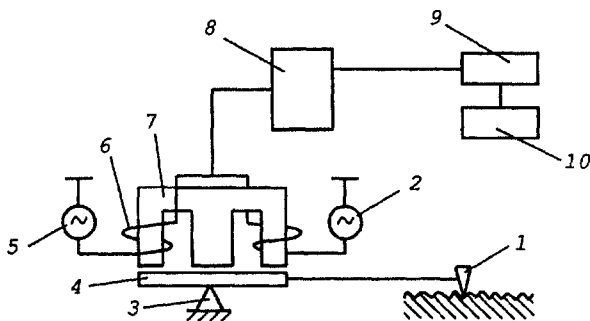


Рис. 2.4.30.

У контактних засобах вимірювання шорсткості поверхонь за допомогою голчастих головок для визначення параметрів нерівностей використовують вертикальні коливання голки 1 (гострого алмазного наконечника), що рухається по досліджуваній поверхні (рис. 2.4.30). Ці коливання передаються коромислу 4, що може хитатися на опорі 3 і змінювати проміжок (магнітний опір) в обох колах магнітопроводу 7 диференційного трансформатора. Це зумовлює відповідні електричні імпульси в електричних мотках 6, що живляться від джерел електричного струму 2 і 5 з частотою $10\ 000\ \text{с}^{-1}$.

Хитання коромисла перерозподіляє індуктивності, змінюючи відповідно вихідну напругу диференційного трансформатора, амплітуда якої характеризує висоту мікронерівностей вимірюваної поверхні, а частота (залежно від заданої швидкості протягування вимірювальної головки) — їх крок. Електричні сигнали підсилюються у блоці 8 і передаються у блок оброблення інформації 9, а далі — у записувальний чи показувальний блок 10.

Замість магнітно-індуктивного використовують також механотронні, п'єзоелектричні перетворювачі переміщень голки в електричні сигнали. Як показувальні та записувальні засоби використовують аналогові або цифрові прилади. Схема механотронного профілометра зображена на рис. 2.4.31. У ньому алмазна голка закріплена на кінці вимірювального щупа, який за допомогою тонкої мембрани пов'язаний з рухомим анодом механотрона 1. Вимірювальний щуп переміщують із заданою швидкістю вздовж досліджуваної поверхні. Електричні сигнали

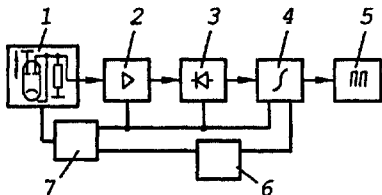


Рис. 2.4.31.

ли з механотрона подають на підсилювач 2, випрямляч 3, інтегратор 4 та показувальний блок 5. Живлення всіх ланцюгів механотрона забезпечує блок 7, а реле часу 6 — частотну характеристику параметрів шорсткості, задаючи довжину трасування (робочого руху) щупа вимірювальної головки.

Для вимірювання шорсткості важкодоступних внутрішніх поверхонь застосовують імерсійно-репліковий інтерферометр, на якому вимірюють параметри шорсткості не самої досліджуваної поверхні, а її відбитка (репліки).

За стандартами еталон шорсткості поверхонь забезпечують за допомогою засобів, серед яких джерело монохроматичного випромінювання першого розряду (газовий лазер), мікроінтерферометр, пристрій для об'єктивного наведення, засоби вимірювання лінійних переміщень і зразкова міра шорсткості.

Оскільки і сам процес вимірювання і ЗВТ складні й дорогі, то їх використовують для вимірювання та контролю параметрів шорсткості тільки відповідальних за функціональним призначенням поверхонь на дібраних з окремих партій виробих. Шорсткість менш відповідальних поверхонь виробів не контролюють зовсім, або забезпечують шорсткість поверхонь відповідними технологічними способами та режимами оброблення.

Вимірювання та контроль параметрів шорсткості поверхонь є технічно складним завданням, оскільки до сьогодні відсутні прості та надійні засоби для вимірювання мікронерівностей поверхонь різної форми та величини із високою точністю. Через технічні труднощі перелічені вище засоби переважно дають умовні значення параметрів шорсткості або мають малу точність. Тому часто на практиці шорсткість поверхонь визначають за допомогою простіших та дешевих способів вимірювання, наприклад, порівнюючи їх візуально чи на дотик з еталонними зразками (ГОСТ 9378–93), виготовленими із заданих матеріалів, за допомогою заданих способів оброблення тощо.

Для підвищення точності визначення параметрів шорсткості поверхонь застосовують спеціальні щупи, порівнювальні мікроскопи та прозорі лінзи. На еталонні зразки шорсткості поверхонь наносять цифрові значення шорсткості, переважно за параметром R_a . Зразки шорсткості виготовляють як пластинки з розмірами 10×20 чи 15×30 мм і комплектують у набори за матеріалами, способами їх оброблення тощо. Для обмеженого асортименту виробів формують переносні набори типу блокнотів.

Якісну оцінку шорсткості поверхонь конструктори, технологи та кваліфіковані робітники виконують на підставі набутого виробничого досвіду. Часто параметри шорсткості визначають за способом отримання поверхонь виробів. Наприклад, за допомогою

різання матеріалів поверхні отримують у 1–4 етапи оброблення (чорновий, напівчистовий, чистовий та кінцевий, яким може бути фінішний чи оздоблювальний етапи). Беручи до уваги, що параметр R_a за стандартом може мати значення 0,008...100 мкм і поділивши цей діапазон умовно на чотири піддіапазони за параметром шорсткості, наближено можемо прийняти такі значення параметра R_a для кожного з етапів оброблення: 10...100 мкм для чорнового, 1...10 мкм для напівчистового, 0,1...1 для чистового та 0,1...0,01 мкм для кінцевого.

За чорнове оброблення приймають зняття верхнього шару матеріалу за допомогою точіння, стругання, фрезування, шліфування тощо з необроблених (литих, кованих, штампованих, прокатаних) поверхонь; напівчистим обробленням вважають зняття верхнього шару матеріалу такими ж способами, але переважно уже оброблених поверхонь або необроблених, якість яких можна порівняти до оброблених на чорно поверхонь (холодноштампованих, катаних тощо); за чистове оброблення приймають оброблення напівчистових, а за кінцеве — оброблення чистових поверхонь (або

Таблиця 2.4.1

Шорсткість поверхонь заготовок за параметром R_a

Шорсткість поверхні, мкм	Способи отримання заготовок
0,008...0,1	Лакофарбові покриття, гальванічні покриття з поліруванням, пресування металів і пластмас, штампування витискуванням, лиття під тиском, штампування рідкого металу, карбування, волочіння
0,1...1	Гальванічні покриття після чистового оброблення поверхонь зняттям стружки, лиття під низьким тиском; прокатування, штампування у закритих штампах, рознімних матрицях, прецизійне штампування у холодному стані
1...10	Лиття за витопними моделями, в оболонкових формах, у кокілі, холодне накатування, обкатування, вигинання, вальцювання, пресування порошкових неметалевих матеріалів тощо
10...100	Лиття у вуглецеві, піщано-глиняні, гіпсові, вакуумно-плівкові, цегляні, шишкові тощо форми; прокатування, вальцювання, накатування, розкатування, пресування, калібрування у гарячому стані

поверхонь, що за шорсткістю відповідають їм). Найменшу шорсткість мають поверхні, отримані за допомогою кінцевих (фінішних, оздоблювальних) операцій, якими можуть бути операції різання з відповідними режимами та за допомогою спеціальних різальних інструментів (хонів, притирачів, дрібнозернистих шліфувальних і полірувальних кругів).

За цими показниками легко визначити норму шорсткості поверхні у робочому кресленні чи параметр шорсткості R_a уже готового виробу. Такий спосіб зручний як для конструкторів, що розробляють робочі креслення виробів, так і для технологів і робітників, які їх виготовляють. Наприклад, поверхні з параметром шорсткості R_a 10...100 мкм можуть бути отримані за допомогою чорнового оброблення, поверхні з параметрами шорсткості R_a 1...10 мкм мають пройти чорнове та напівчистове оброблення, поверхні з параметрами шорсткості R_a 0,1...1 мкм — чорнове, напівчистове та чистове оброблення, а поверхні з параметрами R_a 0,008...0,1 мкм — крім перелічених ще й кінцеве оброблення (табл. 2.4.1).

Деяко складнішим є нормування та визначення параметрів шорсткості поверхонь, отриманих за допомогою лиття, тиснення, пресування, зварювання тощо. Але для кожного зі способів отримання виробів властиві фактори, що зумовлюють шорсткість поверхонь і дають змогу нормувати та визначати її параметри. Наприклад, шорсткість поверхонь, отриманих литтям, тисненням, пресуванням, здебільшого зумовлюється шорсткістю поверхонь технологічного спорядження (форм, моделей, шишок, матриць, штампів, пуансонів, прокатувальних і вальцювальних валків тощо).

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється контроль показників якості виробів від їх вимірювання?
2. Як класифікують калібри?
3. Якими способами контролюють гладкі циліндричні поверхні?
4. Охарактеризуйте гладкий та комплексний калібр.
5. Які ви знаєте конструкції гладких калібрів?
6. З чого складається схема розміщення полів допусків калібрів?
7. Поясніть порядок визначення розмірів калібрів.
8. Якими способами контролюють конічні поверхні?
9. Перелічіть конструкції конічних калібрів.
10. Охарактеризуйте параметри різьбових поверхонь і способи їх вимірювання.
11. Перелічіть засоби вимірювання параметрів різьбових поверхонь.

12. Що таке зведений середній діаметр різьбових поверхонь?
13. Які знаєте калібри для контролю різьбових поверхонь?
14. Перелічіть способи вимірювання параметрів зубчастих коліс.
15. Засоби контролю параметрів точності зубчастих коліс і передач.
16. Охарактеризуйте призначення тангенсійного зубоміра.
17. Перелічіть способи та засоби вимірювання параметрів поверхонь шпонкових з'єднань.
18. Якими калібрами контролюють поверхні шліцьових з'єднань?
19. Як вимірюють та контролюють відхилення форми поверхонь?
20. Охарактеризуйте пристрої для вимірювання відхилень взаємного розміщення поверхонь.
21. Перелічіть ЗВТ параметрів шорсткості поверхонь.
22. Які ви знаєте способи якісного та кількісного контролю параметрів шорсткості поверхонь?

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ У МАШИНОБУДУВАННІ

ЧАСТИНА 3

Глава 3.1

Класифікація промислової продукції та показників її якості

3.1.1. Основні поняття. Терміни й визначення

Продукція машинобудування є вагомою складовою промислової продукції та має всі її загальні ознаки. Тому вивчення, аналіз понять, показників і рівня якості, методів їх класифікації, створення систем якості, керування якістю продукції, системами доцільно розглядати на підставі загальних положень. Якість продукції є одним з найважливіших показників роботи будь-якого виробничого підприємства чи об'єднання, а високий рівень якості продукції — основний гарант його ефективної діяльності. Відповідно до чинних стандартів *якістю продукції* називають сукупність характеристик продукції (процесу, послуг), які стосуються її здатності задовольняти визначені потреби. *Характеристика продукції* — це об'єктивна її особливість, за якою її відрізняють від інших видів продукції.

Якість виготовлення — це сукупність характеристик процесу виготовлення продукції, від яких залежить відповідність цього процесу та його результатів певним вимогам. *Показник якості продукції* — це кількісна характеристика однієї чи кількох її властивостей, що визначають її якість за певних умов створення, використання чи споживання.

У середині ХХ ст. якість продукції стали вивчати у багатьох розвинених країнах світу. Конкурентна боротьба виробників продукції за ринки збуту та безперервне підвищення вимог до її якості сприяли розвитку

окремої галузі науки, яка пов'язана з кількісною оцінкою якості продукції [1, 6] і називається *кваліметрія*.

Основним завданням цієї науки є обґрунтування номенклатури показників якості продукції, розроблення методів і засобів їх розрахунку, вимірювання, контролю, оптимізації, виділення узагальнених показників якості продукції, використання їх для прогнозування змін якості продукції у часі та просторі, керування рівнем якості продукції різного призначення, створення системи стандартів (ДСТУ ISO 9001–95; ДСТУ ISO 9002–95 тощо).

Серед практичних завдань контролю якості — розроблення методів визначення оптимальних значень показників якості продукції, аналіз вимог до неї, точності вимірювання, порівняння та репрезентативності показників якості, уніфікації методів і засобів визначення окремих властивостей продукції, що зумовлюють її якість, тощо. До них часто відносять також добирання цільових функцій, що залежать від окремих показників якості продукції, які можна використовувати як критерії оптимізації для розв'язування заданих задач.

Фізичні величини та показники якості — не тотожні між собою. За допомогою перших описують властивості, які в сукупності зумовлюють якість продукції. ФВ відображають об'єктивні властивості природи, а показники якості — суспільну потребу за певних умов. Наприклад, маса — ФВ, а маса виробу — показник його транспортабельності; швидкість — ФВ, а експлуатаційна швидкість автомобіля чи літака — показники їх призначення; освітленість — ФВ, а освітленість робочого місця — ергономічний показник якості продукції.

Як і ФВ, показники якості можуть бути розмірними або безрозмірними. На них поширюються всі положення теорії розмірностей. Кількісною характеристикою показників якості продукції, як і ФВ, є їх розмір, який відрізняють від його значення — вираження розміру в певних одиницях. Розмір та його значення від дібраних одиниць не залежать. Наприклад, трудомісткість виготовлення чи використання продукції визначають за кількістю часу, витраченого на виготовлення чи використання одиниці продукції, та виражають в норма-годинах. Трудомісткість виготовлення (показник технологічності продукції) певного виробу не зміниться, якщо його виразити в людино-днях. Не зміняться й такі економічні показники продукції, як вартість чи ціна, від того, що їх запишуть не у гривнях, а в копійках чи доларах. Арифметичне число, що є значенням показника якості чи ФВ, називають числовим значенням і залежить воно від дібраних одиниць вимірювання.

Аналогічно значення показника якості й ФВ можуть бути абсолютними й відносними. Перші — завжди розмірні, а другі —

безрозмірні. Але, на відміну від цього, абсолютні значення показників якості бувають розмірними й безрозмірними, а відносні — тільки безрозмірними. Наприклад: відносна трудомісткість виготовлення продукції за трудомісткістю виготовлення заготованок (%)

$$T_{\text{тз}} = \frac{T_3}{T}, \quad (3.1.1)$$

де $T_{\text{тз}}$ — відносна трудомісткість (%) виготовлення продукції за обсягом трудомісткості виготовлення заготованок T_3 , нормо-год; T — загальна трудомісткість виготовлення продукції, нормо-год. Відносна вартість продукції за вартістю заготованок (%)

$$B_{\text{вз}} = \frac{B_3}{B}, \quad (3.1.2)$$

де $B_{\text{вз}}$ — відносна вартість (%) виготовлення продукції за вартістю виготовлення заготованок B_3 , грн; B — загальна вартість виготовлення продукції, грн.

Якість продукції є функцією багатьох факторів. Наприклад, якість продукції машинобудування залежить від технічного рівня галузі (досконалості та технологічності конструкції, рівня матеріально-технічного забезпечення виробництва, якості використовуваних матеріалів, заготованок і комплектувальних виробів, енерго- та матеріаломісткості продукції, рівня механізації та автоматизації виробництва, стандартизації, сертифікації тощо), експлуатаційних показників якості продукції (кількості та надійності виконуваних функцій, ремонтпридатності, економічності, ергономічності, безпеки праці, патентної чистоти та захищеності, дизайну тощо).

Контроль якості продукції, стандартизація та метрологія — тісно пов'язані між собою галузі, які доповнюють одна одну та забезпечують об'єктивність оцінки якості праці виробників продукції різних галузей народного господарства. Контроль якості продукції неможливий без використання метрології та стандартизації.

Практично кваліметрія є частиною метрології, яка вивчає питання вимірювання якості продукції. В ній діють ті ж закони та правила, які використовують для вимірювання ФВ. Особливості та відмінності їх пізнаються в порівнянні. Різноманітність нашого довкілля виявляється у його властивостях. Будь-яка властивість має якісну та кількісну характеристику. Ці характеристики можуть оцінюватися різними способами. Наприклад, інертність тіл можна оцінювати силою притягання до Землі (вагою), в умовах невагомості ця сила дорівнює нулю. Тому за цих умов інертність доцільно оцінювати масою виробу. Кожна властивість може

мати кілька характеристик, але тільки найприйнятнішу з них називають *мірою*.

За міру властивостей ФВ беруть лінійні й кутові розміри, масу, час, тиск, швидкість тощо, а мірами властивостей, які означають якість продукції, є показники її якості. Для оцінки властивостей ФВ використовують вимірювання геометричних і механічних величин, тиску й вакууму, температури та інших теплофізичних параметрів, частоти та часу, магнітних, електричних, акустичних величин тощо.

Об'єктами вимірювань є не тільки ФВ. Наприклад, в економіці поширеним є поняття вартості, яке спільне для всіх видів товарної продукції, хоча кількісно воно є різним для кожної з них. Іншим прикладом може бути ціна, яка колись оцінювалась кількістю різних товарів, а в епоху товарно-грошових відносин — грошми. Вартість і ціна є різними показниками товарної продукції, які відносять не до ФВ, а до економічних показників продукції.

Розробляються та запроваджуються у виробництво стандарти й рекомендації, які встановлюють єдину термінологію, методи та засоби вимірювання, контролю та забезпечення заданого рівня якості продукції.

3.1.2. Класифікація промислової продукції

Усю промислову продукцію [10,15] поділяють на групи, які дають змогу характеризувати продукцію кожної з них обмеженою множиною показників якості продукції та визначати її рівень. Залежно від того, як визначають кількість продукції — у штуках чи у фізичних одиницях (довжини, маси, площі, об'єму тощо), її поділяють на вироби та матеріали. У деяких випадках, коли окремі матеріали пакують у стандартну промислову тару, без якої використання заданого матеріалу неможливе чи не забезпечує заданої його якості, такі матеріали розглядають як вироби та називають *витратними*, наприклад, медичні ліки у ампулах, таблеток, разових шприцах, військові боєприпаси (гранати, кулі, бомби, ракети) тощо.

Продукцію використовують за її функціональним призначенням двома способами. Перший полягає у витратах не самої продукції під час її використання та стосується матеріалів і витратних виробів. Інколи їх витрати частково повертаються внаслідок вторинного перероблення. Другий спосіб полягає у витратах не самої продукції, а її ресурсу придатності. Цей спосіб стосується всіх виробів, окрім витратних. Відповідно до способу витрат усю про-

дукцію поділяють на дві групи: ту, яка витрачається під час використання, і ту, яка витрачає свій ресурс.

Така властивість продукції, як схоронність, властива для обох груп і є універсальним показником якості як матеріалів, так і виробів. Не вся продукція може бути відремонтована, тому такий показник якості, як ремонтпридатність, який визначають окремо для заданої продукції, також може бути її класифікаційною ознакою.

Залежно від патентної спроможності продукцію поділяють на таку, яка може бути патентоспроможною, й таку, що не може бути патентоспроможною (запатентованою). До останньої, наприклад, належать корисні копалини та інші матеріали, що існують у природі. Схема загальної класифікації промислової продукції зображена на рис. 3.1.1.

До першої групи *витратної продукції* належать усі руди та концентрати; тверде, рідке й газове паливо; природні будівельні та декоративні матеріали; коштовні метали та каміння; сільсько-господарська продукція, квіти, лікарські трави, продукти бджільництва, шовківництва, тваринництва, птахівництва, рибальства тощо. Уся ця продукція не підлягає ремонту і не має такого показника якості, як ремонтпридатність, незважаючи на те, що втрачені нею під час зберігання та транспортування властивості можуть бути частково відновлені. Не може ця продукція характеризуватись такими показниками якості, як надійність, довговічність, стандартизація, уніфікація, ергономіка, патентоспроможність. Однак, залежно від властивостей, цю продукцію часто поділяють за вартістю, естетичними показниками на сорти.

Другу групу витратної продукції становлять матеріали та продукти, виготовлені за участю людини: штучне паливо та мастила;

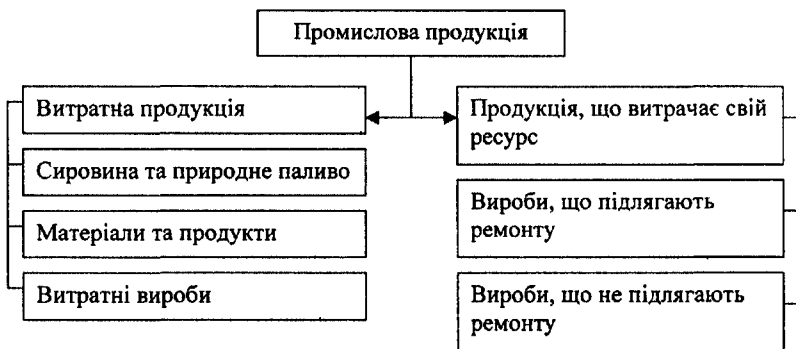


Рис. 3.1.1.

продукція металургії (прокат, колоди, дрiт, виливки), хiмiчні речовини (солi, гази, кислоти, добрива, фарби, отрутохiмiкати, пластмаси, смоли, вибуховi речовини, текстильнi матерiали, шкiра, хутро); будiвельнi матерiали (цемент, бетон, гiпс, скло, керамiка тощо); електро- та радiотехнiчнi матерiали, лiкарськi та медичнi препарати, харчовi продукти тощо. Цю продукцiю частково подiляють за декоративними та естетичними ознаками, вона може бути патентоспроможною. Але для неї, як i для першої групи, не властивi такі показники якостi, як надiйнiсть, ремонтоспроможнiсть, унiфiкацiя.

