

**МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ**

УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

**О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, Ю.М. Сенчихін
Є.М. Грінченко, А.Я. Калиновський**

**ПОЖЕЖНА ТА АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНА
ТЕХНІКА
Частина 2
ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ
ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

Навчальний посібник

Харків 2008

УДК 629.113.073:075.32

ББК 38.96

П 46

*Схвалено для використання в навчально-виховному процесі
(Лист МНС України від 16.02.2005 № 72/28)*

Рецензенти: А.М. Юрченко, професор Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, доктор технічних наук;

О.М. Яковлев, доцент Академії цивільного захисту України, кандидат технічних наук.

**Ларін О.М., Чернобай Г.О., Сенчихін Ю.М., Грінченко Є.М.,
Калиновський А.Я.**

П 46 Пожежна та аварійно-рятувальна техніка. Частина 2. Основи проектування пожежно-технічних засобів: Навчальний посібник / О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, Ю.М. Сенчихін, Є.М. Грінченко, А.Я. Калиновський – Харків: УЦЗУ, 2008. – 598с.

В навчальному посібнику викладено основні поняття про технічні системи та їх елементи, розглянуто задачі структурного аналізу і синтезу механізмів, кінематики та динаміки механізмів та машин, основи розрахунку, проектування та технології виготовлення пожежної та аварійної техніки, наведено принципи організації і проведення науково-дослідної й дослідно-конструкторської роботи, методології та методики теоретичних і експериментальних досліджень. Для курсантів, студентів, слухачів та ад'юнктів навчальних закладів МНС України, може бути корисним викладачам та фахівцям відповідної галузі.

УДК 629.113.073:075.32

ББК 38.96

© О.М. Ларін, Г.О. Чернобай, Ю.М. Сенчихін,
Є.М. Грінченко, А.Я. Калиновський

© Університет цивільного захисту України, 2008

ЗМІСТ

Передмова	7
Вступ.....	9
Розділ 1. Поняття про технічну систему та її елементи.....	27
1.1 Технічна система.....	28
1.1.1 Механізми та їх елементи	29
1.1.2 Класифікація механізмів	30
1.1.3 Класифікація кінематичних пар	34
1.1.4 Машини та їх класифікація.....	37
1.1.5 Моделі технічних систем	40
1.2 Основні поняття структурного аналізу й синтезу.....	41
1.2.1 Поняття про геометричні і кінематичні характеристики механізмів	43
1.2.2 Експериментальне дослідження кінематики механізмів	52
1.3 Динаміка машин і механізмів.....	53
1.3.1 Перетворення енергії в механізмах	55
1.3.2 Класифікація зусиль, що діють у механізмах	57
1.3.3 Силевий розрахунок типових механізмів.....	59
1.3.4 Вібрації і коливання в машинах і механізмах	61
1.4 Механічні характеристики машин.....	64
1.5 Режими руху машин.....	68
1.6 Пряма задача динаміки машин	73
1.6.1 Визначення закону руху при несталому (перехідному) режимі.....	73
1.6.2 Сталій режим руху машини	87
1.6 Пряма задача динаміки машин	104
1.6.1 Визначення закону руху при несталому (перехідному) режимі.....	104
1.6.2 Сталій режим руху машини	118
1.6.3 Поняття про стійкість роботи машини	133
1.6.4 Урахування приведеної статичної характеристики при аналізі динамічних процесів у машині	135
1.7 Захист машин та механізмів від вібрації.....	136
1.8 Тертя в механізмах. Види тертя.....	141
1.9 Поняття про ККД механічної системи	146

1.10	Складні зубчасті механізми. Багатопоточні й планетарні механізми.....	149
1.10.1	Кінематика рядного зубчастого механізму	151
1.10.2	Аналітичне дослідження кінематики рядного механізму.....	152
1.10.3	Графічне дослідження кінематики рядного механізму.....	152
1.10.4	Формула Віліса.....	153
1.10.5	Кінематичне дослідження типових планетарних механізмів графічним й аналітичним методами	155
1.10.6	Кінематичне дослідження просторових планетарних механізмів методом планів кутових швидкостей.....	159
1.11	Кулачкові механізми.....	162
1.12	Хвильові передачі. Призначення й сфери застосування	179
1.12.1	Структура хвильової зубчастої передачі	181
1.13	Промислові роботи і маніпулятори	189
	Розділ 2. Основи конструювання пожежної та аварійно-рятувальної техніки	220
2.1	Сучасні особливості науково-технічного прогресу	220
2.1.1	Основні етапи створення машин	221
2.1.2	Проблематика наукових досліджень.....	225
2.2	Розробка завдання на створення й освоєння машини.....	227
2.2.1	Послідовність і зміст етапів створення та освоєння машини.....	229
2.2.2	Методика проектування машин і пошуку конструкторських рішень.....	233
2.3	Проектно-конструкторська документація	241
2.3.1	Система класифікацій та кодування промислової продукції.....	247
2.3.2	Конструювання машин, складальних одиниць і деталей	250
2.3.3	Основи конструювання машин.....	268
2.4	Джерела науково-технічної інформації.....	279
2.5	Аналіз конструкції машини на технологічність.....	279
2.5.1	Технологічність конструкції та її види	280
2.5.2	Жорсткість конструкцій. Конструкційні способи підвищення жорсткості	283