Таблиця 3.1.1

Групи показників якостi промислової продукцiї

Показник якостi продукцiї	Група промислової продукцiї				
	Сировина та природне паливо	Матерiали та продукти	Витратнi матерiали	Вироби	
				ремонтоспридатнi	неремонтоспридатнi
Призначення	+	+	+	+	+
Надiйностi	-	-	-	+	+
Довговiчностi	-	-	-	+	+
Економiчностi	+	+	-	+	+
Ремонтоспроможностi	-	-	-	+	+
Схоронностi	+	+	+	+	+
Екологiчностi	+	+	+	-	-
Ергономiчностi	-	-	+	+	+
Естетичностi	(+)	(+)	+	+	+
Технологiчностi	+	+	+	+	+
Траспортабельностi	(+)	(+)	+	+	+
Стандартизацiї	-	-	(+)	+	+
Унiфiкацiї	-	-	(+)	+	+
Патентоспроможностi	-	+	+	+	+
Безпечностi	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Однорiдностi	+	+	+	+	+
Вплив на довкiлля	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Стiйкостi до зовнiшнiх впливiв	(+)	(+)	+	+	+

Умовнi позначення: знак "+" означає, що група показникiв якостi належить до вiдповiдної групи продукцiї, знак "-" свiдчить, що не належить, а знак (+) означає, що група показникiв якостi має часткове вiдношення до вiдповiдних груп продукцiї.

До третьої групи належать витратні вироби, серед яких кускове мило, лікарські штучні препарати, мотки ниток, дроту, кабелів, кондитерські вироби, пляшки, банки, бочки, балони тощо. Виробам цієї групи властиві патентно-правові та естетично-ергономічні показники якості, а також показники транспортабельності, рівня уніфікації, стандартизації тощо.

Четверту групу становлять вироби, що підлягають ремонту. До неї належить практично вся продукція машино- та приладобудування, електро- та радіотехнічної промисловості; легкого, хімічного, медичного, військового, транспортного та сільськогосподарського машинобудування; електронної, кінопрокатної, фотографічної, побутової техніки тощо.

П'ята група представлена виробами, що не підлягають ремонту, це вироби вакуумної та напівпровідникової техніки, резистори, конденсатори, реле, кулькові та роликові підшипники, кріпильні вироби тощо.

Вироби останніх двох груп мають усі показники якості продукції. Для наочності та зручності у табл. 3.1.1 наведені дані щодо відношення груп показників якості для різних груп промислової продукції.

3.1.3. Класифікація показників якості продукції машинобудування

Оскільки продукцією машинобудування можуть бути вироби та матеріали, то надалі термін *продукція* вживатимемо тоді, коли її можна буде використати як окремий виріб чи матеріал, а *вироби* — тоді, коли продукція використовуватиметься тільки як вироби.

Показниками якості виробів машинобудування називають кількісну характеристику їх властивостей, що визначають їх якість для заданих умов створення та використання за призначенням. Показник якості виробу, що характеризує тільки одну його властивість, називають *одиничним*, а показник якості виробу, що характеризує водночас декілька його властивостей, — *комплексним*. Схема класифікації показників якості виробів за кількістю їх властивостей зображена на рис. 3.1.2.

Комплексний показник якості виробу, що є відношенням сумарного корисного ефекту від використання до сумарних витрат на його створення та використання, називають *інтегральним*. Показник якості виробу, що характеризує таку його властивість (чи сукупність властивостей), за якою визначають якість виробу, називають *визначальним*.

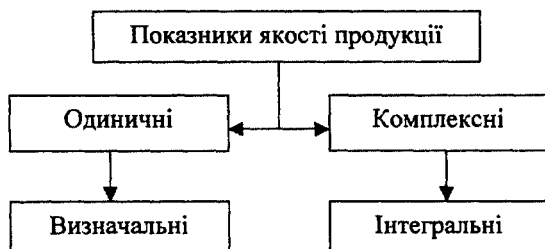


Рис. 3.1.2.

Показники якості виробів не завжди збігаються з їх параметрами. Вони кількісно характеризують ступінь придатності до задоволення потреб споживачів, тобто тільки ті властивості, що визначають якість виробу. Поняття *параметр виробу* є ширшим від поняття *показник його якості*, оскільки параметрами можуть бути властивості виробу, що не визначають їх якості. Показники якості виробу можуть бути функціями одного чи кількох параметрів. Наприклад, показники продуктивності та довговічності різальних інструментів залежать від конструктивних параметрів, якими є матеріал різального інструмента, геометрична форма та розміри поверхонь.

Значення показника якості виробу, яке приймають за вихідне для порівнювальних розрахунків (оцінок) його якості, називають *базовим значенням заданого показника*. За базові приймають значення показників якості крапчик зразків виробів, виготовлених у попередній період часу, або значення показників якості перспективних зразків, отримані після дослідів чи розрахунків і внесені у технічні вимоги для заданих виробів.

Перехід до кількісних методів досліджень дав змогу виділити як окремі показники якості продукції, так і їх групи, розглянути методи їх аналізу та порівняння.

Між ФВ існують залежності, які записують у вигляді математичних співвідношень і формул. Ці формули можуть виражати закони природи (Ома, Ньютона, Кірхгофа тощо), бути теоретичним чи експериментальним визначенням деяких величин (швидкості, прискорення, щільності тощо), інтегральними показниками якості продукції

$$K_i = -\frac{E_{\Sigma}}{B_c + B_a}, \quad (3.1.3)$$

де K_i — сумарний корисний ефект від нової продукції, грн; B_c і B_a — витрати відповідно на її створення (проекування, конструювання) та використання (споживання).

У всіх фізичних залежностях певні ФВ приймають за основні чи додаткові, а всі інші — за похідні від них. Практика свідчить [23, 37], що всю механіку можна викласти, використовуючи тільки три основні фізичні величини, всю теплотехніку — за допомогою чотирьох, всю молекулярну фізику — за допомогою п'яти, а всю сучасну фізику — за допомогою семи основних і двох додаткових фізичних величин. Саме вони створюють все розмаїття похідних ФВ і описують будь-які властивості фізичних об'єктів та явищ.

У кваліметрії показники якості продукції не поділяють на основні та похідні.

Одні показники якості продукції через інші виражають *одичними показниками якості продукції*, кожний з яких стосується тільки однієї з властивостей продукції, та *комплексними показниками якості*, які характеризують водночас кілька властивостей. Їх виражають за допомогою одиничних показників якості продукції, бо похідні ФВ записують за допомогою основних.

Якщо комплексний показник якості продукції не вдається записати за допомогою одиничних показників чи об'єктивною функціональною залежністю, то використовують суб'єктивний спосіб утворення опосередкованих показників:

середній опосередкований арифметичний

$$Q_{cba} = \sum_{i=1}^n q_i Q_i, \quad (3.1.4)$$

середній опосередкований гармонічний

$$\bar{Q}_{cbh} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (3.1.5)$$

середній опосередкований квадратичний

$$\bar{Q}_{cbk} = \sum_{i=1}^n q_i^2 Q_i^2, \quad (3.1.6)$$

середній опосередкований геометричний

$$\bar{Q}_{cbg} = \prod_{i=1}^n Q_i^{q_i}. \quad (3.1.7)$$

За допомогою коефіцієнтів q_i враховують вагомість кожного з одиничних показників якості Q_i . Вагомість результатів вимірювання ФВ тим більша, чим менше їх розсіяння. Тому для оброблення результатів багатьох вимірювань, розв'язання систем лінійних рівнянь методом найменших квадратів [36] коефіцієнти вагомості беруть обернено пропорційними дисперсіям. У кваліметрії вагомість показників якості продукції визначають по-іншому.

Усі показники якості, як і ФВ, змінюються з часом. Якість продукції переважно погіршується з наближенням кінця терміну її використання. Можливо також, що продукція певний час не використовувалась, а перебувала у технічному обслуговуванні чи ремонті. Це враховують показники надійності, до яких належать показники схоронності, безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності тощо. За своєю природою вони значно відрізняються від інших і оперувати ними, як іншими, не можна.

Значення показників якості залежить від впливових факторів, визначення яких часто є складною задачею. Під час здійснення точних вимірювань практично беруть до уваги вплив об'єкта та суб'єкта (експерта чи експериментатора) вимірювання, дібраних способу та засобів вимірювання й умови, за яких вони відбуваються. Об'єкт вимірювань має бути достатньо вивченим. Експерт чи експериментатор вносять у процес вимірювання елементи суб'єктивізму, зумовлені їхньою кваліфікацією, психофізичним станом, дотриманням ергономічних вимог тощо.

Кваліфікація експертів має вагоме значення для евристичних та органолептичних вимірювань. *Евристичними* називають вимірювання, що ґрунтуються на інтуїції, а *органолептичними* — ті, що ґрунтуються на використанні органів чуттів людини (дотику, зору, нюху, слуху та смаку).

Результати вимірювань, виконаних людиною, залежать від багатьох обставин, які не піддаються точному обліку, серед них настрої людини в певний момент, її здатність зосередитися, наявність побічних впливів. Є, однак, сталі чинники. До них належать вимогливість, особистий смак, симпатія, прихильність тощо. Деякі з перелічених факторів зумовлюють збільшення результатів вимірювань, деякі — зменшення. Збільшують точність результатів вимірювань, використовуючи кількох експериментаторів замість одного, а також застосовуючи автоматизовані чи автоматичні ЗВТ, які завжди об'єктивніші та точніші.

Деякі впливові ФВ можуть зумовлювати значні похибки вимірювання. Для усунення чи визначення їх впливу застосовують різні способи. *Спосіб заміни* вимірюваної ФВ рівноцінною їй мірою (зразком) використовують у відносних вимірюваннях, зважуванні на терезах, вимірюванні опору резисторів за допомогою урі-

вноважених мостів тощо. *Спосіб компенсації* впливових ФВ за знаком полягає у вимірюванні невідомої ФВ два рази так, щоб впливова ФВ зумовлювала протилежні за знаком дії, при цьому беруть середнє арифметичне обох результатів. *Спосіб симетричних вимірювань* полягає в тому, що протягом певного інтервалу часу здійснюють кілька вимірювань, а за результат беруть напівсуми окремих результатів, симетричних за часом відносно середини цього інтервалу. Такий спосіб ефективний для усунення зростаючої дії будь-якої впливової ФВ.

Показники якості виробів можуть бути задані у різних одиницях ФВ, включно з безрозмірними. Деякі показники якості можуть характеризувати однакові чи різні за призначенням вироби. Схема класифікації показників якості зображена на рис.3.1.3.

Рівень якості виробів визначають, порівнюючи задану групу показників якості з базовими значеннями, прийнятими для заданих виробів при виконанні науково-дослідних та експериментально-конструкторських робіт.

Добір показників якості для визначення їх рівня має велике значення. Для цього асортимент показників якості виробів має бути достатнім для різних типів виробів і містити тільки такі показники, які дійсно визначають якість виробів.

За вимогами чинних стандартів і методикою добору показників для визначення якості виробів прийняті групи показників призначення, надійності, довговічності, ремонтоспроможності, схоронності, ергономічності, технологічності, економічності, однорідності, транспортабельності, стандартизації, уніфікації, стійкості до зовнішніх впливів, безпеки праці, патентно-правові, впливу на довкілля, естетичні тощо.

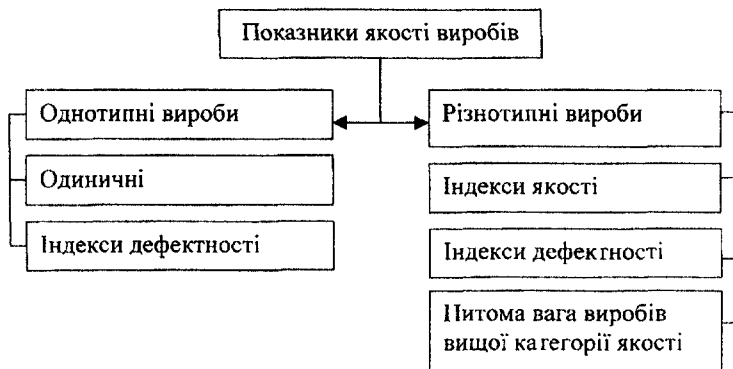


Рис. 3.1.3.

Кожна із перелічених груп показників може бути представлена одним чи групою показників якості виробів. Наприклад, група показників призначення параметрів характеризує придатність виробів до виконання ними функцій, показники надійності та довговічності характеризують спроможність їх виконувати ці функції протягом заданого часу; показники технологічності свідчать про ефективність прийнятих конструктивно-технологічних рішень на стадіях їх розроблення, виготовлення, використання; ергономічні показники — це допустимі навантаження на людину під час використання виробів; показники стандартизації — ступінь використання у них стандартних складових частин (вузлів, деталей, заготовок тощо); патентно-правові показники — гарантії патентного захисту та чистоти виробів; економічні показники — витрати для їх розроблення, виготовлення, використання та зберігання. Показники безпеки характеризують безпеку людини на всіх стадіях існування виробів.

Іноді показники якості виробів поділяють ще на технічні, конструкторські, технологічні, експлуатаційні тощо. Цей поділ є умовним, оскільки якість будь-якого виробу машинобудування забезпечується не лише на деяких стадіях його створення та використання, а на всіх стадіях.

Контрольні запитання

- 1. Дайте визначення якості продукції машинобудування.*
- 2. Чим відрізняються поняття ФВ, властивість, параметр та показник якості продукції?*
- 3. Що спільного між ФВ та показниками якості продукції?*
- 4. Наведіть приклади комплексних показників якості продукції.*
- 5. Яку властивість продукції називають мірою?*
- 6. Як визначають показники якості продукції?*
- 7. Інтегральні показники якості продукції.*
- 8. Поясніть відношення одиничних і комплексних показників якості продукції.*
- 9. Наведіть приклади комплексних показників якості продукції.*
- 10. Які знаєте середні опосередковані показники якості ?*
- 11. Де використовують арифметичні, квадратичні та геометричні середні опосередковані показники якості продукції ?*

*Добір і визначення показників якості
виробів машинобудування*

3.2.1. Показники призначення виробів

Показники призначення характеризують властивості виробів, що забезпечують виконання основних функцій. До них відносять основні параметри виробів, що відображають рівень їх якості за призначенням (продуктивність, вантажопідіймальність, швидкість тощо), а також корисний ефект від їх експлуатації у заданих умовах.

Добирають показники призначення виробів з урахуванням мети їх використання (експлуатації), параметрів для порівняльної оцінки, умов використання, транспортування, збереження тощо. Наприклад, добираючи показники виробів, призначених для роботи в умовах тропічного теплого клімату, ставлять до них вимоги, властиві заданим умовам, — працездатність при високій температурі, наявності мікроорганізмів, бактерій, гризунів, а добираючи показники призначення виробів, що будуть працювати в умовах вічної мерзлоти, на північному чи південному полюсах Землі, дбають про стійкість і працездатність при низьких температурах, високій вологості, про живлення від автономних електромереж тощо.

Чимало показників призначення, що є обов'язковими для одних виробів, можуть бути непотрібними для інших. Для деяких виробів машинобудування основними показниками їх якості є корисна робота, що характеризується такими параметрами, як продуктивність, потужність, швидкість, а для інших — параметри точності, діапазони вимірювання, стійкість до зміни зовнішніх факторів.

За призначенням виробів їх показники якості також поділяють на класифікаційні, структурні та показники технічної досконалості. *Класифікаційні показники* характеризують відношення виробів до заданої класифікаційної групи відповідно до прийнятої схеми їх класифікації. Наприклад, для легкових автомобілів та автобусів класифікаційними показниками можуть бути кількість місць у салоні, потужність двигуна, рівень шуму у салоні, місткість багажника тощо; для вантажних автомобілів — маса вантажу, найбільші габарити, швидкість руху, прохідність по заданих дорогах тощо; для електромоторів — потужність, швидкість обертання, крутильний момент, коефіцієнт корисної дії; для металорізальних верстатів — точність оброблення, швидкість обертання

шпинделя, висота його центрів, відстань між ними, потужність двигуна; для транспортерів і конвеєрів — вантажопідіймальна сила, швидкість руху, допускні габарити та маса вантажу; для засобів вимірювання та контролю — точність, діапазони вимірювання тощо.

Структурні показники якості характеризують конструкцію виробу, склад комплектувальних частин, характер і способи з'єднання між окремими частинами.

Показники технічної досконалості характеризують рівень використання для побудови виробів сучасних досягнень науки та техніки, технічну та економічну ефективність прийнятих конструкторських і технологічних рішень. Наприклад, для багатьох виробів машинобудування такими показниками можуть бути рівень використання засобів механізації та автоматизації праці, засобів обчислювальної, електронної, сенсорної техніки. Порівняння якості виробів за показниками призначення роблять тільки для однотипних виробів і за однаковими показниками їх якості.

3.2.2. Показники надійності та довговічності виробів

Надійністю називають властивість виробів зберігати у часі та заданих допускних межах всіх параметрів їх якості відповідно до заданих умов їх використання, ремонту, зберігання та транспортування. Іншими словами, надійність — це такі показники якості виробів, як безвідмовність у виконанні функцій, ремонтпридатність, у разі необхідності усунення причин тимчасової втрати заданої якості виробів, і схоронність протягом заданого часу.

Найчастіше за показники надійності (ГОСТ 27.001–95; ГОСТ 27.301–95) приймають ймовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання на відмову та інтенсивність відмов у роботі.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу визначають як

$$P(t) \approx N(t)/N_0, \quad (3.2.1)$$

де $P(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи; $N(t)$ — кількість виробів, що виконують задані функції протягом часу t , шт.; N_0 — кількість виробів на початку випробувань, шт.

Приклад: для $N_0 = 10$; $N(t) = 9$ і $t = 1000$ год, $P(t) = 9/10 = 0,9$.

Інтенсивність відмов у роботі є функцією часу. Характерна залежність її у часі від початку використання до моменту непридатності виробів для виконання їх функцій зображена на рис. 3.2.1. У перший період часу (I) виявляються дефекти конструкції та виготовлення як цілого виробу, так і його складових частин. При цьому інтенсивність відмов переважно має тенденцію

до зниження, оскільки йде при-тирання рухомих деталей та ви-явлення слабких конструктивних місць і недоліків процесу вигото-влення виробів.

Другий період часу (II) харак-теризується сталою інтенсивністю незначних відмов виробів у робо-ті. У цей найтриваліший період вироби продовжують виконувати свої функції.

У третьому періоді (III) значно зростає інтенсивність відмов виробів, оскільки через спрацювання верхніх шарів робо-чих поверхонь пришвидшуються процеси їх стирання, а через за-кінчення ресурсів служби — процеси їх старіння.

З метою поліпшення показників надійності на заводах-вироб-никах відповідальні за призначенням вироби випробовують у робочих чи близьких до них умовах експлуатації, виявляючи їх слабкі місця з метою їх конструктивного чи технологічного вдос-коналення. Це дає змогу значно скоротити перший період часу (I) роботи виробів.

За додатковий показник надійності виробів приймають показ-ник відновлюваності, що характеризує їх властивість відновлюва-ти свій початковий стан. Відповідно до цього вироби поділяють на відновлювані та невідновлювані. У разі тимчасової відмови у ро-боті відновлювані вироби після їх ремонту здатні набувати почат-кового стану, невідновлювані не підлягають ремонту. Такі вироби списують і замінюють новими.

Показниками відновлюваності виробів переважно є швидкість відновлення їх початкової якості; час, потрібний для їх ремонту; трудомісткість технологічного процесу ремонту або (за винятко-вих умов) відсоток відновлених властивостей виробів.

Довговічність називають проміжок часу, у якому вироби спро-можні виконувати задані функції у межах допускних відхилень в умовах належного їх технічного обслуговування та ремонту. Піс-ля цього подальше використання їх неможливе через зниження якості, безпеки праці, технічну чи економічну недоцільність. Та-кий стан виробів називають *граничним*.

Показниками довговічності за стандартами вважають заданий ресурс часу роботи виробу, який визначають напрацюванням його до граничного стану та термін служби, яким називають календар-ний термін роботи виробу за призначенням. За напрацювання за-лежно від типу виробу приймають час виконання роботи або її обсяг. Показники довговічності виробів характеризують не тільки періоди роботи, а й періоди їх транспортування та зберігання.

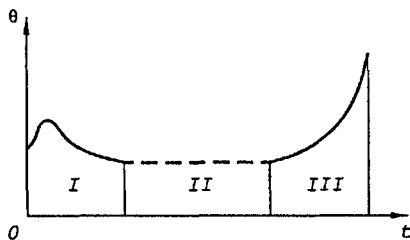


Рис. 3.2.1.

3.2.3. Показники ремонтної спроможності та схоронності виробів

Показники ремонтної спроможності характеризують властивості виробів, які полягають у придатності до знаходження та уникнення причин відмов у роботі, а також — в усуванні їх наслідків шляхом належного технічного обслуговування та ремонту (заміни чи відновлення спрацьованих частин, додаткового регулювання та налагодження).

За показники ремонтної спроможності переважно приймають ймовірність відновлення виробу у заданий термін часу або середній час відновлення працездатності. На ремонтпридатність впливають конструктивні особливості виробів та їх складових частин; доступність до місць обслуговування, налагодження, регулювання; наявність і повнота виконання вимог інструкцій з використання та ремонту виробів, графіків технічного обслуговування; кваліфікація та дисциплінованість кадрів тощо. Ремонтна спроможність виробів залежить від технологічності їх конструкцій, кількості та якості складових частин, використаних для їх побудови.

Показники схоронності виробів характеризують їх властивості безперервно до моменту використання зберігати задані показники якості у заданих умовах використання протягом заданого періоду часу. Основним показником схоронності виробів є середній термін їх зберігання, за який приймають календарний термін зберігання та транспортування виробів у заданих умовах, протягом і після якого якість виробів залишається у заданих межах. Вироби протягом часу схоронення перебувають у робочому стані, а середній термін їх схоронності — це математичне його сподівання.

3.2.4. Ергономічні та естетичні показники якості виробів

Ергономічні показники якості виробів характеризують взаємозв'язок людини, виробу та навколишнього середовища з урахуванням вимог людини до виробів і навколишнього середовища. Вимоги людини до виробів визначаються її фізичним станом і фізіологічними потребами, серед яких антропометричні характеристики людини (форма та розміри тіла у різних робочих позах, динаміка їх зміни); характеристики активності людини (сила, швидкість, економічність її рухів тощо); можливості та особливості функціонування органів сприймання, пам'яті та мислення людини; вплив середовища на ефективність діяльності людини; рівень її кваліфікації тощо.

Прикладами зовнішнього середовища для людини можуть бути кабіни автомобіля, трактора, ракети, екскаватора, салон автобуса, корабля чи літака, приміщення цеху чи офісу.

Ефективність взаємодії людини з виробами може характеризуватися продуктивністю виробів, їх точністю, безпомилковістю у роботі, рівнем втомлюваності, комфортності робочого місця.

Ергономічні показники виробів (ГОСТ 30.001-83) переважно поділяють на групи, що характеризують: ступінь відповідності виробів ергономічним вимогам до робочої пози, зони досяжності, розмірів рук і ніг, маси тіла тощо; ступінь відповідності виробів ергономічним вимогам до обсягів і швидкості робочих рухів, потрібних зусиль, форми, яскравості, кольору та контрастності об'єктів спостереження, джерел звукової, смакової, чуттєвої інформації можливостям відповідних органів людини; безпосередній вплив робочого середовища (температури, вологості, вібрацій, атмосферного тиску, шуму, випромінювань, хімічного складу повітря, магнітного, електричного та електромагнітного полів тощо) на ефективність діяльності людини.

Ергономічні показники якості виробів часто не співпадають з ергономічними їх параметрами. Наприклад, ергономічним показником якості будь-якої машини є сила, яку потрібно прикладати до ручки чи важеля, а ергономічними параметрами цієї ж машини можуть бути розміри ручки чи важеля, висота підлокітника, кут нахилу сидіння тощо.

Естетичні показники якості виробів характеризують інформаційну виразність, раціональність розмірів, кольорів, якість поверхонь, цілісність композиції, досконалість форми виробів тощо.

За критерії естетичної оцінки приймають ряд зразкових виробів аналогічного призначення та типу, розроблених експертами на основі зразків, затверджених як базові. Естетичні показники якості виробів визначають спеціальні експертні комісії. Для визначення естетичних показників виробів розробляють спеціальні методики, у яких переважно використовують бальну систему зі заданою найбільшою кількістю балів (5, 10, 100 тощо).

Ергономічним та естетичним показникам якості виробів особливу увагу приділяють в умовах ринкової економіки. Для забезпечення високих ергономічних та естетичних показників якості виробів до спеціалізованих комісій часто залучають висококваліфіковані кадри (лікарів, екологів, дизайнерів, маркетологів, конструкторів, технологів тощо).

3.2.5. Показники технологічності конструкцій виробів

Показники технологічності конструкцій виробів машинобудування характеризують ефективність конструкторських і технологічних рішень, прийнятих і реалізованих під час проектування, виготовлення та використання виробів. До показників технологічності конструкцій виробів належать трудомісткість виготовлення, технологічна вартість, питома трудомісткість виготовлення та використання, питома технологічна вартість, питома матеріаломісткість, питома енергоємність, коефіцієнт використання матеріалу, коефіцієнти уніфікації, стандартизації тощо.

Для порівняння показників технологічності конструкцій виробів залежно від виду та їх складності використовують один чи кілька з перелічених показників. Наприклад, для добору показників технологічності конструкцій виробів металургійної промисловості перевагу віддають показникам матеріаломісткості, енергоємності та коефіцієнта використання матеріалу; для виробів машинобудування — показникам трудомісткості виготовлення, питомій матеріаломісткості та енергоємності; для виробів радіоелектронної промисловості — показникам питомої матеріаломісткості, уніфікації, стандартизації тощо.

Питому трудомісткість виготовлення виробу визначають як

$$q_T = \frac{T_T}{A}, \quad (3.2.2)$$

де q_T — питома трудомісткість виготовлення виробу, год/у.о; T_T — трудомісткість виготовлення виробу, год; A — основний параметр виробу, у.о.

Питому технологічну вартість виробу записують у вигляді

$$q_v = \frac{V_s}{A}, \quad (3.2.3)$$

де q_v — питома технологічна вартість, грн/у.о; V_s — технологічна вартість виготовлення та експлуатації виробу, грн.

Питому матеріаломісткість виробів визначають як

$$q_m = \frac{G_v}{A}, \quad (3.2.4)$$

де q_m — питома матеріаломісткість виробу, кг/у.о; G_v — маса готового виробу, кг.

Питома енергоємність виробу

$$q_e = \frac{W_e}{A}, \quad (3.2.5)$$

де q_e — питома енергоємність, кВт год/у.о; W_e — кількість витраченої електричної енергії на виготовлення виробу, кВт · год.

Коефіцієнт використання матеріалів [4] визначають як

$$k_m = \frac{G_1}{G_m}, \quad (3.2.6)$$

де k_m — коефіцієнт використання матеріалів; G_m — маса матеріалів, витрачених для виготовлення виробу, кг;

$$G_m = G_z + G_{vx};$$

G_z — маса заготованок, з яких виготовляють деталі виробів, кг; G_{vx} — маса відходів матеріалів, кг.

Коефіцієнт уніфікації чи стандартизації записують у вигляді

$$k_1 = \frac{n_1}{n_o}, \quad (3.2.7)$$

де k_1 — коефіцієнт уніфікації чи стандартизації, n_1 — кількість уніфікованих чи стандартних складових частин у виробі, шт; n_o — кількість складових частин виробу, шт.

3.2.6. Показники транспортабельності, стійкості до середовища, впливу на нього та безпеки виробів

Показники транспортабельності характеризують властивості виробів, які сприяють їх транспортуванню. Показниками транспортабельності можуть бути витрати праці та матеріалів для підготовки виробів до транспортування, самого процесу транспортування та підготовки виробів після нього. Всі витрати беруть відносно одиниці маси виробу чи одиниці шляху транспортування. Що менші ці показники, то вища транспортабельність виробу. Оскільки перелічені вище витрати праці та матеріалів можуть бути як прямими, так і посередніми, то й показники транспортабельності відповідно називають прямими чи посередніми.

Показники стійкості виробів до впливу на них зовнішнього середовища характеризують їх здатність зберігати задані властивості під час дії на них зовнішніх факторів (температури, атмосферного тиску, вологи, вібрацій, ударів, шумів, електричних і магнітних полів тощо).

Показники впливу виробів на довкілля характеризують рівень шкідливих викидів, що виникають під час їх використання, зберігання чи транспортування. Наприклад, для автомобілів показником впливу є вміст оксиду вуглецю у викидних газах їхніх двигунів.

Показники безпеки виробів характеризують рівень їх безпеки для людей та близьких до них об'єктів під час використання, транс-

портування та зберігання. Наприклад, електроустаткування має мати низький опір заземлення, малий час спрацювання захисту від короткого замикання в електричних ланцюгах.

3.2.7. Економічні показники якості виробів

Економічні показники якості виробів характеризують властивості продукції, що відображають її досконалість за рівнем використання окремих витрат відносно основних параметрів виробів. До них належать показники економного використання сировини, матеріалів, енергії, палива, трудових ресурсів. Їх переважно виражають за допомогою коефіцієнтів використання матеріально-трудових ресурсів на одиницю продукції. В них враховують не тільки кількість основних ресурсів, витрачених для виготовлення продукції, а й витрати для використання, ремонту, транспортування, зберігання продукції тощо. До уваги беруть не тільки вартість чи ціну матеріально-трудових ресурсів, а й їх дефіцитність в Україні та відношення до обороноздатності держави.

Оскільки витрати на проектування, виготовлення, використання та зберігання прямо не можуть характеризувати якість виробів, а впливають на величину витрат під час їх використання, то за економічні показники якості виробів приймають вартість одного виробу або зведені витрати на один виріб, які можна записати у вигляді

$$V_3 = V_1 + E_n K_1, \quad (3.2.8)$$

де V_3 — зведені витрати на один виріб, грн; E_n — нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних витрат, для машинобудування приймають $E_n = 0,15$; K_1 — питомі виробничі фонди (середньорічна сума основних і оборотних коштів), що стосуються річного обсягу випуску продукції.

Відносний економічний показник виробів визначають, порівнюючи витрати на використання базового зразка та досліджуваного виробу.

3.2.8. Показники стандартизації та уніфікації виробів

Показники стандартизації та уніфікації виробів характеризують ступінь використання у виробах відповідно стандартних чи уніфікованих складових частин, якими можуть бути деталі, вузли, агрегати тощо. Для однозначності розрахунків показників стандартизації та уніфікації до стандартних відносять вироби, виго-

товлені за державними стандартами, до уніфікованих — вироби, які використовують не тільки у заданому складнішому виробі, але й у інших виробках, що виготовляються промисловістю, а до оригінальних — вироби, які розроблені та використовуються тільки для заданих виробів.

За показники стандартизації та уніфікації приймають коефіцієнти використання, повторення, взаємної уніфікації та уніфікації групи виробів.

Коефіцієнт використання визначають як

$$k_v = \frac{n - n_o}{n}, \quad (3.2.9)$$

де k_v — коефіцієнт використання; n — загальна кількість складових частин, шт; n_o — кількість оригінальних складових частин, шт.

Коефіцієнт повторення складових частин виробів визначають як

$$k_n = \frac{n_i}{n}, \quad (3.2.10)$$

де k_n — коефіцієнт повторення; n_i — кількість складових частин виробу (шт), яка більша від одиниці.

Коефіцієнт взаємної уніфікації для групи виробів записують у вигляді

$$k_{yip} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i - n_{01}}{\sum_{i=1}^m n_i - n_{max}}, \quad (3.2.11)$$

де k_{yip} — коефіцієнт взаємної уніфікації для групи виробів; n_i — кількість типорозмірів складових частин в i -му виробі, шт; n_{01} — загальна кількість типорозмірів складових частин, із яких складається група виробів, шт; n_{max} — найбільша кількість типорозмірів складових частин одного із виробів групи, шт; m — загальна кількість виробів у групі, шт.

Коефіцієнт уніфікації для групи виробів визначають як

$$k_u = \frac{\sum_{i=1}^m k_{up, П, Ц,}}{\sum_{i=1}^m П, Ц,}, \quad (3.2.12)$$

де $k_{i,}$ — коефіцієнт уніфікації для групи виробів; $k_{пр,}$ — коефіцієнт використання i -го виробу; Π_i — річна програма виготовлення i -го виробу, шт; Π_i — ціна i -го виробу, грн.

3.2.9. Показники патентоспроможності

Показники патентоспроможності характеризують ступінь оновлення технічних рішень у виробі, їх патентний захист і змогу реалізації виробів на ринках світу. До факторів, які визначають патентоспроможність виробів, належать: технічне рішення, не визнане винаходом, на яке не подана заява на захист у жодній з країн світу; технічне рішення, на яке подана заява на захист хоча б у одній з країн світу; технічне рішення, яке визнане винаходом у будь-якій країні світу; технічне рішення, на яке подана ліцензія у будь-які країни світу, включно з «ноу-хау»; кількість країн, у які подані заяви, отримані патенти або продані ліцензії; значущість країн, де подані заяви, отримані патенти, продані ліцензії, у світовому рейтингу; використання або час чинності винаходу (час від початку чинності патенту чи авторського свідоцтва на винахід до моменту оцінювання).

Під час визначення патентоспроможності враховують наявність у виробі вітчизняних і зарубіжних технічних рішень, визнаних винаходами залежно від їх використання та ступеня значущості для заданого виробу (показник рівня використання); використання у виробі вітчизняних винаходів, захищених авторськими свідоцтвами чи патентами (показник патентного захисту); патентну чистоту відносно України та інших країн потенційного товарообороту з урахуванням значущості порушених патентів для виробу (показник патентної чистоти).

Значущість кожного окремого технічного рішення з точки зору виконання виробом своїх основних функцій визначають за допомогою коефіцієнта вагомості [1]

$$\delta_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i}, \text{ для } i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (3.2.13)$$

де δ_i — коефіцієнт вагомості виробу; k_i — коефіцієнт вагомості i -го рішення, використаного у виробі; n — загальна кількість технічних рішень, використаних у виробі, шт.

Показник рівня використання винаходу залежить від того, чи технічні рішення, покладені в основу виробу, є винаходами та як від цього змінюється їх значущість. Враховують також термін їх реєстрування. Цей показник визначають як середнє за вагомістю значення

$$Q_{p,v} = \sum_{i=1}^n \delta_i Q_{p,v,i}, \quad (3.2.14)$$

де $Q_{p,v}$ — показник рівня використання винаходу; $Q_{p,v,i}$ — показник рівня використання окремого i -го технічного рішення, який визначають залежно від того, чи задане рішення не визнане винаходом у жодній країні світу ($Q_{p,v,i} = 0$), чи воно визнане тільки в одній країні ($0 \leq Q_{p,v,i} \leq 1$), чи на нього заявлений захист хоча б в одній країні світу (тоді коефіцієнт значущості знаходять, порівнюючи його з визнаним винаходом).

Показник патентного захисту виробу залежить від кількості країн, у яких запатентовано прийнятий для виробу винахід, з урахуванням значущості для кожної з країн патентування, його визначають як

$$Q_{п,z} = \sum_{i=1}^n \delta_i Q_{п,z,i}, \quad (3.2.15)$$

де $Q_{п,z}$ — сумарний показник патентного захисту виробу; $Q_{п,z,i}$ — окремий показник патентного захисту i -го вітчизняного рішення, значення якого визначають за чинною інструкцією залежно від того, чи захищене задане рішення авторським свідоцтвом України та патентом, чи воно не захищене авторським свідоцтвом (патентом) у жодній країні. Часто такі рекомендації видаються експертними комісіями і додаються до відповідних чинних інструкцій.

Показник патентної чистоти виробу характеризує можливість його реалізації без порушення патентних прав третіх осіб на території країн можливої реалізації. Цей показник записують у вигляді

$$Q_{п,ч} = \sum_{i=1}^n \delta_i Q_{п,ч,i}, \quad (3.2.16)$$

де $Q_{п,ч}$ — показник патентної чистоти виробу; $Q_{п,ч,i}$ — показник патентної чистоти i -го технічного рішення в j -й країні, який приймають за одиницю для патентно чистого технічного рішення у j -й країні та за нуль для i -го технічного рішення, яке не має патентної чистоти у j -й країні.

Якщо технічні рішення, прийняті для виробу, патентно чисті, але у виробі є деякі другорядні технічні рішення (комплектувальні вироби, матеріали тощо), які не мають патентної чистоти, то загальний показник патентної чистоти виробу визначають за ціною його частин, які мають (не мають) патентну чистоту.

Наявність патентів-аналогів третьої особи для заданого винаходу у декількох країнах реалізації виробів відповідно звужує можливий ринок збуту та збільшує витрати на їх реалізацію. Основні положення з патентних досліджень викладені в ДСТУ 3575–97.

3.2.10. Показники однорідності виробів

Показники однорідності виробів характеризують стабільність їх основних параметрів у серійному виробництві. Більшість параметрів виробів є функціями випадкових факторів, що впливають на них. Добре налагоджене виробниче устаткування, однорідна сировина, якісні матеріали, комплектувальні вироби за умов стабільних величин впливових факторів забезпечують отримання якісних та однорідних виробів. Розсіяння показників якості виробів, яке визначає їх однорідність, характеризують дисперсія, середнє квадратне відхилення і коефіцієнт варіації.

Усі показники однорідності отримують за формулами математичної статистики, відповідно для середнього квадратичного відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (3.2.17)$$

середнього арифметичного значення випадкової величини

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.2.18)$$

дисперсії випадкової величини

$$D = \sigma^2, \quad (3.2.19)$$

коефіцієнта варіації випадкової величини

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}}, \quad (3.2.20)$$

де σ — середньоквадратичне відхилення випадкової величини; \bar{X} і X_i — відповідно середньоарифметичне та змінне значення випадкової величини; n — кількість вимірювань випадкової величини; D — дисперсія випадкової величини; V — коефіцієнт варіації.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення показників призначення виробів.
2. Як добирають асортимент показників призначення виробів?
3. Класифікація показників призначення виробів.
4. Що таке структурні показники та показники технічної досконалості?

5. Дайте визначення надійності та довговічності виробів.
6. Який стан виробу називають граничним?
7. Охарактеризуйте показник відновлюваності виробу.
8. Якими показниками визначають ремонтну спроможність та схоронність виробів?
9. Перелічіть вимоги до виробів, за якими визначають ергономічні показники їх якості.
10. Як класифікують ергономічні показники виробів?
11. Які є критерії, хто визначає естетичні показники якості виробів?
12. Якими показниками визначають технологічність конструкції виробів?
13. Охарактеризуйте показники транспортабельності та безпеки продукції.
14. Які ви знаєте економічні показники якості виробів?
15. За допомогою яких показників якості виробів визначають рівень стандартизації чи уніфікації?
16. Якими показниками якості виробів визначають їх патентоспроможність?
17. Що таке патентна чистота виробів?

Глава 3.3

Визначення рівня якості продукції

3.3.1. Загальні положення

Показники якості продукції відіграють таку ж роль, як і ФВ у вимірюваннях. Але знаючи ці показники, не можемо зробити висновку про якість самої продукції. Лише порівнюючи показники якості з аналогічними показниками якості інших різновидів виробів, можемо дати відповідь на питання щодо якості продукції.

Розрізняють два способи визначення якості продукції: *за шкалою інтервалів* з'ясовують, якість якої продукції вища чи нижча, а *за шкалою відношень* вимірюють, у скільки разів. В обох способах спочатку знаходять значення показників якості продукції, а потім їх порівнюють.

Розроблено також чимало методів визначення якості продукції та її рівня. За ДСТУ2925 — 94 передбачені такі методи оцінки рівня якості продукції: диференційний, вимірювальний, комплексний, органолептичний, розрахунковий, реєстраційний, змішаний, соціологічний, статистичний та експертний.

Диференційний метод визначення рівня якості продукції полягає у знаходженні окремих одиничних показників її якості, *розрахунковий* — у визначенні їх за допомогою аналітичних і теоретичних розрахунків. Якщо показники якості продукції знахо-

дять не шляхом аналітичного розрахунку, а експериментальним вимірюванням, то такий метод називають *вимірювальним, чи інструментальним*. За цим методом визначають геометричні розміри виробів, їх масу, час напрацювання на відмову в роботі тощо. Вимірювання здійснюють за допомогою обох зазначених вище шкал, але частіше користуються шкалою відношень. Інструментальний метод дуже поширений в машинобудуванні через його об'єктивність, високу точність і можливість автоматизації.

Експертний метод вимірювання показників якості, що полягає у вимірюванні показників якості продукції експертами, використовують тільки тоді, коли неможливо, складно чи економічно недоцільно застосовувати інструментальний метод. Його використовують, наприклад, для вимірювання ергономічних та естетичних показників якості продукції. Експерти застосовують всі вимірювальні шкали, але частіше — так звані шкали порядків чи інтервалів (особливо реперні шкали з бальною системою градації).

Користуючись органолептичним методом вимірювання показників якості, замість ЗВТ використовують органи чуттів експертів. Цей метод особливо поширений в харчовій, парфумерній промисловості та медицині.

Комплексний метод полягає у визначенні рівня якості продукції за допомогою кількох показників якості продукції водночас, а *змішаний метод* може поєднувати в собі декілька методів водночас (вимірювальний, органолептичний тощо).

Соціологічний метод вимірювання показників якості продукції — це масові опитування споживачів чи користувачів продукції та оброблення цих результатів експертами. Опитування проводять за допомогою анкетування, голосування тощо. Використовують цей метод переважно для визначення показників якості товарів широкого вжитку, а також попиту на окремі види товарів, з'ясування громадської думки щодо певних виробів.

Вимірюють звичайно окремі одиничні показники якості. Показники стандартизації, уніфікації, патентоспроможності, безпеки, економічності, однорідності продукції визначають шляхом розрахунків. Аналогічно знаходять значення комплексних показників якості продукції, але інструментальним чи експертним методом визначають для цього коефіцієнти вагомості.

Оскільки результати всіх вимірювань є випадковими величинами, то математичні дії над ними виконують за правилами оброблення випадкової інформації. Але яким би шляхом не отримували значення показників якості продукції, їх порівняння здійснюють завжди за шкалою інтервалів чи за шкалою відношень.

Якість як об'єкт вимірювання є багатовимірною і тому не може характеризуватися тільки одною ФВ чи показником якості. Оскільки

ки показники якості — величини змінні в часі, то порівнюють їх з урахуванням цієї динаміки. Якщо якість змінюється у бік її підвищення, то порівнювану за шкалою інтервалів різницю між вихідним і порівнюваним з ним значенням показника якості беруть з додатним знаком, а в протилежному випадку — з від'ємним.