2.6 Основи художнього конструювання	286
2.7 Система «людина-машина» («людина-машина-середовище»)	287
2.7.1 Системний підхід	289
2.7.2 Основні вимоги до конструкції індикаторів.....	291
2.7.3 Ергономічне відпрацювання конструкцій	295
2.7.4 Ергономічний аналіз машини	298
2.8 Оцінка результатів прийнятого художньо-конструкторського рішення	308
2.9 Основи композиції	310
2.9.1 Об'ємно - просторова структура	312
2.9.2 Властивості й якості композиції.....	312
2.9.3 Симетрія, асиметрія та їх комбінації.....	314
2.9.4 Динамічність і статичність форми	314
2.9.5 Пропорції і масштаб	315
2.10 Елементи кольорового оформлення	317
2.10.1 Основні рекомендації з вибору колірних рішень	320
Розділ 3. Деякі відомості про деталі машин та їх елементи	322
3.1 Функціонально-експлуатаційні вимоги	324
3.2 Виробничо-технологічні і техніко-економічні вимоги.....	329
3.3 Методи виготовлення заготовок.....	330
3.4 Вибір матеріалів	332
3.5 Економія металів і зменшення ваги машин.....	340
3.6 Технологічні вимоги до конструкції деталей, отриманих різними способами	347
3.6.1 Зварені деталі	347
3.6.2 Литі деталі	353
3.6.3 Деталі, виготовлені вільним куванням і гарячим об'ємним штампуванням.....	371
3.6.4 Деталі, виготовлені холодним штампуванням.....	379
3.6.5 Елементи, одержувані витяжкою	392
3.7 Деталі з пластмас.....	398
3.8 Технологічні вимоги, пов'язані з механічною обробкою деталей.....	407
3.8.1 Технологічність основних елементів механічної обробки.....	418
3.9 Вимоги, пов'язані з термічною і хіміко-термічною обробкою деталей.....	421

Розділ 4. Організація науково-дослідної роботи	427
4.1 Підготовка наукових і науково-педагогічних кадрів	428
4.2 Методологічні основи наукового пізнання і творчості	436
4.3 Наукові документи і видання	445
4.3.1 Первинні документи і видання	445
4.3.2 Класифікація документів	448
4.3.3 Державна система науково-технічної інформації.....	451
4.3.4 Науково-технічна патентна інформація.....	452
4.3.5 Організація роботи з науковою літературою	457
4.3.6 Оформлення заявки на передбачуваний винахід.....	462
4.4 Вибір напрямку наукового дослідження.....	466
4.4.1 Етапи науково-дослідної роботи	471
4.4.2 Активізація інженерної творчості	473
4.4.3 Творчий рівень винаходу	475
Розділ 5. Основи методології теоретичного дослідження	481
5.1 Застосування методів механіки до дослідження робочих процесів машин	484
5.2 Застосування методів механіки до рішення задач динаміки машин	487
5.3 Математичні методи, що застосовуються при дослідженні процесів експлуатації машин	499
5.4 Фізичне моделювання.....	502
5.5 Основи методики експериментального дослідження	506
Розділ 6. Експериментальні дослідження	510
6.1 Метрологічне забезпечення експериментальних досліджень	518
6.2 Робоче місце експериментатора і його організація.....	526
6.3 Обчислювальний експеримент	532
6.4 Інформаційно-вимірювальна техніка	535
6.5 Калібрування й перевірка приладів	563
6.6 Обробка результатів вимірів й оцінка їхньої точності	565
6.7 Планування експериментів.....	572
6.8 Оформлення результатів наукової праці і передача інформації	578
Література	589

ПЕРЕДМОВА

Пріоритетним напрямком діяльності підрозділів Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи (МНС) є профілактична робота, спрямована на запобігання виникненню і розвитку надзвичайних ситуацій та створення умов для їх успішної ліквідації.

Вирішення проблем, вірніше, комплексу проблем безпеки техногенної сфери повинно ґрунтуватися на сучасній науковій базі, одним з найважливіших завдань якої є розробка розрахункових і експериментальних методів, що забезпечують ще на стадії проектування можливість безпечної експлуатації створюваних машинобудівних конструкцій, будинків і споруджень, устаткування технологічних процесів і виробництв.

Але навіть найдосконаліші конструкторські рішення можуть виявитися непридатними для виробництва через його недостатню технологічну базу або відповідні недоліки проекту. Таким чином, технологія є другим важливим фактором безпеки техногенної сфери.

Вирішувати вказані задачі повинні фахівці МНС вищої кваліфікації, підготовка яких передбачає глибоке знання таких предметів як математика, фізика, теоретична механіка, матеріалознавство та технологія матеріалів, інформатика та комп'ютерна техніка, інженерна і комп'ютерна графіка, прикладна механіка та інші фундаментальні та професійноорієнтовані дисципліни. Вони формують базовий науково-технічний рівень, який є основою подальшого творчого професійного і наукового зростання фахівця та є запорукою його продуктивної службової діяльності.