Розглянемо результати порівняння показників якості для випадків, коли додатним результатам (рис. 3.3.1, а) відповідає підвищення якості продукції порівняно зі зразком, та результати порівняння показників якості для випадків, коли від'ємним результатам порівняння відповідає зниження її якості (рис. 3.3.1, б). Вісь абсцис відповідає сталій якості продукції. Найскладніше, коли деякі результати порівняння є додатними, а інші — від'ємними (рис. 3.3.1, в). Тоді висновки роблять, порівнюючи не одиничні показники якості, а комплексні чи інтегральні.

Порівняння показників якості продукції за шкалою відношень має певні особливості врахування їх динаміки: відношення числових значень одиничних показників якості складають так, щоб підвищення показників якості продукції порівняно з вихідною було більше одиниці, а зниження показників якості продук-

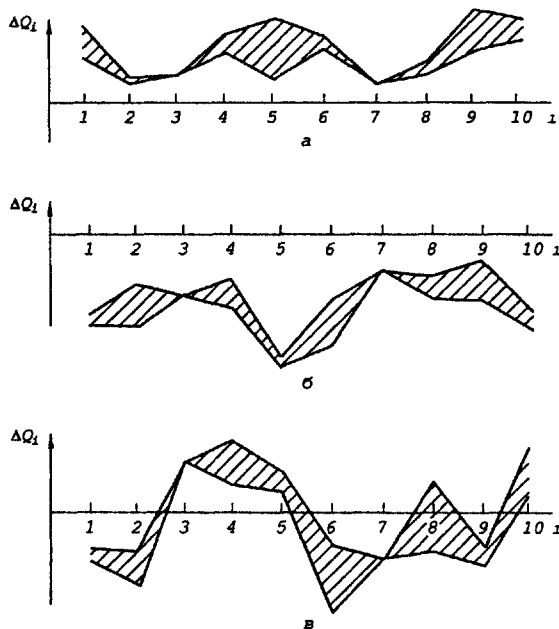


Рис. 3.3.1.

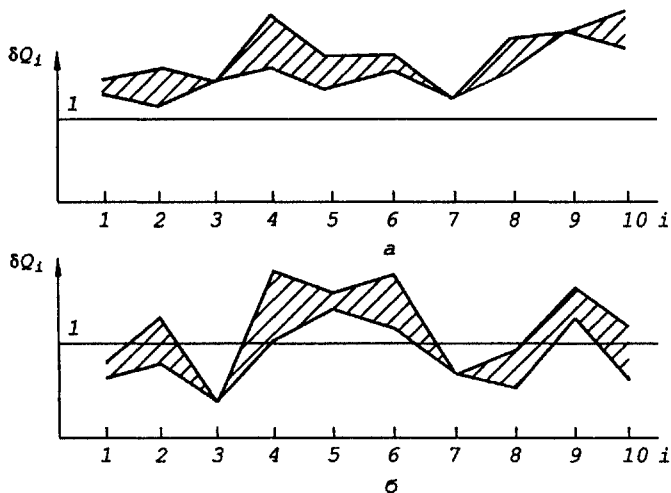


Рис. 3.3.2.

ції — менше одиниці. Тоді, якщо результати порівняння більші від одиниці (рис. 3.3.2, а), можна зробити висновок, що якість продукції порівняно з вихідною підвищилась; для результатів порівняння менших від одиниці — зменшилась. Одиничний рівень відповідає сталій якості. Якщо деякі результати порівняння більші від одиниці, а інші — менші (рис. 3.3.2, б), то порівнюють комплексні показники якості продукції.

Приклад 1. Визначити відповідність однієї з марок вуглецевої сталі вимогам стандарту за даними, наведеними в табл. 3.3.1.

Розв'язання. Результати порівняння значень одиничних показників якості за шкалою відношень (табл. 3.3.1) свідчать про те, що якість вуглецевої сталі вища від вимог стандарту.

Приклад 2. Порівняти за якістю вітчизняний кокс, показники якого наведені в прикладі розділу 3.1.3, з імпортним коксом, який має такі значення цих же показників якості: $S_{c(A)} = 1,2 \%$; $A_{c(A)} = 9,8 \%$; $M_{10(A)} = 9,8 \%$; $M_{40(A)} = 70 \%$.

Розв'язання. Порівняння одиничних показників якості за шкалою відношень дає такі результати:

$$\frac{Sc(A)}{Sc} = 1,7; \quad \frac{Ac(A)}{Ac} = 0,9; \quad \frac{M_{10(A)}}{M_{10}} = 1,2; \quad \frac{M_{40(A)}}{M_{40}} = 1,1.$$

Отже, можна зробити висновок, що показники вітчизняного коксу вищі, але цього недостатньо. Тому порівняємо якість обох коксів за допомогою комплексних показників.

Дані та результати розв'язання прикладу

Показники якості	Значення показників якості		Результат порівняння за шкалою відношень
	фактичні	за стандартом	
Границя текучості, Н/мм ²	352,8	323,4	1,1
Тимчасовий опір, Н/мм ²	597,8	548,8	1,1
Відносне видовження, %	16	16	1,0
Ударна в'язкість, Дж/м ²	6	5	1,2
Вміст сірки, %	0,040	0,040	1,0
Вміст фосфору, %	0,036	0,040	1,1
Допуск вмісту вуглецю, %	±0,01	±0,01	1,0
Допуск вмісту кремнію, %	±0,02	±0,03	1,5
Допуск вмісту марганцю, %	±0,03	±0,03	1,0

Для імпортного коксу показник якості наведено у прикладі розділу 3.1.3. $Q_A = -0,2 \cdot 0,012 - 0,02 \cdot 0,098 - 0,030 \cdot 0,098 + 0,013 \cdot 0,07 = 1,8 \cdot 10^3$. Тепер можна зробити висновок, що вітчизняний кокс має якість вищу від імпортного майже удвічі, бо забезпечує в два рази більшу продуктивність доменної печі.

Приклад 3. Визначити якість нової тканини, порівнявши її з тканиною, показники якості якої наведені в табл. 3.3.2.

У першому й третьому прикладах якість вимірювали за принципом "нижче — вище", тобто за шкалою порядку. Схема такого вимірювання якості може бути й простішою та складатися не з двох, а тільки одного/другого етапу, оскільки визначення числових значень одиничних показників якості необов'язкове. Достатньо знати, що вони більші чи менші за відповідні значення зразка. Однакові значення показників якості у цьому випадку можна взагалі не брати до уваги. Тому для вимірювання якості за шкалою порядку достатньо порівняти значення тільки тих одиничних показників, які відмінні між собою. Це дає змогу значно зменшувати трудомісткість вимірювання якості порівняно з витратами праці, яких вимагає використання інших шкал.

Вимірювання якості за шкалою інтервалів чи за шкалою відношень інформативніше й дає змогу отримувати відповіді на питання, у скільки разів якість однієї продукції вища чи нижча від якості іншої. Для цього достатньо порівняти значення комплексних показників якості. Таке порівняння, окрім цього, дає змогу отримувати сигнали для систем керування якістю, які пропор-

Показники якості тканини

Показники якості	Значення показників якості		Результат порівняння за шкалою відношень
	нової	старої	
Розривне навантаження:			
основа, <i>H</i>	401	470,4	0,9
канва, <i>H</i>	215,6	264,6	0,8
Усідання після прання:			
основа, %	5	4,7	0,9
канва, %	2	1,5	0,8
Міцність до дії:			
піни, балів	4	5	0,8
мила, балів	4	5	8
води, балів	4	5	0,8
сухого тертя, балів	4	5	0,8
мокрого тертя, балів	4	5	0,8
Стійкість проти стирання, циклів	400	600	0,7
Естетичні показники:			
колеристичне оформлення, балів	18	20	0,9
фарбування, балів	10	12	0,9
структура, балів	7	8	0,9

цінні до різниці чи відношень значень комплексних показників якості.

Очевидно, що результати таких вимірювань якості продукції залежать від вдалого добору зразків для порівняння. Інакше абсолютне значення показників якості може бути невисоким. Стандартні зразки для порівняння, які ще називають *еталонами якості*, поділяють на три групи: еталони, що відображають досягнутий рівень якості продукції (в галузі, в Україні, в світі), основним призначенням яких є сертифікація серійної продукції; еталони, що відображають перспективний рівень якості, які сприяють стимулюванню конкурентоспроможності продукції; спеціальні еталони, що сприяють вирішенню певних задач.

Показники якості зразка (одичні й комплексні) називають *базовими*. Оскільки виготовити такий базовий зразок, в якому всі показники були б найвищими, практично неможливо, то за зразки беруть тільки реальні для виробництва зразки продукції, а за базові показники якості — значення їх показників якості. Порівняння здійснюють тільки за відносними показниками якості зразків продукції з еталонами і лише за всіма показниками якості, не допус-

каючи порівняння окремих показників якості зразків продукції зі значеннями показників, що стосуються різних еталонів якості.

Абсолютні значення показників якості не застосовують, оскільки вони дають неоднозначні результати. З деякими з них якість продукції пов'язана прямо пропорційно, а з іншими — навпаки. Тому для абсолютного вимірювання якості продукції застосовують не абсолютні, а відносні показники якості, правило утворення яких забезпечує завжди прямо пропорційну залежність якості продукції від їх значень.

Оскільки одиничних відносних показників якості продукції завжди багато, то ламана лінія на рис. 3.3.3, що з'єднує їх значення, утворює так званий *рівень якості продукції*, який може бути вищим чи нижчим, ніж лінія якості еталона, або перетинатися з нею. Еталонний рівень якості, що відповідає значенням базових показників, є прямою лінією, яка паралельна до осі абсцис і перетинається з віссю ординат у точці $(0;1)$ на осі δQ_i . Тому еталонна якість є ніби безрозмірною одиницею, з якою порівнюють якість певної продукції.

Мета визначення рівня якості виробів — розроблення заходів з його підвищення та досягнення оптимального значення. Рівень якості виробів дає змогу оцінити перспективність виробництва виробів і приймати своєчасні рішення щодо припинення випуску виробів з недостатнім рівнем якості та замінювати їх новими. Нові вироби, які запускають у виробництво, мають бути на рівні ліпших, які виготовляють передові підприємства та фірми.

Рівнем якості виробів машинобудування називають відносну характеристику показників їх якості порівняно з аналогічними базовими показниками якості зразкових виробів. За зразкові ви-

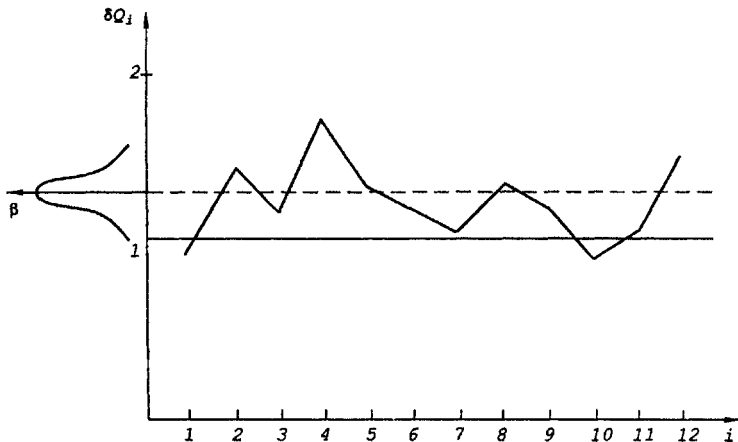


Рис. 3.3.3

роби для визначення рівня якості беруть дібрані за спеціальною методикою виробу аналогічного призначення [9, 10].

Кожний виробник розробляє заходи, щоб забезпечити світовий рівень якості виробів, які він виготовляє. Це гарантує їх конкурентоспроможність та ефективність виробництва.

Визначають рівень якості виробів за диференційним, комплексним і змішаним методами. За *оптимальний* приймають такий рівень якості виробів, при якому найближчі до базових показники якості отримують з найменшими витратами на виробництво. Такий рівень якості виробів зумовлюється рівнем технології та наявної виробничої бази, доступністю та дешевизною матеріальних ресурсів, кваліфікацією кадрів, своєчасним використанням нових досягнень науки й техніки. Строки використання та зберігання виробів встановлюють відповідно до строків їх морального старіння та рівня попиту на них.

Динамічна якість виробів — це показник, який визначає залежність показників довговічності від факторів, що зумовлюють прискорення його спрацювання (вібрацій, дисбалансів, пружних деформацій, низької точності виготовлення тощо). Такі показники отримують на підставі експериментальних досліджень або досвіду використання виробів у реальних умовах.

Виробники розробляють заходи безперервного поліпшення показників якості. У машинобудуванні вдосконалюють конструкції виробів, технологічні та виробничі процеси їх виготовлення й використання, вивчають можливості заміни використовуваних матеріалів і комплектувальних виробів новими, які мають вищі показники використання, надійності, довговічності та ліпші економічні показники якості.

Ефективність роботи з поліпшення рівня якості виробів часто зумовлюється недосконалістю методики та засобів визначення як окремих показників якості, так і загального рівня якості виробів. Розглянемо деякі з використовуваних методів визначення рівня якості виробів машинобудування.

3.3.2. Диференційний метод визначення рівня якості продукції

Диференційний метод визначення рівня якості продукції полягає у порівнянні множини одиничних показників якості з відповідною множиною значень базових показників якості. Для цього знаходять відносні показники якості

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{i6}}, \quad (3.3.1)$$

$$Q_{2i} = \frac{P_{i6}}{P_i}, \quad (3.3.2)$$

де Q_{1i} і Q_{2i} — відносні значення i -тих показників якості продукції; P_i — абсолютне значення i -го показника якості заданої продукції; P_{i6} — відповідне абсолютне значення якості базової продукції; $i = 1, 2, \dots, n$; n — кількість показників якості продукції.

Із (3.3.1) або (3.3.2) добирають такий показник якості, для якого збільшення відносного показника якості відповідає підвищенню технічного рівня якості виробів. Наприклад, відносні значення показників для продуктивності й точності визначення відносних значень показників рівня якості виконують за (3.3.1), а для показників витрат матеріалів, енергії, шкідливих викидів — за (3.3.2).

Залежно від того, отримані відносні значення показників більші чи менші за одиницю, маємо технічний рівень якості нової продукції вищим чи нижчим від базового рівня.

Якщо частина відносних значень показників вища, а частина з них нижча за одиницю, то застосовують комплексний, а не диференційний метод визначення рівня якості виробів.

Отримані значення показників рівня якості виробів мають бути у межах допускних відхилень. Нижнє відхилення переважно визначають відповідно до технічно-експлуатаційних вимог, а верхнє — за економічною доцільністю, що диктується ринком реалізації виробів.

3.3.3. Комплексний метод визначення рівня якості продукції

Комплексний метод визначення рівня якості продукції полягає у порівнянні так званих комплексних показників рівня якості замість одиничних.

Спочатку за чинною методикою [6, 12, 37] на підставі множини одиничних показників знаходять комплексні показники рівня якості заданої та базової продукції, а потім оцінюють її рівень якості.

Знаходження комплексних і відносних показників якості продукції на підставі відповідних множин одиничних показників здійснюють за одною методикою. Наприклад, якщо комплексний показник (див. рис. 3.3.3) знаходять як середнє арифметичне відносних одиничних показників якості продукції, то його абсолютне значення дорівнює 1,2. З урахуванням коефіцієнтів вагомості, що по-різному впливають на ординати відносних показників якості, абсолютне значення показника якості продукції може від-

Вихідні дані для прикладу

Показники якості	Значення показника якості		Значення відносного показника якості	Коефіцієнт вагомості за експертними оцінками
	вимірювального засобу	еталона		
Клас точності	M	M	1,00	0,25
Швидкодія, мс	20	20	1,00	0,07
Діапазон вимірювання, В	0,3...1000	0,8...2000	0,715...0,5	0,04...0,06
Чутливість, мкВ	10	10	1,00	0,15
Вхідний опір, МОм	2000	2500	0,80	0,10
Напруга живлення				
діапазон, В	220±10 %	200±6 %	1,67	0,05
частота, Гц	50±1,5	50±1,5	1,00	0,05
Стабільність в часі	0,001	0,001	1,00	0,03
Температура, °С	0...50	0...50	1,0	0,05
Безвідмовна робота, год	320	320	1,0	0,10
Габаритні розміри, мм	530×210×430	491×223×404	0,9	0,03
Маса, Н	350	230	0,66	0,02

повідно змінюватися. Але якщо абсолютні й відносні показники якості, що об'єднуються в комплексні за однаковими правилами, мають однакові ще й коефіцієнти вагомості, то порядок їх ранжування не змінюється.

Приклад. Оцінити якість цифрового вольтметра за вихідними даними табл. 3.3.3.

Розв'язання. Частина значень відносних показників якості більша чи дорівнює одиниці, а частина менша за одиницю, тому визначимо комплексний показник якості вольтметра. Середній опосередкований арифметичний показник якості такий: $-1 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,07 = 0,715 \cdot 0,04 + 0,5 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,15 + 0,8 \cdot 0,1 + 1,67 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,03 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,01 + 0,9 \cdot 0,03 + 0,66 \cdot 0,02 = 0,96$. Середній опосередкований геометричний показник якості дорівнюватиме $= 1^{0,25} \cdot 1^{0,07} \cdot 0,715^{0,04} \cdot 0,5^{0,06} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,8^{0,1} \cdot 1,67^{0,05} \cdot 1^{0,05} \cdot 1^{0,03} \cdot 1^{0,05} \cdot 1^{0,1} \cdot 0,9^{0,03} \cdot 0,66^{0,02} = 0,94$. З отриманих результатів видно, що якість вольтметра дещо вища від якості еталона.

У разі значної кількості одиничних показників якості зведення їх до одного комплексного може зумовити деяку втрату інформації. Щоб уникнути цього, із загальної кількості показників добирають тільки ті, які характеризують якість продукції з одного боку (економіка, естетика тощо), і з їх допомогою здійснюють подальші розрахунки. За такими показниками визначають, наприклад, рівень яко-

сті виготовлення продукції, її нормативний, технічний та економічний рівні. Рівень якості продукції характеризують всією сукупністю одиничних показників, або комплексним її показником.

Зазначений метод необхідний для визначення рівня якості складних виробів, які мають чималу кількість одиничних показників рівня якості складових частин продукції. Тому така задача є достатньо складною та неоднозначною. Основна складність її полягає у необхідності забезпечення достатності комплексних показників.

Комплексні показники рівня якості виробів переважно визначають за залежністю основного й інтегрального показників рівня якості виробів або за середніми опосередкованими показниками. Для реалізації цього методу здебільшого беруть показники якості виробів, що найповніше представляють їх призначення. Наприклад, для легкових автомобілів комплексним показником може бути витрата пального на 100 км шляху; для вантажних автомобілів — кількість тонно-кілометрів вантажних перевезень; для металорізальних верстатів — продуктивність чи точність оброблення поверхонь деталей тощо.

Контрольні запитання

1. Як визначають показники якості продукції?
2. Які ви знаєте способи вимірювання якості продукції?
3. Перелічіть методи визначення якості продукції.
4. Охарактеризуйте диференційний, вимірвальний і інструментальний методи.
5. Де використовують експертний метод визначення показників якості продукції?
6. Як визначають рівень якості продукції органолептичним методом?
7. Чим відрізняються комплексний та змішаний методи вимірювання якості продукції?
8. У чому полягає соціологічний метод визначення якості продукції?
9. Як порівнюють показники якості продукції?
10. Що називають еталонами якості продукції та на які групи їх поділяють?
11. Які показники якості називають базовими?
12. Чи застосовують для порівняння абсолютні значення показників якості продукції?
13. Для чого визначають рівень якості виробів?
14. Що називають рівнем якості виробів?
15. Поясніть терміни «зразковий виріб» та «оптимальний рівень якості».
16. Якими методами визначають рівень якості виробів?
17. У чому полягає диференційний метод визначення рівня якості виробів?

*Статистичний та експертний методи
визначення рівня якості виробів*

3.4.1. Загальні положення

Статистичний метод визначення рівня якості виробів, який використовують у серійному та масовому виробництві, полягає у періодичному виборі певної групи виробів, вимірюванні показників їх якості (наприклад, розмірів окремих поверхонь) і розробленні заходів щодо забезпечення заданого у технічних вимогах рівня якості виробів [20].

За отриманими результатами роблять висновки про відповідність заданого виробничого процесу отримання виробів вимогам конструкторської документації. Основною перевагою статистичного методу є те, що він дає змогу швидко та з високою точністю визначати не тільки рівень якості виготовлених виробів, але й прогнозувати його зміну в часі. На основі періодично отримуваної інформації про рівень якості виробів у технологічні процеси вносять відповідні корективи. Таким чином статистичний метод визначення рівня якості виробів дає змогу керувати технологічними процесами їх виготовлення, а застосування засобів обчислювальної техніки — автоматизувати їх.

Статистичний метод визначення рівня якості виробів ґрунтується на положеннях математичної статистики. Якість виробів машинобудування зумовлюється багатьма параметрами фізичних, хімічних, електричних, магнітних, механічних, геометричних величин. Розглянемо статистичний метод визначення якості виробів на прикладі точності їх геометричних розмірів, які отримують шляхом різання матеріалів. Цей метод оброблення матеріалів є найпоширенішим і найтрудомісткішим з використовуваних у машинобудуванні.

Точність геометричних розмірів виробів оцінюють за допомогою істинних відхилень розмірів форми поверхонь та їх взаємного розміщення від заданих у робочих кресленнях, які називають *похибками розмірів*. За математичною статистикою похибки поділяють на систематичні та випадкові. Систематичні похибки є сталими за їх абсолютною величиною та знаком і повторюються в більшості об'єктів дослідження (вимірюваних розмірах деталей чи заготовок із дібраної партії) або змінюються за заданою залежністю (законом, функцією тощо). Систематичні похибки розмірів поверхонь та їх взаємного розміщення можуть бути наслідком

виготовлення та налагодження оброблювального устаткування чи контрольно-вимірювальних засобів, зміни впливових факторів (температури середовища, у якому виготовляють чи вимірюють розміри виробів; величини спрацювання різальних інструментів).

Для виробів, отриманих без зняття стружки (литтям, куванням, штампуванням, пресуванням, витискуванням), причинами, що зумовлюють появу систематичних похибок їх отримання, можуть бути похибки розмірів форми та взаємного розміщення поверхонь ливарних форм і шишок, штампів, пуансонів, матриць, пресформ, а також похибки виготовлення та налагодження устаткування, спорядження та контрольно-вимірювальних засобів.

Випадкові похибки є величинами змінними як за їх значенням, так і за знаком. Вони можуть змінюватися за невідомими залежностями (законами, функціями), не повторюються у більшості об'єктів дослідження, жодна з них не має явної переваги. Випадкові похибки отримання розмірів поверхонь та їх взаємного розміщення для виробів машинобудування можуть бути наслідком дії багатьох впливових, змінних за величиною та знаком факторів. До таких факторів для технологічних процесів отримання виробів за допомогою різання матеріалів належать неоднорідність твердості матеріалів, величини припусків на оброблення різанням, наявність твердих включень у верхніх шарах матеріалів, які знімаються внаслідок різання, міцність оброблювальних матеріалів, жорсткість технологічних оброблювальних систем, кваліфікація робітників тощо [4].

Для виробів, отриманих без зняття стружки, причинами, що зумовлюють появу випадкових похибок розмірів поверхонь та їх взаємного розміщення, можуть бути похибки форми та розмірів вихідних заготовок, з яких виготовляють вироби, температура оброблювальних матеріалів та спорядження, наявність та якість змащування робочих поверхонь спорядження та інструментів, якість виготовлення технологічного спорядження, спрацювання робочих і рухомих (напрямних) поверхонь, кваліфікація робітників тощо.

У картах технологічних процесів виготовлення виробів для розмірів поверхонь, які отримують внаслідок оброблення, визначають технологічні відхилення та допуски. *Технологічним* називають допуск розміру, який знаходять з урахуванням економічно та технічно обгрунтованої точності виготовлення виробів у заданих умовах, його записують у вигляді

$$T_{\Gamma} = \omega_{\text{lim}} + \sum_{i=1}^n \Delta_{\text{тис}} , \quad (3.4.1)$$

де T_T — технологічний допуск розміру, мм; ω_{lim} — граничне поле розсіяння розміру, мм; $\sum_{i=1}^n \Delta_{i\text{сис}}$ — алгебраїчна сума систематичних

похибок заданого технологічного процесу. Формула (3.4.1) придатна для визначення технологічного допуску значних за кількістю добирання партій виробів. Структуру та основне устаткування для технологічного процесу виготовлення виробів добирають так, щоб технологічні допуски розмірів не перевищували 90% відповідних допусків розмірів, наведених у конструкторських документах (кресленнях, ескізах тощо).

Оскільки систематичні похибки можуть бути визначені як за величиною, так і за знаком, то для підвищення точності виготовлення виробів їх часто зменшують або зовсім усувають шляхом внесення відповідних корективів чи у налагодження технологічної системи їх виготовлення (устаткування, спорядження, різальні і формувальні інструменти тощо), чи у контрольньо-вимірковальні засоби. Тому під час визначення рівня якості виробів статистичним методом основну увагу приділяють вивченню та зменшенню випадкових похибок основних параметрів виробів.

Експертний метод визначення показників якості продукції полягає у використанні рішень експертів, якими можуть бути висококваліфіковані фахівці, що успішно закінчили навчання та отримали знання, передбачені вимогами до експертів з визначення якості певної продукції.

3.4.2. Характеристики розсіяння випадкових величин

Під *розсіянням фізичних величин* розуміють такі відмінності у їх значеннях, які теоретично мали б бути рівними. Для лінійних чи кутових розмірів — це істинні відхилення від номінального чи середнього значення, які можуть бути зумовлені як систематичними, так і випадковими похибками.

Результати вимірювання розмірів визначають за допомогою статистичних (ймовірнісних) характеристик [20, 26, 31, 36, 37]. Розглянемо їх на прикладі виготовлення 200 валів з циліндричною поверхнею діаметром $\varnothing 12_{-0,08}$ мм. Розміри заданих поверхонь вимірюють мікрометром з ціною поділки шкали ноніуса 0,01 мм.

Для наочності та зручності оброблення результати вимірювання заносять у спеціальну таблицю (табл. 3.4.1). Поділивши умовно допускний діапазон заданого розміру на дев'ять умовних діапазонів з градацією 0,01 мм, отримані результати вимірювань запису-

Характеристики розсіяння розмірів циліндричної поверхні $\varnothing 12_{-0,08} \text{ мм}$

Вимірний розмір, мм	Частота n_x	Відносна частота $\frac{n_{x_i}}{N}, \%$	Похибка (відхилення), мм
11,92	2	1	- 0,04
11,93	6	3	- 0,03
11,94	20	10	- 0,02
11,95	48	24	- 0,01
11,96	56	28	0,00
11,97	34	17	+ 0,01
11,98	20	10	+ 0,02
11,99	12	6	+ 0,03
12,00	2	1	+ 0,04
		$N = 200$	100

ють у перший стовпчик. У другому стовпчику табл. 3.4.1 зазначають кількість валів, що мають однакові розміри.

У третьому стовпчику подають відносне значення частоти появи кожного з вимірних розмірів, що визначається як відношення частоти появи розмірів n_x до загальної кількості вимірних розмірів N . У четвертому стовпчику записують значення похибок розмірів, які визначають як відхилення від середнього арифметичного розміру

$$\Delta X_i = X_i - \bar{X}, \quad (3.4.2)$$

де ΔX_i — випадкова похибка виготовлення та вимірювання розміру, мм; X_i — вимірний розмір деталі, мм, \bar{X} — середній арифметичний розмір, який визначають як

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}, \quad (3.4.3)$$

де x_1, x_2, \dots, x_N — дійсні розміри заданих поверхонь всіх валів, мм; N — кількість усіх розмірів валів.

Беручи до уваги, що розміри кожного з умовних діапазонів мають декілька вимірюваних поверхонь, формулу (3.4.2) записують як

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^k \frac{x_i n_{vi}}{N}, \quad (3.4.4)$$

де \bar{X} — середнє арифметичне значення виміряних розмірів, мм; h — кількість умовних діапазонів допуску розміру; X_i — виміряні розміри діаметрів поверхонь, мм; n_{x_i} — частота появи розмірів X_i .

Для безперервно змінюваних величин замість середнього арифметичного беруть математичне очікування

$$M(x) = \int_{x_1}^{x_2} x y dx, \quad (3.4.5)$$

де x — біжуче значення розміру в інтервалі від x_1 до x_2 , мм; $y dx$ — ймовірність (кількість) появи розміру в інтервалі dx .

Оскільки абсолютна більшість розмірів, як випадкові величини, за законом нормального розподілу групуються біля середнього арифметичного значення, то його приймають за так званий центр групування розмірів. Що більший допуск розміру, то більшими є дійсні відхилення розмірів від їх середнього арифметичного значення, і відповідно нижчою є точність технологічного процесу виготовлення валів.

Істинний діапазон розсіяння розмірів — це різниця між найбільшим і найменшим значеннями розмірів досліджуваних поверхонь виробів у дібраній партії, тобто

$$R = X_{\max} - X_{\min}, \quad (3.4.6)$$

де R — діапазон розсіювання розмірів у партії, мм; X_{\max} і X_{\min} — найбільший та найменший розміри досліджуваних поверхонь виробів, мм. Характер розсіяння визначають за допомогою табл. 3.4.1, полігону, гістограми або кривої розсіяння (рис. 3.4.1). По горизонтальній осі у довільному масштабі відкладають розміри поверхні ΔX_i .

По горизонтальній осі відкладають відхилення розмірів ΔX_i від середнього арифметичного його значення з урахуванням їх знаків. За нульову позначку при цьому приймають середній розмір заданої поверхні згідно з робочим кресленням.

Кількість виробів, що мають виміряні розміри заданої поверхні у межах кожного умовного діапазону розмірів чи їх відхилень ΔX_i , відкладають у довільному масштабі по вертикальній осі координат. З'єднавши точки, що відповідають кількості валів (частоті появи), які мають вказані розміри, отримують ламану лінію, яку називають *полігоном розсіяння розмірів*. *Гістограмою* називають ламану лінію, що з'єднує середини горизонтальних відрізків довжиною, яка дорівнює умовному діапазону розмірів (рис. 3.4.1, а).

Як гістограму, так і полігон можна апроксимувати плавною кривою, яку називають *кривою розсіяння*, або кривою розподілу

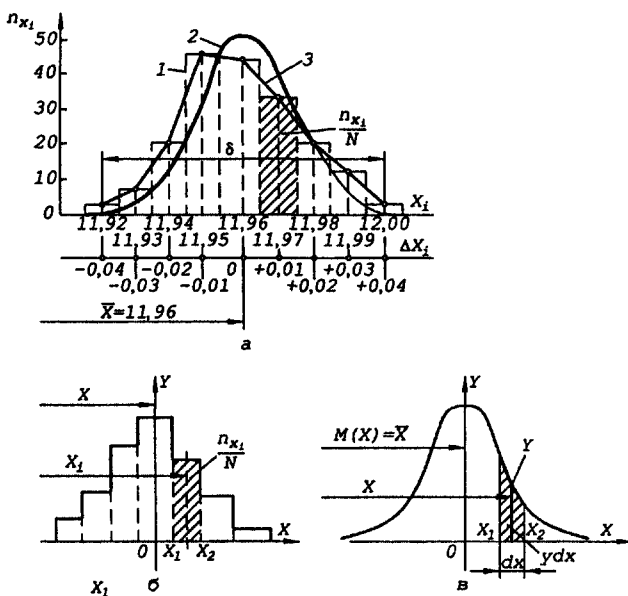


Рис. 3.4.1.

розмірів валів заданої групи. Для апроксимації використовують відомі з математичної статистики закони розподілу випадкових величин та їх геометричні формули. Наприклад, маємо формули:

$$y = \frac{A}{1+x^2} \quad \text{— для розподілу Коші,} \quad (3.4.7)$$

$$y = Ae^{-x^4} \quad \text{— для бікватратного закону,} \quad (3.4.8)$$

$$y = A(1-|x|) \quad \text{для } |x| < 1 \quad \text{— для закону Сімпсона (трикутника),} \quad (3.4.9)$$

$$y = Ae^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad \text{— для закону Гауса (нормального розподілу),} \quad (3.4.10)$$

де y — густина ймовірності (частота появи розміру); X — випадкова фізична величина (розмір, мм); σ — параметр функції розподілу (середнє квадратичне відхилення розмірів, мм).

За допомогою гістограми та полігону розподілу характеризують дискретні величини, а за допомогою кривої розподілу — неперервні. *Дискретною* називають величину, яка може набувати тільки окремих значень у заданому інтервалі фізичних величин,

а *неперервною* — величину, що може набувати будь-якого значення всередині заданого інтервалу. Як приклад неперервної величини можна навести істинні розміри поверхонь валів, які отримують з ідеальною точністю. Якщо ці розміри вимірюють засобом вимірювання із заданою (обмеженою) точністю, то істинні значення вважають дискретними.

Відповідно до цього розрізняють терміни для дискретних і неперервних величин. Наприклад, для дискретних величин кількість валів, що мають розміри у заданому умовному діапазоні, називають *частотою* n_x , та *відносною частотою* $\frac{n_x}{N}$, а для неперервних величин їх відповідно називають *щільністю ймовірності* y та *ймовірністю* ydx (див. рис. 3.4.1, б і в).

Зв'язок між ймовірністю та частотою появи фізичної величини визначають за законом великих чисел, сформульованим Я.Бернуллі у такій теоремі: з ймовірністю, близькою до вірогідності, що за достатньої кількості дослідів частота спостережуваної події якомога менше відрізняється від її ймовірності. Для безперервної функції $y = f(x)$ з диференціальним законом розподілу випадкових величин ймовірність знаходження розміру X_1 у межах від x_1 до x_2 (рис. 3.4.1, в) дорівнює площі між ординатами кривої, що відповідає цим значенням.

Ймовірність знаходження X_1 у межах від x_1 до x_2 визначають як

$$[x_1 < x < x_2] = \int_{x_1}^{x_2} y dx . \quad (3.4.11)$$

Вважають, що випадкова величина може набувати значень від $-\infty$ до $+\infty$, а ймовірність появи випадкової величини у заданих межах дорівнює одиниці (100%), тобто

$$\int_{-\infty}^{+\infty} y dx = 1 . \quad (3.4.12)$$

Якщо допустити, що $x_1 = x_2$, чи $dx = 0$, то ймовірність отримання абсолютно точного розміру дорівнюватиме нулю, тобто

$$\int_{x_1}^{x_2} y dx = 0 . \quad (3.4.13)$$

Ймовірність появи випадкових величин розмірів для діапазону їх коливання у межах від x_1 до x_2 змінюватиметься від 0 до 1. Визначивши параметр A [20] як

$$A = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \quad (3.4.14)$$

отримують залежність для закону нормального розподілу Гауса

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lambda_1 - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}. \quad (3.4.15)$$

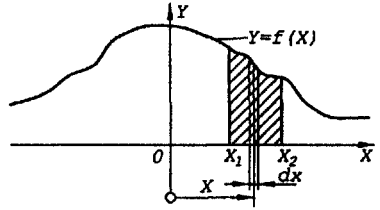


Рис. 3.4.2.

Уся площа між кривою розподілу та віссю абсцис, тобто ймовірність появи розмірів, що перебувають у допускних межах, дорівнює одиниці. Шляхом перетворення рівняння Лапласа цю площу під кривою нормального розподілу (рис. 3.4.2) виражають інтегралом

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \quad (3.4.16)$$

де

$$z = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \quad (3.4.17)$$

Значення функції Лапласа у діапазоні (рис.3.4.3, б) координат x_2 та x_1 таке:

$$P_B = [\Phi(z_2) - \Phi(z_1)] 100\%, \quad (3.4.18)$$

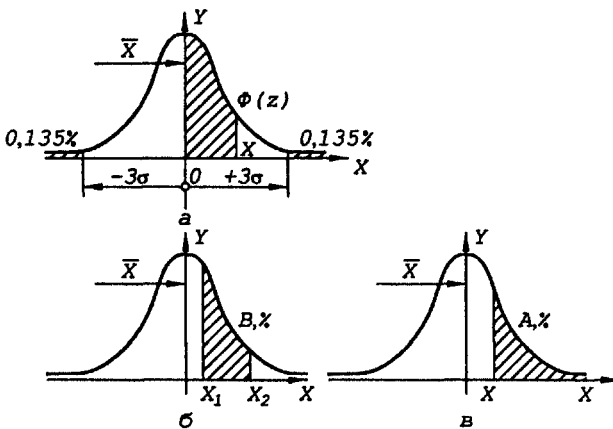


Рис. 3.4.3.

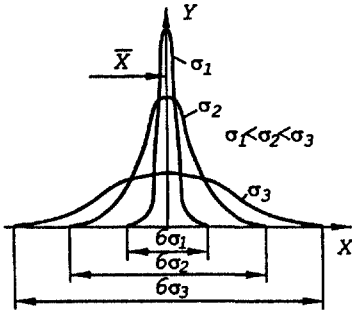


Рис 3.4.4.

виробів тільки 27 можуть мати розміри, які не входять у задані межі.

Оскільки такий рівень якості цілком допускний для умов серійного виробництва у машинобудуванні, то величину $\pm 3\sigma$ рекомендують порівнювати до допуску заданого у робочих кресленнях розміру виробу. Розглянемо криві нормального розподілу Гауса для різних значень середнього квадратичного відхилення σ (рис. 3.4.4). Як бачимо, більшим значенням середнього квадратичного відхилення відповідають більші розсіювання випадкових значень розмірів. На підставі закону нормального розподілу випадкових величин встановлені такі аксіоми:

- а) малі за величиною похибки трапляються частіше, ніж великі;
- б) рівні за абсолютною величиною від'ємні та додатні похибки спостерігаються однаково часто;
- в) для кожного способу виготовлення та вимірювання виробів значення похибок мають межі, поза якими їх не буває.

За другою аксіомою роблять висновок, що середні арифметичні похибки випадкових величин зі збільшенням їх кількості прямують до нуля. Оскільки оцінити випадкові величини за значенням середнього арифметичного неможливо, їх оцінюють за середнім квадратичним відхиленням σ чи граничними значеннями похибок (відхилень).

Середнє квадратичне відхилення дискретних випадкових величин визначають як

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} [(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2]} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \frac{1}{N} (X_i - \bar{X})^2 n_{x_i}}, \quad (3.4.20)$$

а змінних значень випадкової величини записують у вигляді

де $z_1 = \frac{x_1}{\sigma_1}$; $z_2 = \frac{x_2}{\sigma_2}$, а ймовірність отримання розмірів (заштрихована площа на рис. 3.4.3, в)

$$P_A = [0,5 - \Phi(z)]100\%. \quad (3.4.19)$$

Згідно з [5,8] для $x = 3\sigma$, $\Phi(z) = 0,49865$ ймовірність знаходження випадкової величини у межах $\pm 3\sigma$

буде $2 \cdot \Phi(z) = 0,9973$. Така величина ймовірності означає, що з 10 000 виробів

$$\sigma = \sqrt{\int_{x_1}^{x_2} x^2 y dx} . \quad (3.4.21)$$

Як видно з формули кривої нормального розподілу (3.4.10), форма її є функцією середнього квадратичного відхилення σ . Криві розподілу випадкових величин для заданих значень середнього квадратичного відхилення будують, починаючи з найбільшої ординати кривої, для якої $x = 0$, а $y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$.

Для $\sigma = 0$ крива переходить у вісь ординат, що свідчить про абсолютну точність випадкової величини. Для $\sigma = \infty$ крива переходить у вісь абсцис, що відповідає найбільшому значенню похибки (∞). Середнє квадратичне відхилення дає змогу визначати й інші характеристики похибок випадкових величин. Наприклад, прийнявши допуск розміру 6σ та задаючи відхилення розмірів від середнього його значення, можна визначити ймовірність отримання розмірів у межах заданих відхилень.

Розсіяння значень випадкових величин часто оцінюють за допомогою дисперсії

$$D(x) = \sigma^2 = \int_{x_1}^{x_2} x^2 y dx , \quad (3.4.22)$$

де $D(x)$ — дисперсія випадкової величини, мм^2 .

3.4.3. Визначення точності статистичних показників рівня якості виробів

Для оцінки точності отриманих показників рівня якості виробів спочатку визначають їх емпіричні величини: середнє арифметичне x_c , дисперсію σ^2 та середнє квадратичне відхилення σ . Знайдені значення прирівнюють до їх теоретичних аналогів: математичного очікування $M(x)$, дисперсії σ_T^2 і середнього квадратичного відхилення σ_T . Рівнозначність цих емпіричних і теоретичних величин можлива тільки для дуже великої кількості експериментів ($N \rightarrow \infty$). Тому реальні рівності приймають як наближені:

$$\bar{X} \approx M(x) , \quad (3.4.23)$$

$$\sigma^2 \approx \sigma_T^2 , \quad (3.4.24)$$

$$\sigma \approx \sigma_T. \quad (3.4.25)$$

Щоб оцінити точність будь-якої наближеної рівності, наприклад (3.4.23), її записують у вигляді

$$\bar{X} - \varepsilon \leq M(x) \leq \bar{X} + \varepsilon, \quad (3.4.26)$$

або

$$M(x) \leq \bar{X} + \varepsilon, \quad (3.4.27)$$

де $M(x)$ — математичне сподівання випадкової величини (розмірів, відхилень), отримане внаслідок експериментів, мм; ε — ймовірна допускна похибка (мм) математичного сподівання $M(x)$, яка залежить від заданої надійності (ймовірності) β її отримання. Потім, за допомогою розподілу Стьюдента [6, 20, 21] для заданої кількості експериментів N (дібраних виробів у дослідній партії) визначають межі ймовірної похибки $M(x)$. Наприклад, для $N = \infty$ (практично для $N = 20$) розподіл Стьюдента наближається до закону нормального розподілу Гауса з дисперсією, що дорівнює одиниці.

Розподіл Стьюдента дає змогу визначити надійність β для заданого значення ймовірної похибки ε математичного сподівання $M(x)$, або, навпаки, для заданої надійності β знайти ймовірну допускну похибку ε математичного сподівання $M(x)$. Відповідно до цього, задаючись надійністю β , для заданої кількості ступенів свободи за таблицями [6, 20, 21] знаходять коефіцієнт Стьюдента

$$\text{tg}\beta = \frac{\varepsilon}{\sigma_{\bar{X}}} = \frac{\varepsilon\sqrt{N}}{\sigma}, \quad (3.4.28)$$

де $\text{tg}\beta$ — коефіцієнт Стьюдента; σ_{xc} — середнє квадратичне відхилення для множини розмірів, що має N середніх значень розмірів x_i , тобто за правилом \sqrt{N} маємо

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (3.4.29)$$

За кількість ступенів свободи K приймають кількість вимірювань виробів, зменшених на кількість невідомих характеристик. Для визначення середнього арифметичного кількість ступенів свободи приймають $K = N - 1$. Визначивши $\text{tg}\beta$ і $\sigma_{\bar{X}}$, спочатку за допомогою рівняння (3.4.28) знаходять $\varepsilon = \text{tg}\beta\sigma_{\bar{X}}$, а потім межі ймовірних похибок $((\bar{X} - \varepsilon)$ і $(\bar{X} + \varepsilon)$ для математичного сподівання $M(x)$.

Аналогічно визначають і межі ймовірних похибок для середнього квадратичного σ_{τ} . Для цього використовують закон Аббе, на підставі якого записують

$$\gamma_1^2 \sigma^2 \leq \sigma_{\tau}^2 \leq \gamma_2^2 \sigma^2, \quad (3.4.30)$$

або

$$\gamma_1 \sigma \leq \sigma_{\tau} \leq \gamma_2 \sigma, \quad (3.4.31)$$

$$\gamma^2 = \frac{K}{x^2}; \quad x^2 = K \frac{\sigma^2}{\sigma_{\tau}^2}, \quad (3.4.32)$$

де γ_1^2 і γ_2^2 — коефіцієнти Аббе, які визначають залежно від кількості ступенів свободи K та надійності β за [12,20].

Приклад. Внаслідок п'ятикратного вимірювання діаметра вала за допомогою мікрометра отримали середнє арифметичне значення розміру $\bar{X} = 8,12$ мм та середнє квадратичне відхилення $\sigma = 0,05$ мм. Для значення надійності $\beta = 0,95$ визначити теоретичні значення математичного сподівання $M(x)$ і середнього квадратичного σ_{τ} .

Розв'язання. За формулою (3.4.29) маємо

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0,05}{\sqrt{5}} = 0,022 \text{ мм}; \quad K = N - 1 = 4.$$

За [6, 20, 21] для $\beta = 0,95$ і $K = 4$ отримуємо $\text{tg}\beta = 2,78$.

Тоді згідно з формулою (3.4.28) отримаємо

$$\epsilon = \text{tg}\beta \sigma_{\bar{x}} = 2,78 \cdot 0,022 = 0,06 \text{ мм}, \text{ а згідно з (3.4.26)}$$

$$8,12 - 0,06 \leq M(x) \leq 8,12 + 0,06, \text{ або } 8,06 \text{ мм} \leq M(x) \leq 8,18 \text{ мм}.$$

Тобто $M(x) = 8,12 \pm 0,06$ мм.

Для σ_{τ} згідно з дод.19 для $K = 4$ і $\beta = 0,95$ знаходимо $\gamma_1^2 = 0,359$ і $\gamma_2^2 = 8,26$. За (3.4.30) $\gamma_1^2 \sigma^2 \leq \sigma_{\tau}^2 \leq \gamma_2^2 \sigma^2$, а підставивши отримані значення, матимемо

$$0,359 \cdot 0,05^2 \leq \sigma_{\tau}^2 \leq 8,26 \cdot 0,05^2. \text{ Виконавши дії, отримаємо}$$

$$0,0008975 \text{ мм}^2 \leq \sigma_{\tau}^2 \leq 0,02065 \text{ мм}^2, \text{ чи } 0,0299583 \text{ мм} \leq \sigma_{\tau} \leq 0,143701$$

мм.

Контрольні запитання

1. Де використовують статистичний метод визначення показників якості виробів?
2. У чому полягають статистичний та експертний методи визначення рівня якості продукції?
3. Які переваги має статистичний метод визначення показників якості виробів?
4. Наведіть приклади випадкових і систематичних похибок.
5. Поясніть причини появи випадкових та систематичних похибок.
6. Який допуск розміру називають технологічним?
7. Що називають розсіянням випадкової величини?
8. Як визначають середнє арифметичне відхилення розмірів?
9. Що називають полігоном, гістограмою, кривою розсіяння та середнім квадратичним відхиленням випадкових величин?
10. Поясніть порядок побудови полігону, гістограми та кривої розсіяння випадкових величин.
11. Охарактеризуйте закони розподілу Сімпсона та Гауса.
12. Які аксіоми виводять з кривої розподілу Гауса?
13. Як визначають дисперсію випадкових величин?
14. Що називають математичним сподіванням?
15. За допомогою яких законів визначають статистичні показники якості виробів?
16. Чим відрізняються статистичні експериментальні показники якості виробів від теоретичних?

Глава 3.5

Системи забезпечення, керування якістю та штрихове кодування продукції

3.5.1. Основні напрями підвищення якості продукції

Процеси удосконалення якості продукції, поліпшення її показників, розроблення та освоєння випуску нової продукції відбуваються безперервно. Одним із основних рушіїв технічного прогресу є конкурентна боротьба за ринки збуту. Та незалежно від причин, що сприяють розвиткові нової техніки, основними напрямами створення нової продукції та безперервного підвищення її якості є:

- пошук інформації, аналіз потреб споживачів;
- вивчення сучасних досягнень науки та техніки;
- розроблення стратегії й тактики удосконалення старої продукції та створення нової;

складання технічних вимог і завдань на удосконалення чи створення нової продукції;

техніко-економічне обґрунтування потреби створення нової чи удосконалення старої продукції;

розроблення та прийняття програм і проектів здійснення відповідних дослідницьких і конструкторських робіт;

визначення та забезпечення фінансування робіт;

розроблення необхідної документації для створення, виготовлення та випробування перших зразків і дослідних партій;

розроблення документації для серійного виготовлення продукції;

випробування та сертифікація нової продукції;

створення та розповсюдження реклами, знаходження та закріплення ринків збуту для нової продукції тощо.

На стадії створення нову продукцію випробовують і досліджують у близьких до реальних умовах і з достатнім запасом надійності [1, 12, 14]. Для забезпечення заданої якості продукції недостатньо розробити конструкцію, комплект технічної документації, освоїти та виготовити зразки нової продукції в умовах серійного виробництва. Все це треба здійснити у найкоротші терміни, а також розробити та реалізувати програми високоефективного використання нової продукції, забезпечити її випуск для певних споживачів. Для цього створюють мережу служб з реклами, обслуговування, використання, ремонту, реалізації нової продукції чи виробів, забезпечення запасними частинами та матеріалами, необхідними для високоефективного її використання.

Основним способом створення конкурентоспроможної продукції в умовах ринкової економіки є системне керування її якістю. Тільки продукція, яка створена для певного споживача, може бути конкурентоспроможною. Систему створення та керування якістю продукції будують на підставі всебічного та детального дослідження ринку її збуту.

Для забезпечення заданої якості нової продукції чи виробів вивчають і організують надійне постачання її виробництва необхідною сировиною, матеріалами та комплектувальними виробами, а також організують відповідну виробничу базу, рекламу та збут. Партнери мають бути надійними, вони повинні забезпечувати своєчасне постачання вихідних матеріалів відповідно до встановлених сторонами термінів. Основним правилом у виробників має бути якість і надійність продукції з урахуванням її вартості та ціни. Способів досягнення цієї мети чимало, кожний виробник продукції (підприємство, завод, фірма) розробляє свою стратегію та тактику. Тому й ефективність роботи навіть передових виробників є різною та змінною у часі. Одні виробники продукції для забезпечення за-

даної якості сировини, матеріалів і комплектувальних виробів створюють спеціальні служби та лабораторії вхідного контролю, інші економлять на цьому й довіряють постачальникам. Змінних успіхів досягають і перші, і другі. Часто вирішення цього питання залежить від честі людей, які працюють над його розв'язанням, рідше від об'єктивних обставин, що склалися.

Велике значення для забезпечення заданої якості продукції має метрологічна база. Забезпечення високоякісними контрольно-вимірювальними засобами, належною методикою процесів визначення якості сировини та інших вихідних матеріалів, напівфабрикатів, заготованок, проведення метрологічної експертизи конструкторської та технологічної документації на стадії технічного підготування виробництва, повне виконання технологічних процесів на всіх стадіях "життя" продукції — виготовлення, використання, зберігання та ремонту — дають змогу досягати заданої їй якості.

Важлива роль у створенні та забезпеченні якості продукції (виробів), ринку її збуту належить не тільки конструкторам і технологам, а й менеджерам і маркетологам. Тому у розвинених країнах такі науки, як кваліметрію, менеджмент, маркетинг вивчають у школах, коледжах, гімназіях, інститутах, університетах, аспірантурі, під час розроблення наукових дисертаційних робіт, у спеціальних наукових, конструкторських, технологічних закладах тощо.

3.5.2. Завдання внутрішніх служб з контролю якості продукції

Система внутрішнього контролю якості продукції, що взаємодіє з відповідними державними організаціями, охоплює всі стадії її розроблення, виготовлення, використання, транспортування та зберігання. Окрім цього, вся продукція, призначена для продажу, підлягає сертифікації.

Усі органи та організації зі сертифікації продукції керуються чинними на території України стандартами з організації, порядку й термінів проведення, методики та засобів наукового, методологічного, технічного та організаційного забезпечення всіх заходів щодо належного рівня якості продукції, гарантування інтересів споживачів, здоров'я населення України, чистоти довкілля, безпеки життя та праці людей, збереження тваринного й рослинного світу.

На підприємствах і у фірмах з контролю якості продукції створюють спеціальні служби та органи, що відповідають за якість виготовленої продукції, контроль якості сировини та комплектувальних виробів, повноту здійснення технологічного процесу виготовлення, правила транспортування та зберігання ма-

теріалів, напівфабрикатів, готової продукції, якості їх маркування, пакування тощо.

У цехах і дільницях працюють спеціальні відділи та лабораторії, що відповідають за організацію, координацію, матеріальне, технічне, метрологічне забезпечення всіх заходів з контролю якості продукції та виробничих процесів.

Державні, регіональні, міжобласні організації та служби забезпечують нагляд і контроль за якістю сертифікованої продукції, складають переліки дозволеної до реалізації на території України та за її межі продукції, а також забороненої до такого поширення продукції на підставі результатів її сертифікації. Усі органи та організації з контролю та сертифікації продукції не мають залежати від її виробників і адміністративних керівників жодного рівня (району, міста, області, міністерства тощо). Це гарантує незалежність та ефективність їх роботи.

Основними завданнями органів з перевіряння, нагляду, контролю та сертифікації є недопущення випуску продукції, яка не відповідає обов'язковим вимогам стандартів, технічних умов, затвердженим зразкам проектної, конструкторської та технологічної документації, укладеним угодам; зміцнення виробничої дисципліни та підвищення відповідальності всіх виробничих ланок за якість виготовлюваної продукції; забезпечення безперервного розвитку та удосконалення систем технічного контролю якості продукції.

Акредитовані органи та служби з перевіряння, нагляду та сертифікації продукції відповідно до установленого порядку мають право: оформляти сертифікати та інші документи, що засвідчують відповідність контрольованої ними продукції встановленим вимогам; зупиняти випуск, продаж, перевезення, вивіз, використання неякісної продукції; недопускати використання неякісної сировини, напівфабрикатів заготованок, комплектувальних виробів, різальних інструментів, контрольно-вимірювальних засобів, що не відповідають певним вимогам; забороняти проведення технологічних операцій на устаткуванні, в дільницях, цехах, лабораторіях, що не забезпечують належну якість виконання; вимагати усунення причин виникнення дефектів виробів, уникати порушень технології їх виробництва; притягати до відповідальності винних у виготовленні та реалізації неякісної продукції; інформувати вищі органи про порушення вимог чинних стандартів, норм і рекомендацій щодо забезпечення якості продукції; брати участь у заходах з усунення виявлених порушень технологічної дисципліни та інших відхилень від вимог стандартів.

Внутрішні контрольні служби фірм і підприємств зобов'язані: проводити систематичний аналіз ефективності та впроваджувати прогресивні методи їх роботи; контролювати вхідну сировину,

напівфабрикати та комплектувальні вироби відповідно до чинних положень; контролювати виконання окремих технологічних операцій, переходів, стан технологічного устаткування, різальних інструментів, контрольованих-вимірювальних засобів, умов виробництва, пакування, зберігання та транспортування продукції; брати участь у випробуваннях нових чи модернізованих зразків продукції; узгоджувати з відповідними інстанціями конструкторську та технологічну документацію, що регламентує порядок, обсяг, методи та засоби контролю; отримувати та аналізувати статистичні дані щодо експлуатаційних характеристик і властивостей випущеної раніше продукції; контролювати реалізацію та ефективність заходів з усунення конструктивних і виробничих недоліків продукції та недопущення їх у майбутньому; брати участь у підготовленні продукції до перевіряння та сертифікації; контролювати ізолювання забракованої продукції; брати участь у розробленні перспективних програм щодо підвищення рівня якості продукції.

Функційні обов'язки, структуру, підпорядкованість, посадові інструкції, штатний розклад контрольних органів і служб встановлюють вищі компетентні органи відповідно до законодавства та постанов Кабінету Міністрів України.

3.5.3. Види технічного контролю якості продукції

Технічний контроль полягає у перевірці об'єктів на відповідність їх заданим вимогам. Об'єктами технічного контролю можуть бути продукція, вироби, технологічні процеси, заготованки, сировина тощо.

На різних стадіях "життя" продукції технічний контроль має відповідні завдання. На стадії проектування чи конструювання виробів його завдання полягає у перевірці відповідності дослідних зразків технічному завданню та конструкторській документації; на стадії серійного виготовлення — це перевіряння якості продукції, її комплектності, ходу виробничих процесів, вимог пакування, маркування; на стадії використання — перевіряння виконання вимог документації з використання, ремонту та зберігання продукції.

Метод контролю — сукупність правил використання заданих принципів (фізичних, хімічних, біологічних) для виконання завдань контролю продукції чи процесів, а *система контролю* — це сукупність методів, засобів контролю та виконавців, що взаємодіють з об'єктами контролю.

Види технічного контролю поділяють залежно від об'єкту контролювання — на кількісний та якісний; стадій "життя" виробів

(проектний, технологічний, вхідний, виробничий, приймальний та експлуатаційний); повноти охоплення (суцільний та вибірко-вий); зв'язку з контрольованим об'єктом у часі (біжучий, неперер-вний та періодичний); змоги подальшого використання контро-льованих виробів (руйнівний та неруйнівний); виду чи типу вико-ристовуваних засобів (вимірювальний, записувальний, органолеп-тичний, оглядовий та порівняльний); виконавця (заводський, ві-домчий, державний і міжнародний); рівня технічного споряджен-ня (ручний, механізований, автоматизований та автоматичний); впливу на контрольований об'єкт (активний та пасивний); типу контрольованих параметрів (геометричний, фізичний, механічний, хімічний, металографічний, функційний, візуальний тощо).

3.5.4. Види випробувань продукції

Види випробувань продукції поділяють залежно від мети ви-пробувань (контрольні, дослідницькі та ресурсні); наявності по-рівнювальної бази (порівняльні та абсолютні); стадій розроблен-ня та виготовлення продукції (попередні та приймальні); рівня проведення (галузеві, державні та міжнародні); мети виконання (періодичні та атестаційні); тривалості та інтенсивності вико-нання (нормальні та прискорені); дії на об'єкт випробування (ме-ханічні, електричні, магнітні, кліматичні, теплові, акустичні, гідравлічні тощо).

Переважно під час розроблення продукції для серійного вироб-ництва дослідна партія зразків підлягає кільком стадіям випробу-вань. На стадії ескізного та технічного проектування виготовляють і випробовують макетні зразки основних складових частин продук-ції чи її дослідні зразки, а на стадії робочого проекту розробляють, виготовляють дослідну партію (переважно не менше ніж три) зраз-ків, яку піддають повному циклу заводських випробувань.

За результатами перелічених випробувань продукція може бути рекомендована для освоєння у серійному виробництві. Повторні випробування проводять на партії зразків, дібраній зі серійно ви-готовлених в умовах підприємства-виробника.

3.5.5. Системи керування якістю продукції машинобудування

Стандартизація є основою для забезпечення якості промисло-вої продукції. Стандарти регламентують показники якості продук-ції, встановлені норми та вимоги, яким мають вони відповідати, методи та засоби контролю, правила маркування, пакування, ви-

користання, зберігання та ремонту. Деякі стандарти містять норми та правила виконання конструкторської та технологічної документації, правила розроблення ескізного, технічного та робочого проєктів, випробовування дослідної та серійної партії виробів, передачі документації виробів у серійне виробництво тощо.

Практично стандартизована вся інженерна діяльність, вплив стандартів на створення та забезпечення заданої якості виробів машинобудування вирішальний. Розвиток напрямів наукової організації праці виробничих і науково-дослідних установ зумовив появу у першій половині ХХ ст. так званих комплексних систем керування якістю промислової продукції, метою яких було створення та підтримання оптимального рівня якості всієї продукції. Такі системи за одну з основних вимог ставлять необхідність неперервного перегляду стандартів на продукцію відповідно до зростання вимог споживачів і технічного прогресу. Способом реалізації цієї вимоги є вдосконалення циклу проєктування — виробництво — використання для досягнення найвищої ефективності нової продукції з одночасним задоволенням потреб споживачів, оборони країни, експорту продукції тощо. Напрямами досягнення такої мети є неперервне підвищення рівня якості продукції, продуктивності та ефективності виробництва, зменшення матеріаломісткості та енергомісткості продукції, вартості її використання тощо.

Зараз в Україні прийняті міжнародні стандарти *ISO* серій 9000 і 10 000, які дають методичну підставу для загального керування якістю продукції в усіх галузях промисловості та створення систем якості. Зазначені стандарти продовжують, доповнюють і розвивають чинні колись в Україні системи керування якістю продукції: наукової організації роботи з підвищення моторесурсу (НОРМ), автоматичної системи управління якістю продукції (АСУ-ЯП), комплексної системи управління якістю праці та ефективністю виробництва (КСУЯПЕВ), комплексною системою управління якістю продукції та ефективним використанням ресурсів (КСУЯ-ПЕВР) тощо.

Під час створення нової продукції слід брати до уваги і можливу шкоду та збитки, які вона може спричинити у процесі використання (відмови та зупинки у роботі, аварії, травми, низька якість виконання функцій тощо), і при виготовленні (зайві витрати часу, енергії, матеріалів, токсичність виробництва). У передових фірмах промислово розвинених країн розрізняють такі критерії забезпечення високої якості продукції [14]: відповідність вимогам стандартів; відповідність рівню якості кращих виробів-аналогів у світі; відповідність вимогам споживачів; високий ступінь точності виконання технологічних процесів з виготовлення та ви-

користання виробів; відповідність якості продукції платоспроможності споживачів. Жодним з перелічених критеріїв не нехтують.

Стратегія та тактика керування якістю продукції — це обов'язки її виробника та споживача. Для вивчення ринку збуту продукції виробник часто запрошує кваліфікованих спеціалістів з консультативних центрів, які шукають і вивчають так звані ніші у ринку збуту заданої продукції.

До заходів, що заплановані для підвищення рівня якості продукції, передові виробники ставляться дуже відповідально, особливо керівники підприємств та їх підрозділів. Виконання запланованих заходів безперервно контролюється висококваліфікованими менеджерами на всіх стадіях виробництва — від постачання сировини, заготовок до використання виготовленої продукції. *Менеджери* — це професіонали-керівники виробництва продукції на всіх його рівнях. Під час контролю менеджери безпосередньо контактують як з постачальниками сировини та комплектувальних складників, так і з виробниками та споживачами продукції.

Після реалізації однієї програми заходів розробляють нову на наступний період і так безперервно протягом всього періоду випуску заданої продукції. Кожна розроблена програма — конкретна, вона має чіткі назви заходів, терміни, виконавців, контролерів. Переважно кожна програма складається з кількох підпрограм включно з програмами підвищення кваліфікації працівників, розроблення нових чи дороблення чинних стандартів, передбачає організацію чи реорганізацію виробництва тощо. Усі вони мають становити цілість і бути самотійними. Якщо без будь-якої з підпрограм можна обійтись, її не приймають до виконання.

Керування рівнем якості продукції здійснюють за чинними рекомендаціями та стандартами, але у кожного виробника своя стратегія. Наприклад, японські фірми основну увагу спрямовують на відсутність у виробах дефектів, а не на їх виявлення та вивчення. Тому більшість японських виробів (автомобілі, радіоприймачі, телеапаратура тощо) порівняно з виробами закордонних підприємств мають у десятки разів менше відмов. Зараз цей досвід пильно вивчають і запозичують у деяких країнах.

У багатьох японських фірмах переважно контролюють якість виконання технологічних процесів, а не якість продукції. Тому у цих фірмах у два-три рази вища продуктивність праці.

Маркетологи разом з конструкторами безперервно вивчають причини виявлених відмов і дефектів виробів, виконують значну роботу з підвищення показників надійності та довговічності виробів, прискіпливо вивчають аналогічні показники вихідних матеріалів і комплектувальних виробів протягом тривалого часу або здійснюють випробування в підсилених режимах. На підставі отри-

маних результатів розробляють нові програми з підвищення якості виробів.

Торгівлю та організацію збуту продукції на зовнішньому та внутрішньому ринках називають *маркетингом*, а її виконавців — *маркетологами*. Ідея випуску нових виробів чи модернізації старих переважно виникає не у конструкторів, а у маркетологів, які вивчають і знають вимоги до них і методи їх реалізації. Вони постійно контактують із замовниками та споживачами продукції, прогнозують її якість, ринки збуту, створюють їй рекламу, встановлюють та обґрунтовують гарантійні терміни, ціну нових виробів. Маркетологи працюють для конкретних споживачів продукції.

Сфера реалізації продукції є основою іноваційної діяльності передових підприємств і фірм, а продукцію вони часто роблять не найкращу, а таку, яка сьогодні має попит. *Сучасний маркетинг* — це і ринкова концепція керування рівнем якості продукції, її виробництвом і збутом, це теорія та практика організації та керування виробничою й збутовою діяльністю колективів, що передбачає узгодження реальних ресурсів виробника продукції з ринковим попитом на неї, координацію діяльності всіх підрозділів виробника, використання нових теорій керування якістю продукції, конкурентну боротьбу (на жаль, іноді на шкоду споживачам).

3.5.6. Сертифікація якості продукції

Сертифікацією (від латинської мови *certus* — вірний та *facio* — роблю) називають процедуру письмового засвідчення третьою стороною (уповноваженим чи акредитованим органом) відповідності продукції, процесу чи послуги заданим вимогам, атестації виробництва та системи якості.

Ця процедура може бути у формі декларації (заяви) виробника про відповідність продукції заданим вимогам або у вигляді сертифікації — письмового підтвердження третьою стороною відповідності продукції заданим вимогам.

Сертифікація визначає основні принципи, критерії та порядок перевіряння і містить настанови з призначення, планування, здійснення та документування перевірянь.

Перевіряння якості — це систематичний та незалежний аналіз, що дає змогу визначити відповідність якості та її наслідків запланованим заходам. Перевіряння якості застосовують до систем якості чи її елементів (процесів, продукції, послуг), а здійснюють його аудиторі з якості — особи, що мають відповідну освіту, кваліфікацію, несуть відповідальність за контрольовані ділянки. Кваліфікаційні вимоги до аудиторів з якості встановлені ДСТУ ISO 10011-2-97.

Системою якості називають сукупність організаційної структури, методик, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення управління якістю.

Клієнтом з якості є особа чи організація, за клопотанням яких здійснюють перевіряння. Клієнтом може бути споживач, виробник продукції, а також незалежна організація.

До завдань перевіряння належать: відповідність елементів системи якості встановленим вимогам; визначення ступеня ефективності запровадженої системи якості; надання контрольованій організації змоги поліпшити систему якості; виконання нормативних вимог; одержання дозволу для реєстрації системи якості тощо.

У ДСТУ ISO 9001–2001 "Системи управління якістю. Вимоги" наведена модель системи, в основу якої покладено процес. Стандарти ДСТУ ISO 9004–1–95; ДСТУ ISO 9004–2–96; ДСТУ ISO 9004–3–98 і ДСТУ ISO 9004–4–98 становлять систему з управління якістю та доповнюють один одного, але їх можна застосувати й кожний зокрема. Стандарт ДСТУ ISO 9001–95 стосується моделей забезпечення якості під час проектування, розроблення, виробництва, монтажу, обслуговування, контролю готової продукції та її випробування.

Під час сертифікації продукції перевіряють також відповідність її вимогам нормативних документів, чинним законодавчим актам України та міжнародним і національним стандартам інших держав.

Найвищим національним органом зі сертифікації в Україні є Державний комітет зі стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України). Положення щодо державної системи сертифікації (УкрСЕПРО) встановлені державними стандартами України (ДСТУ 3410–96, ДСТУ 3413–96 тощо).

Схема органів й організацій, які утворюють державну систему сертифікації в Україні, зображена на рис.3.5.1. Очолює її Держстандарт України, до його складу входять науково-технічна комісія, науково-методичний, інформаційний центр, центр зі стандартизації, метрології та сертифікації (ДЦСМС), органи зі сертифікації продукції, процесів і послуг; зі сертифікації систем якості, випробувальні центри, лабораторії тощо.

Безпосередньо роботу зі сертифікації продукції організують і виконують органи зі сертифікації разом з випробувальними лабораторіями та аудиторамі. Методичне та наукове керівництво всією роботою покладене на науково-методичний, інформаційний центр і ДЦСМС.

Стандарти системи сертифікації УкрСЕПРО містять основні положення, визначають структуру та вимоги до органів сертифікації, порядок її проведення, вимоги до оформлення документації

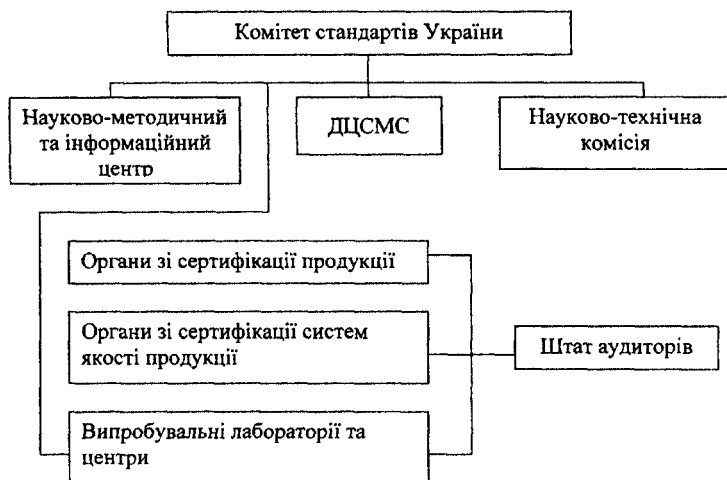


Рис. 3.5.1.

з сертифікації продукції, порядок атестації виробництв, сертифікації імпортованої продукції, систем якості, об'єктів добровільної сертифікації тощо.

Обов'язкову сертифікацію здійснюють на підставі чинних нормативних документів для забезпечення відповідності продукції обов'язковим вимогам стандартів. До них належать вимоги з безпеки продукції, охорони здоров'я людей та довкілля. У країнах ЄС з цих вимог є чинні закони (Директиви ЄС), або відповідні стандарти, тому обов'язкова сертифікація повинна задовольняти відповідні вимоги. В інших країнах є законодавство щодо захисту прав споживачів, природи, довкілля, яке містить вимоги й до продукції. Тому й створюють системи обов'язкової сертифікації продукції для перевіряння та підтвердження відповідності її всім обов'язковим вимогам. Окрім цього, на державному рівні приймають перелік об'єктів та асортимент продукції, що підлягають обов'язковій сертифікації.

Добровільна сертифікація продукції здійснюється з ініціативи юридичних і фізичних осіб на підставі угод між замовником та органом добровільної сертифікації. Допускають здійснення добровільної сертифікації в системах обов'язкової сертифікації її органами. Нормативний документ, згідно з яким здійснюється добровільна сертифікація, визначається заявником, яким може бути виробник, постачальник, продавець і споживач продукції.

Переважно клопотання щодо проведення добровільної сертифікації подають спільно виробник і споживач продукції, що

зацікавлені в розвитку торгівлі на підставі взаємно прийнятих угод.

На відміну від обов'язкової сертифікації, об'єкти якої та вимоги до них встановлені законодавством і стандартами, об'єкти та вимоги добровільної сертифікації визначаються самим замовником. Підставою для визначення правил і процедур добровільної сертифікації так само, як і для обов'язкової сертифікації, є рекомендації міжнародних чи національних органів з сертифікації продукції. Відповідні настанови щодо перевіряння систем якості, кваліфікаційні вимоги до аудиторів та управління програмами перевірянь передбачені ДСТУ *ISO 10011-1-97*; ДСТУ *ISO 10011-2-97* і ДСТУ *ISO 10011-3-97*.

Стимулюють добровільну сертифікацію продукції проблеми забезпечення конкурентоспроможності продукції. Споживач здебільшого віддає перевагу сертифікованій продукції, а право на проведення робіт зі сертифікації продукції надають тільки органи з сертифікації.

Окрім сертифікації продукції стандарти передбачають: обстеження виробництва щодо його відповідності вимогам документації;

підтвердження можливості виготовлення продукції відповідно до вимог чинних нормативних документів;

розроблення рекомендацій щодо періодичності та форм проведення технічного нагляду за виготовленням сертифікованої продукції.

Обсяг обстеження та технічного нагляду передбачає: перевіряння технічної документації та контрольних операцій; вхідний контроль сировини та комплектувальних матеріалів; визначення рівня метрологічного забезпечення; атестацію виробництва з метою оцінки його технічних можливостей у забезпеченні стабільного випуску продукції; сертифікацію системи якості виробництва продукції з метою переконатися в тому, що продукція, яку випускає підприємство, відповідає обов'язковим вимогам нормативних документів, а всі технічні, адміністративні та людські чинники, що впливають на її якість, належно контролюються.

На сертифіковану продукцію виробнику видають сертифікат відповідності, а на саму продукцію наносять знак відповідності (ДСТУ 2296-95). Форма сертифіката відповідності залежить від ступеня підтвердження вимог нормативних документів. Якщо продукція відповідає всім обов'язковим вимогам, то на неї видається знак за формою 1. Продукція, яка відповідає всім вимогам, отримує знак за формою 2, а продукція, яка відповідає тільки деяким вимогам, має знак, що відповідає формі 3 з переліком підтверджених вимог.

Факт сертифікації продукції може бути підтверджений оригіналом сертифіката відповідності; знаком відповідності; копією сертифіката відповідності, завіреною компетентним органом зі сертифікації; інформацією у документації, яка додається.

Термін чинності сертифіката, зазначений у ньому, не підлягає продовженню. Чинність сертифіката може бути зупинена на підставі результатів технічного нагляду. Всі роботи зі сертифікації здійснюють органи, які мають на це право. Персонал цих органів має бути кваліфікований, компетентний, досвідчений.

Сертифікація продукції має підтвердити рівень її якості відповідно до чинних в Україні стандартів. Сертифікацію проводять для всієї промислової та сільськогосподарської продукції, включеної у затверджений в установленому порядку Перелік продукції.

На підставі проведеної сертифікації продукції роблять висновки про ефективність діяльності виробничих підприємств та об'єднань, а також цілих галузей, регіонів тощо.

Не підлягає сертифікації продукція, яку не переробляли (сировина, корисні копалини), запасні частини для знятих з виробництва виробів, продукція харчової промисловості та медикаменти, парфумерно-косметичні та ювелірні вироби, твори мистецтва й художніх промислів, видавнича продукція, отрутохімікати, продукція для внутрішнього споживання тощо.

У разі передавання продукції іншому виробнику, вона підлягає новій сертифікації на підставі випробувань партії зразків, виготовлених у нових умовах виробництва.

Сертифікацію продукції здійснюють відповідно до законодавства України в певній галузі та вимог стандартів ДСТУ ISO 9000-1-95; ДСТУ ISO 9000-2-96; ДСТУ ISO 9000-3-98 і ДСТУ ISO 9000-4-98; зі стандартизації управління якістю та забезпечення якості під час розроблення, постачання, супроводження програмного забезпечення та управління програмою надійності продукції.

В українському законодавстві закріплені права споживачів продукції, які визнані в усіх цивілізованих країнах, — право на безпечність продукції, робіт чи послуг; право на відшкодування втрат, зумовлених недоброякісною продукцією, виконуваними роботами чи наданими послугами; судовий захист прав та інтересів споживачів.

Основу законодавства щодо захисту прав споживачів складають нормативні акти цивільного законодавства. Власне з метою забезпечення безпечності продукції, робіт і послуг в Україні введена обов'язкова сертифікація товарів, робіт і послуг, на які в законодавчих актах, ДСТУ встановлені вимоги з безпечності життя, здоров'я споживачів та охорони довкілля; засобів, що забезпечують безпеку життя та здоров'я споживачів.

Продукція, що реалізується гуртом чи вроздріб, має мати сертифікат відповідності, який продавець зобов'язаний показати покупцеві на його вимогу. Реалізація продукції, виконання робіт чи надавання послуг без сертифіката відповідності, заборонена. Продукція має супроводжуватись сертифікатом відповідності, виданим національним органом зі сертифікації, а також сертифікатами іноземних країн, які визнані в Україні. На сертифікованій продукції, у відповідній супровідній документації чи на пакуванні має бути нанесений знак відповідності.

З метою встановлення правових засад підтвердження відповідності продукції, а також систем якості, систем управління якістю, систем управління довкіллям, персоналом та забезпечення єдиної державної технічної політики у сфері підтвердження відповідності у травні 2001 р. в Україні прийнято Закон "Про підтвердження відповідності". У ньому зазначено, що підтвердження відповідності продукції згідно з положеннями Декрету Кабінету Міністрів України від 10 травня 1993 року № 46-93 "Про стандартизацію і сертифікацію" (в частині положень про сертифікацію) здійснюється до введення в дію відповідного регламенту з підтвердження відповідності.

Цей закон регулює відносини, що виникають під час підтвердження відповідності продукції, систем якості, систем управління якістю, систем управління довкіллям, персоналу вимогам, встановленим законодавством України, і поширюється на виробників і постачальників продукції незалежно від форми власності та видів діяльності, на органи зі сертифікації, випробувальні лабораторії, а також відповідні органи державної виконавчої влади.

До органів виконавчої влади у сфері підтвердження відповідності Законом належать: Кабінет Міністрів України; спеціально уповноважений Центральний орган виконавчої влади у сфері підтвердження відповідності; Центральний орган виконавчої влади з питань економіки (у сфері підтвердження відповідності).

У Законі "Про підтвердження відповідності" вжиті такі нові терміни й визначення:

продукція — будь-який виріб (процес чи послуга), що виготовляється (здійснюється чи надається) для задоволення суспільних потреб;

виробник — юридична або фізична особа як суб'єкт підприємницької діяльності, що відповідальна за проектування, виготовлення, пакування та маркування продукції незалежно від того, виконуються зазначені операції нею самою чи від її імені;

система якості — сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів організаційної структури, визначених механізмів відповідальності, повноважень та процедур організації, а також

процесів і ресурсів, які забезпечують здійснення загального керівництва якістю та її відповідність встановленим вимогам;

система управління якістю — сукупність органів та об'єктів управління, що взаємодіють за допомогою матеріально-технічних й інформаційних засобів під час управління якістю продукції;

система управління довіллям — сукупність організаційної структури діяльності та відповідних ресурсів і методів для формування, здійснення, аналізу та актуалізації екологічної політики;

постачальник — юридична або фізична особа як суб'єкт підприємницької діяльності, яка вводить в обіг продукцію чи безпосередньо бере в цьому участь;

підтвердження відповідності — діяльність, наслідком якої є гарантування того, що продукція, системи якості, системи управління якістю, системи управління довіллям, персонал відповідають визначеним законодавством вимогам;

декларування відповідності — процедура, за допомогою якої виробник чи уповноважена ним особа під свою повну відповідальність документально засвідчує, що продукція відповідає встановленим законодавством вимогам згідно з ДСТУ EN 45014–98 чи декларацією постачальника щодо відповідності;

сертифікація — процедура, внаслідок якої визнаний в установленому порядку орган документально засвідчує відповідність продукції, систем якості, систем управління якістю, систем управління довіллям, персоналу встановленим законодавством вимогам;

випробувальна лабораторія — лабораторія, яка виконує технічні операції, що полягають у визначенні однієї чи кількох характеристик певної продукції згідно зі встановленою процедурою;

сертифікат відповідності — документ, якій підтверджує, що продукція, системи якості, системи управління якістю, системи управління довіллям, персонал відповідають вимогам певного стандарту чи нормативного документа, визначеного законодавством;

аудитор зі сертифікації — особа, яка має відповідну кваліфікацію, теоретичну й практичну підготовку, необхідну для проведення одного чи кількох видів робіт з сертифікації, атестована в установленому порядку й записана до відповідного реєстру;

технічний регламент з підтвердження відповідності — нормативно-правовий акт, затверджений Кабінетом Міністрів України, який містить опис видів продукції, що підлягають обов'язковому підтвердженню відповідності, вимоги безпеки для життя та здоров'я людини, тварин, рослин, а також майна та охорони довкілля, процедури підтвердження відповідності цим вимогам, правила маркування та введення продукції в обіг;

свідоцтво про визнання відповідності — документ, що засвід-

чує визнання іноземних документів про підтвердження відповідності продукції вимогам, визначеним законодавством України; *національний знак відповідності* — знак, який підтверджує відповідність позначеної ним продукції вимогам технічних регламентів, що поширюються на неї.

Процедура підтвердження відповідності може здійснюватися в законодавчо регульованій та нерегульованій сферах. Процедура підтвердження відповідності в законодавчо регульованій сфері є обов'язковою для виробника, постачальника чи уповноваженого органу зі сертифікації, а процедура підтвердження відповідності в законодавчо нерегульованій сфері здійснюється на добровільних засадах.

Відповідність продукції вимогам, визначеним українським законодавством, засвідчується декларацією про відповідність, сертифікатом і національним знаком відповідності.

Сертифікати відповідності та свідоцтва про визнання відповідності, видані в установленому порядку в державній системі сертифікації продукції та послуг УкрСЕПРО до набуття чинності цього Закону, є чинними до закінчення строку їх дії.

Відповідність декларують за технічним регламентом, як в законодавчо регульованій, так і в законодавчо нерегульованій сферах.

17 травня 2001 р. прийнято Закон України "Про акредитацію органів з оцінки відповідності", метою якого є забезпечення єдиної технічної політики у сфері оцінки відповідності та довіри споживачів до цієї діяльності, створення умов для взаємного визнання результатів діяльності акредитованих органів на міжнародному рівні та усунення технічних перепон у торгівлі. Цей Закон визначає правові, організаційні та економічні засади акредитації органів з оцінки відповідності в Україні та поширюється на органи виконавчої влади, місцевого самоврядування, національний орган з акредитації, підприємства, установи й організації незалежно від форми власності та виду діяльності, чинних в Україні.

До складу національного органу з акредитації входять Рада з акредитації; технічні комітети з акредитації; Комісія з апеляцій.

У цьому Законі введені такі нові терміни та їх визначення:

акредитація — процедура, під час якої національний орган з акредитації документально засвідчує компетентність юридичної особи чи відповідного органу з оцінювання відповідності виконувати певні види робіт (випробування, калібрування, сертифікацію та контроль); *національний знак акредитації* — свідчить, що організація, яка його використовує, акредитована національним органом з акредитації; *орган з контролю* — оцінює відповідність шляхом спостережень і висновків, отриманих внаслідок вимірювань, випробувань та калібрування; *оцінка відповідності* — діяль-

ність, яка є висновком про те, що продукція, системи якості, системи управління якістю, системи управління довкіллям, персонал відповідають вимогам, встановленим законодавством;

орган з оцінки відповідності — випробувальна або калібрувальна лабораторія, орган з сертифікації, орган з контролю, які оцінюють відповідність продукції, процесів, послуг і персоналу вимогам, встановленим законодавством;

нормативний документ — встановлює правила, загальні принципи чи характеристики різних видів діяльності або їх результатів.

Акредитовані органи з оцінки відповідності зобов'язані: дотримуватись вимог нормативно-правових актів у сфері акредитації; посилаються на акредитацію тільки тих робіт, щодо яких їх було акредитовано; оплачувати всі роботи, пов'язані з акредитацією; припинити посилання на акредитацію у своїй документації та рекламі у разі припинення дії або визнання недійсним атестата про акредитацію.

3.5.7. Штрихове кодування продукції

Рішення щодо створення стандартів та запровадження в практику штрихового товарного кодування в Україні прийнято постановами Кабінету Міністрів України № 180 від 11 березня 1993 р. та № 326 від 4 травня 1993 р. 30 жовтня 1994 р. Україна стала членом Європейської Асоціації (*EA International*) і отримала товарну нумерацію "*EAN — Україна*", а в грудні 1994 р. Кабінет Міністрів України прийняв постанову "Про Асоціацію товарної нумерації України "*EAN — Україна*".

Ця програма передбачала розроблення необхідних державних стандартів України для системи штрихового кодування, технічних і програмних засобів нанесення штрихових кодів, науково-технічної документації тощо. Держстандарт України видав такі стандарти: ДСТУ 3144–95. Штрихове кодування. Терміни та значення; ДСТУ 3145–95. Штрихове кодування. Загальні вимоги; ДСТУ 3146–95. Штрихове кодування. Маркування об'єктів ідентифікації, штрихові кодові позначення EAN; ДСТУ 3147–95. Штрихове кодування, маркування об'єктів ідентифікації. Форма та розміщення штрихових позначок *EAN* на тарі та пакуванні товарної продукції, ДСТУ 3148–95. Штрихове кодування. Система електронного обліку документів на постачання продукції. КНД 50–051–95. Штрихове кодування. Вибір і застосування штрихових кодів.

Вимоги зазначених стандартів є обов'язковими для усіх видів

нормативних документів, довідкової, навчальної, методичної літератури, всіх підприємств, установ та організацій, що діють в Україні, незалежно від форм власності.

Залежно від структури штрихові коди поділяють на: цифрові, літеро-цифрові, дискретні, безперервні, двонапрямні, контролепридатні, з фіксованою довжиною коду, із змінною довжиною коду, з різною інформативною цільністю тощо.

Серед найпоширеніших в економічно розвинених країнах є штриховий код *EAN (European Article Number)*, який прийнято в Україні. Згідно з ДСТУ 3144–95 для штрихового кодування затверджені такі основні терміни й визначення:

Штрихове кодування — це подання даних за допомогою штрихового коду.

Штриховий код — це комбінація послідовно розміщених паралельних штрихів та проміжків між ними, розміри та розміщення яких відповідають певним правилам.

Символіка штрихового коду — це певний набір знаків штрихового коду заданої структури.

Знак штрихового коду — це знак певної символіки штрихового коду, закодований сукупністю штрихів та проміжків відповідно до встановлених правил.

Структура штрихового коду — це сукупність елементів у знаках і знаків у штриховому коді, взаємозв'язків між ними, що відповідають певним правилам.

Штрихова позначка — це сукупність даних у вигляді штрихового коду та інших елементів, побудована за певними правилами для автоматичної ідентифікації одиниць обліку.

Елемент штрихового коду — це окремий штрих чи проміжок у знаку штрихового коду.

Штрих коду — це елемент, що є частиною поверхні носія, яка обмежена паралельними лініями і має забарвлення з меншим коефіцієнтом відбиття, ніж у всій поверхні носія.

Проміжок штрихового коду — це елемент, розміщений між двома прилеглими штрихами.

Роздільний проміжок штрихового коду — це проміжок між останнім штрихом і першим штрихом наступного знака дискретного штрихового коду.

Інформаційний знак штрихового коду — це знак певної символіки, що відповідає комп'ютерному алфавіту.

Додатковий знак штрихового коду — це знак, що використовується для обмеження та (або) розділення знаків штрихового коду в штриховій позначці. У штрихових позначках розрізняють знаки: "Старт", "Стоп", контрольний, обмеження зліва та справа, візуальний, штрих-носій, стабілізація, модуля тощо.



Рис. 3.5.2.

Двонапрямний штриховий код — це код, який може бути зчитаний зліва направо та навпаки.

Дискретним називають штриховий код, в якому знаки відокремлені роздільними проміжками, *безперервним* — знак, в якому немає роздільних проміжків. *Одновимірним* називають штриховий код, знаки якого розміщені в один рядок, а *двовимірним* — штриховий код, знаки якого розміщені на поверхні відповідно до заданої структури. *Контролепридатним* називають штриховий код, структура якого дає змогу виявляти помилки зчитування.

Штриховий код може бути зі змінною та фіксованою довжиною, наприклад, код *EAN-13* — тринадцятирозрядна версія штрихового коду *EAN*. Розрізняють також терміни висоти та ширини елементів штрихового коду, його масштабний коефіцієнт, коефіцієнт відбиття та оптичну щільність елемента, контрастність штрихової позначки, інформаційну щільність тощо.

Символікою штрихового коду називають певний набір знаків, що відповідає заданому набору інформаційних символів (алфаві-

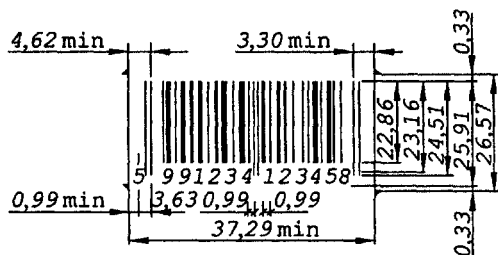


Рис. 3.5.3.

ту). До технічних засобів штрихового коду належать зчитувальний пристрій (контактний, дистанційний), декадер, зчитувальний олівець, щілинний зчитувач, лазерний та інші сканери, верифікатор, фотошаблон.

Загальні характеристики кодів, поширених в Україні, подано в КНД-50-051-95. Кодуванню підлягають інформаційні символи відповідно до ГОСТ 34.302.2 (ISO 8859/2) та РСТ УРСР 2018-91 "Систематизація обробки інформації. Кодування символів української абетки восьмибітовими кодами". Структура, принципи побудови штрихових кодів, знаків, позначок наведені у відповідних стандартах (рис.3.5.2 та 3.5.3).

Контрольні запитання

1. На якій підставі розробляють нові вироби машинобудування?
2. Перелічіть основні рушії технічного прогресу.
3. Основні напрями розвитку нової техніки.
4. Що є основою забезпечення конкурентоспроможності нових виробів?
5. Як організують забезпечення заданої якості виробів?
6. Яке значення мають стандартизація та метрологія для забезпечення заданого рівня якості виробів?
7. Які організації та підрозділи відповідають за якість продукції?
8. Хто на державному рівні очолює стандартизацію та сертифікацію продукції?
9. Перелічіть права органів та служб контролю якості продукції.
10. Обов'язки контрольних служб.
11. Перелічіть види технічного контролю якості продукції.
12. Як класифікують види та стадії випробувань виробів?
13. Що розуміють під системою керування якістю виробів?
14. Які знаєте критерії забезпечення високого рівня якості виробів?
15. Що таке програма забезпечення заданої якості виробів?
16. Перелічіть приклади стратегії й тактики японських фірм.
17. Що знаєте про систему забезпечення якості виробів в Україні?
18. Поясніть суть та мету сертифікації продукції.
19. Хто і у які терміни виконує сертифікацію виробів?
20. Яке призначення штрихового кодування, коли його запровадили в Україні?
21. У яких документах подані терміни й визначення з штрихового кодування?
22. Яким документом регламентовані вимоги до штрихового кодування?
23. Для яких об'єктів обов'язковими є вимоги до штрихового кодування?
24. Які знаєте стандартні терміни й визначення штрихового кодування?
25. Перелічіть технічні засоби зі штрихового кодування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрианов Ю.М., Субетто А.И. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении. Л.: Машиностроение. 1990. — 216 с.
2. Анурьев В.Н. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. 6-е изд. — М.: Машиностроение, 1982. Т.1. — 684 с.
3. Богуславский М.Г., Цейтлин Я.М. Приборы и методы измерений длин и углов. — М.: Изд-во стандартов, 1971. — 178 с.
4. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник. — Львів: Світ, 1996. — 368 с.
5. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: Навч. посібник / В.І.Гаврилюк, М.Л.Кукляк. — К.: УМК ВО, 1990. — 216 с.
6. Гличев А.В., Рабинович Г.О., Примаков М.И., Синицын М.М. Прикладные вопросы квалиметрии. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 136 с.
7. Горбунов А.В., Колесников А.С., Яковенко Е.Г. Экономико-математические методы в комплексной стандартизации. — М.: Изд-во стандартов, 1982. — 216 с.
8. Допуски и посадки /Под ред. В.Д.Мягкова: В 2-х т. — Л.: Машиностроение, 1978. Том 1. — 626 с.
9. Дружинин Г.В. Методы оценки и планирование качества. — М.: Радио и связь, 1982. — 160 с.
10. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин: Навч. посібник /Є.С.Поліщук, С.С.Обозовський, Є.І.Шморгун. — К.: Вища школа, 1978. — 351 с.
11. Засоби вимірювання автоматичного зрівноважування: Навч. посібник /Д.Б.Головко. — К.: Либідь, 1994. — 286 с.
12. Золотокин В. М. Методы анализа качества продукции. — М.: Финансы и статистика, 1985. — 214 с.
13. Зябрева Н.Н., Перельман М.И., Шегал М.Я. Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения". — М.: Высш. школа, 1977. — 201 с.
14. Кириллюк Ю.Е., Ломаченко З.Н. Допуски и посадки: Справ. пособие. — К.: Вища школа, 1989. — 133 с.
15. Комплексная система управления качеством продукции. — М.: Изд-во стандартов, 1979. — 119 с.

16. *Коротков В.П., Тайц Б.А.* Основы метрологии и теории точности измерительных устройств. — М.: Изд-во стандартов, 1978. — 351 с.
17. *Крылова Г.Д.* Зарубежный опыт управления качеством. — М.: Изд-во стандартов, 1992. — 140 с.
18. *Купряков Е.М.* Стандартизация и качество промышленной продукции: Учеб. для вузов. — М.: Высшая школа, 1985. — 288 с.
19. *Межгосударственные стандарты: Справочник: В 4-х т. /Под общей ред. В.Л.Иванова.* — Львов: Леонорм, 1998. — 526 с.
20. *Никифорец Э.Н.* Сборник задач по взаимозаменяемости и метрологическому обеспечению в авиационной технике: Учеб. пос. /Под ред. М.Н.Черновского. — М.:Изд-во МАИ, 1990. — 106 с.
21. *Никифоров А.Д., Бойцов В.В.* Инженерные методы обеспечения качества в машиностроении: Учеб. пособие. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 384 с.
22. *Обозовський С.С.* Теоретичні основи інформаційно-виміральної техніки /Загальні питання і теорія похибок: Навч. посібник. — К.: УМК ВО, 1991. — 223 с.
23. *Орнатский П.П.* Теоретические основы информационно-измерительной техники: Учеб. для вузов. — К.: Вища школа, 1983. — 455 с.
24. *Павлице В.Т.* Основы конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. — К.: Вища школа, 1993. — 556 с.
25. *Решетов Д.Н.* Детали машин. — М.: Машиностроение, 1974. — 655 с.
26. *Рубичев Н.А., Фрумкин В.Д.* Достоверность допускового контроля качества. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 171 с.
27. *Саранча Г.А.* Метрологія і стандартизація: Підручник. — К.: Либідь, 1997. — 192 с.
28. *Саранча Г.А.* Метрологія, стандартизація та управління якістю: Підручник. — К.: Либідь, 1993. — 256 с.
29. *Саранча Г.А.* Стандартизація, взаємозамінюваність і технічні вимірювання. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 343 с.
30. *Сергеев А.Г., Латышев М.В.* Сертификация: Учеб. пособие: — М.: Логос, 1999. — 248 с.
31. *Тищенко О.Ф., Валединский А. С.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учеб. для вузов. — М.: Машиностроение, 1977. — 357 с.
32. *Точность и производственный контроль в машиностроении /Н.Н.Балонкина, А.К.Кутай, Б.М.Сорочкин, Б.А.Тайц*

/Под общ. ред. А.К.Кутая. — Л.: Машиностроение, 1983. — 592 с.

33. *Трохимчук П.П.* Поліметрична теорія міри й вимірювань та деякі її застосування. — К.: 1993. — 122 с.

34. *Федорів Р.Ф., Микитин Г.В.* Елементи теорії міряння: Навч. посібник. — Львів-Тернопіль, 1999. — 156 с.

35. *Феник Я.И.* Основные принципы опережающей стандартизации промышленной продукции. — М.: Изд-во стандартов, 1970. — 128 с.

36. *Шишкин И.Ф.* Метрология, стандартизация и управление качеством /Под ред. Н.С.Соломенко. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 341 с.

37. *Шишкин И.Ф.* Теоретическая метрология. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 471 с.

38. *Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учеб. для вузов. 6-е изд. — М.: Машиностроение, 1986. — 352 с.

39. *Экономические основы стандартизации* /Под ред. В.В.Бойцова. — М.: Изд-во стандартов, 1975. — 391 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ЧАСТИНА 1. СТАНДАРТИЗАЦІЯ У МАШИНОБУДУВАННІ	5
ГЛАВА 1.1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ	5
1.1.1. Основні положення. Терміни й визначення	5
1.1.2. Види та категорії стандартів	9
1.1.3. Мета, принципи та методи стандартизації	10
1.1.4. Класифікація та кодування наукової, технічної, економічної та соціальної інформації	12
1.1.5. Державна стандартизація в Україні	14
1.1.6. Міжнародна стандартизація	15
<i>Контрольні запитання</i>	20
ГЛАВА 1.2. МЕТОДОЛОГІЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ	21
1.2.1. Основні принципи стандартизації	21
1.2.2. Ряди переважних чисел	22
1.2.3. Параметричні ряди виробів	24
1.2.4. Уніфікація та агрегування складних виробів	26
1.2.5. Показники рівня уніфікації та стандартизації виробів	29
1.2.6. Випереджувальна та комплексна стандартизація	30
1.2.7. Систематизація загальнотехнічних стандартів	32
<i>Контрольні запитання</i>	33
ГЛАВА 1.3. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ У МАШИНОБУДУВАННІ	33
1.3.1. Взаємозамінність та її види	33
1.3.2. Загальні поняття про розміри, їх відхилення та допуски	34
1.3.3. Графічне зображення розмірів, їх відхилень і допусків	37
1.3.4. Загальна характеристика з'єднань робочих поверхонь деталей	40
1.3.5. Поняття про одиницю допуску й квалітет точності	44
1.3.6. Добір допусків розмірів і характеру з'єднань	45
<i>Контрольні запитання</i>	47
ГЛАВА 1.4. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ГЛАДКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ	47
1.4.1. Система допусків та основних відхилень <i>ISO</i>	47
1.4.2. Позначення розмірів та їх відхилень на кресленнях	52
1.4.3. Розрахунок і добір основних відхилень і допусків розмірів рухомих з'єднань	53

1.4.4. Розрахунок і добір основних відхилень і допусків розмірів для нерухомих з'єднань	63
1.4.5. Рекомендації з добору основних відхилень і допусків розмірів для змішаних з'єднань	69
1.4.6. Добір основних відхилень і допусків розмірів поверхонь для з'єднань з підшипниками кочення	72
<i>Контрольні запитання</i>	78
ГЛАВА 1.5. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ГЛАДКИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ	79
1.5.1. Система допусків кутових розмірів та їх відхилень	79
1.5.2. Взаємозамінність конусів	83
1.5.3. Поля допусків і відхилень розмірів поверхонь для конічних з'єднань	88
<i>Контрольні запитання</i>	91
ГЛАВА 1.6. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ І ПОЛЯ ДОПУСКІВ РОЗМІРІВ ДЛЯ ВИРОБІВ З БАГАТЬМА РОБОЧИМИ ПОВЕРХНЯМИ	91
1.6.1. Загальні положення	91
1.6.2. Взаємозамінність шпонкових з'єднань	92
1.6.3. Взаємозамінність шліцьових з'єднань	95
1.6.4. Взаємозамінність різьбових з'єднань	101
<i>Контрольні запитання</i>	107
ГЛАВА 1.7. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС І ПЕРЕДАЧ	108
1.7.1. Загальні положення	108
1.7.2. Система уніфікації параметрів зубчастих коліс і передач	108
1.7.3. Параметри точності та види з'єднань зубчастих коліс і передач	111
1.7.4. Добір норм точності, видів з'єднань і позначення точності зубчастих коліс	117
1.7.5. Особливості взаємозамінності конічних зубчастих коліс і передач	121
1.7.6. Особливості взаємозамінності черв'ячних зубчастих передач	122
<i>Контрольні запитання</i>	123
ГЛАВА 1.8. РОЗМІРНІ ЛАНЦЮГИ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ	123
1.8.1. Класифікація розмірних ланцюгів	123
1.8.2. Задачі з розмірними ланцюгами та методи їх розв'язування	125
1.8.3. Розв'язування задач методом повної взаємозамінності	129
1.8.4. Розв'язування задач методом неповної взаємозамінності	132
1.8.5. Метод неповної взаємозамінності за допомогою селективного добору	138
1.8.6. Метод неповної взаємозамінності за допомогою регульовальних і компенсувальних ланок	140
<i>Контрольні запитання</i>	142

ГЛАВА 1.9. ФОРМА, ВЗАЄМНЕ РОЗМІЩЕННЯ, ШОРСТКІСТЬ	
І ХВИЛЯСТІСТЬ ПОВЕРХОНЬ	142
1.9.1. Основні положення. Терміни й визначення	142
1.9.2. Відхилення та допуски форми поверхонь виробів та їх взаємного розміщення	143
1.9.3. Умовні позначення відхилень і допусків форми поверхонь та їх взаємного розміщення на кресленнях	147
1.9.4. Система нормування шорсткості поверхонь	150
1.9.5. Позначення параметрів і норм шорсткості поверхонь на кресленнях	153
1.9.6. Хвилястість поверхонь виробів	157
<i>Контрольні запитання</i>	159
ЧАСТИНА 2. МЕТРОЛОГІЯ У МАШИНОБУДУВАННІ	160
ГЛАВА 2.1. МЕТОДИ, ВИДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ	160
2.1.1. Загальні поняття. Терміни, визначення	160
2.1.2. Методи та види вимірювань	163
2.1.3. Засоби вимірювальної техніки	165
2.1.4. Штрихові та кінцеві міри лінійних і кутових розмірів	168
2.1.5. Класифікація вимірювальних приладів і перетворювачів	173
2.1.6. Основні характеристики вимірювальних приладів	174
<i>Контрольні запитання</i>	180
ГЛАВА 2.2. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ	
І КУТОВИХ РОЗМІРІВ	181
2.2.1. Загальні положення	181
2.2.2. Штрихові ЗВТ	182
2.2.3. Штангенінструменти та універсальні кутоміри	183
2.2.4. Мікрометри	186
2.2.5. Вимірювальні головки	189
2.2.6. Оптиметри	195
2.2.7. Універсальні оптичні ЗВТ	198
2.2.8. Пневматичні засоби вимірювання	203
<i>Контрольні запитання</i>	206
ГЛАВА 2.3. СПЕЦІАЛЬНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ З ПІДВИЩЕНОЮ	
ТОЧНІСТЮ	207
2.3.1. Інтерференційні ЗВТ	207
2.3.2. Лазерні засоби вимірювання лінійних і кутових розмірів	213
2.3.3. Засоби вимірювання з використанням голографічної інтерферометрії	215
2.3.4. Фотоелектричні засоби вимірювання	216

2.3.5. Струнні засоби вимірювання	219
<i>Контрольні запитання</i>	222
ГЛАВА 2.4. СПЕЦІАЛЬНІ ЗАСОБИ КОНТРОЛЮВАННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ	222
2.4.1. Загальні положення. Класифікація засобів контролю	222
2.4.2. Контроль розмірів гладких циліндричних поверхонь	224
2.4.3. Контроль та вимірювання розмірів конічних поверхонь	229
2.4.4. Контроль та вимірювання розмірів циліндричних різьбових поверхонь	234
2.4.5. Контроль та вимірювання параметрів зубчастих коліс і передач ...	238
2.4.6. Контроль та вимірювання розмірів шпонкових і шліцьових поверхонь	243
2.4.7. Засоби вимірювання та контроль відхилень форми і взаємного розміщення поверхонь	244
2.4.8. Вимірювання та контроль параметрів шорсткості поверхні	246
<i>Контрольні запитання</i>	251
ЧАСТИНА 3. КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ У МАШИНОБУДУВАННІ	253
ГЛАВА 3.1. КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОМИСЛОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОКАЗНИКІВ ЇЇ ЯКОСТІ	253
3.1.1. Основні поняття. Терміни й визначення	253
3.1.2. Класифікація промислової продукції	256
3.1.3. Класифікація показників якості продукції машинобудування	259
<i>Контрольні запитання</i>	264
ГЛАВА 3.2. DOBIP I BИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ	265
3.2.1. Показники призначення виробів	265
3.2.2. Показники надійності та довговічності виробів	266
3.2.3. Показники ремонтної спроможності та схоронності виробів	268
3.2.4. Ергономічні та естетичні показники якості виробів	268
3.2.5. Показники технологічності конструкцій виробів	270
3.2.6. Показники транспортабельності, стійкості до середовища, впливу на нього та безпеки виробів	271
3.2.7. Економічні показники якості виробів	272
3.2.8. Показники стандартизації та уніфікації виробів	272
3.2.9. Показники патентоспроможності	274
3.2.10. Показники однорідності виробів	276
<i>Контрольні запитання</i>	276

ГЛАВА 3.3. ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	277
3.3.1. Загальні положення	277
3.3.2. Диференційний метод визначення рівня якості продукції	284
3.3.3. Комплексний метод визначення рівня якості продукції	285
<i>Контрольні запитання</i>	287
ГЛАВА 3.4. СТАТИСТИЧНИЙ ТА ЕКСПЕРТНИЙ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ	288
3.4.1. Загальні положення	288
3.4.2. Характеристики розсіяння випадкових величин	290
3.4.3. Визначення точності статистичних показників рівня якості виробів	297
<i>Контрольні запитання</i>	300
ГЛАВА 3.5. СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ТА ШРИХОВЕ КОДУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ	300
3.5.1. Основні напрями підвищення якості продукції	300
3.5.2. Завдання внутрішніх служб з контролю якості продукції	302
3.5.3. Види технічного контролю якості продукції	304
3.5.4. Види випробувань продукції	305
3.5.5. Системи керування якістю продукції машинобудування	305
3.5.6. Сертифікація якості продукції	308
3.5.7. Штрихове кодування продукції	316
<i>Контрольні запитання</i>	319
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	320

Навчальне видання

**БОЖЕНКО
ЛЮБОМИР ІВАНОВИЧ**

СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ ТА КВАЛІМЕТРІЯ У МАШИНОБУДУВАННІ

Допущено Міністерством освіти і науки України

Оформлення
та художнє редагування *В. І. Лахненка*
Технічний редактор *С. Д. Довба*
Комп'ютерний набір і верстка *І. Г. Сімонової,
Р. Б. Пікулицького*
Коректори *М. Т. Ломеха, О. А. Тростянчин*

Здано на складання 17.06.2003. Підп. до друку 12.11.2003.
Формат 60x84¹/₁₆. Папір офс. Гарн. SchoolDL.
Друк. офс. Умовн. друк. арк. 19,06. Умовн. фарбовідб. 19,29. Обл.-вид. арк. 18,29.
Наклад 7000 прим. Свідоцтво держ. реєстру: серія ДК № 22.
Вид. № 5. Зам №. 1089.

Державне спеціалізоване видавництво "Світ"
79008 м.Львів, вул.Галицька, 21
www.dsv-svit.lviv.ua
e-mail: office@dsv-svit.lviv.ua

Надруковано з готових діапозитивів
у ВАТ "Видавництво "Закарпаття",
88011, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 42/1
e-mail: vidzak@tn.uz.ua