Слід зазначити, що існує дуже мало літератури, де було б систематизовано коло питань, пов'язаних з проектуванням пожежно-аварійних та рятувальних засобів, плануванням та проведенням наукових досліджень в цій галузі, розробкою вимог до новітніх зразків спеціальної техніки. Ці питання укладачі намагались висвітлити у даному виданні, яке не покликане замінити фундаментальних праць (див. список літератури), на базі яких його створено, але дозволить читачеві краще орієнтуватись у суті відповідних проблем.

Мета укладачів – допомогти майбутнім фахівцям МНС в оволодінні методами вирішення відповідних наукових та інженерних завдань, а як це вдалось – судити читачеві.

Видання призначене для курсантів, студентів, слухачів та ад'юнктів навчальних закладів МНС, може бути корисним викладачам та фахівцям відповідної галузі.

ВСТУП

Сучасний стан науково-технічного розвитку суспільства характеризується зростаючою номенклатурою нових машин, удосконаленням і модернізацією вже існуючих конструкцій, широким впровадженням прогресивних технологій.

Питання конкурентоспроможності на світовому ринку вимагають підвищення якості вітчизняної продукції за одночасного зниження її ціни і, відповідно, матеріалоемності, енерго- і працевитрат у виробництві. Аналогічна ситуація є характерною для промислового і цивільного будівництва.

Зростаюча складність промислової продукції, енергонасиченість та інтенсифікація технологічних процесів, необхідність застосування небезпечних речовин і виробництв збільшує можливість виникнення аварійних ситуацій і масштаби їхніх наслідків.

У цій ситуації найважливішого значення набувають питання забезпечення надійності і безпеки техногенної сфери, що визначають ступінь її захисту від позаштатних ситуацій і, якщо є потреба, можливість ефективної ліквідації їхніх наслідків. Вирішення цих питань великою мірою залежить від рівня підготовки кадрів і якості матеріально-технічного забезпечення відповідних служб Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи.

Специфіка роботи фахівців МНС, що здійснюють нагляд у процесі проектування, будування та експлуатації суспільних і виробничих об'єктів, беруть участь у проектуванні, розробленні, виготовленні і використанні нових зразків пожежної та аварійно-рятувальної техніки при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, пов'язана з плануванням та проведенням наукових досліджень в цій галузі, розробкою вимог до новітніх зразків відповідної техніки, що вимагає глибокого знання фундаментальних і професійноорієнтованих дисциплін.

Першочерговим завданням при розробці систем захисту від наслідків надзвичайних ситуацій взагалі та проектуванні пожежних й аварійно-рятувальних технічних засобів є забезпечення їх надійності.

Надійність пожежного й аварійно-рятувального автомобіля, як і будь-якого технічного виробу, закладається на стадії розробки, забезпечується при виробництві і підтримується в експлуатації. Так,

при видачі технічного завдання на проектування автомобіля надійність його задається у вигляді конкретного показника.

У пожежному й аварійно-рятувальному автомобілі повинні бути реалізованими десятки різних параметрів, що відповідають призначенню машини. Щоб пожежний і аварійно-рятувальний автомобіль відповідав необхідному технічному рівню, розробник повинен врахувати всі плановані показники: надійності, технологічності, технічної естетики, ергономічні, стандартизації, уніфікації та ін.

Однак саме надійність пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів є ще найбільш слабкою ланкою в сукупності показників якості. Упустивши цю ланку, розробник, як правило, позбавляється основи керування надійністю автомобіля. А вже нормування надійності у виді чітких кількісних вимог впливає на весь процес виробництва автомобіля, визначаючи вибір матеріалу, технологію, точність обробки деталей та інше. А експлуатаційник позбавляється можливості планувати необхідний обсяг запасних частин, експлуатаційних матеріалів та ін.

На сьогодні за вимогою ряду стандартів показники надійності варто вносити у всю нормативно-технічну документацію (НТД) на виробу, у тому числі й на пожежні й аварійно-рятувальні автомобілі: у технічні умови, технічні завдання, програми і методики випробувань, карти технічного рівня й якості.

Тому знання питань регламентації надійності є необхідним для фахівців, причетних до розробки пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів. А працівники МНС, знаючи основні показники і параметри надійності, будуть професійно аналізувати несправності і складати обґрунтовані рекомендації заводам-виготовлювачам, вносячи конкретні пропозиції з підвищення якості, а також вирішувати багато практичних задач, пов'язаних з проектуванням, експлуатацією і ремонтом техніки.

Насамперед треба визначитися з відповідною термінологією.

Надійність – властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи в часі у заданих межах значення встановлених експлуатаційних показників, що відповідають заданим режимам, умовам використання і технічного обслуговування, ремонту, збереження і транспортування.

Надійність – це комплексна властивість, що включає безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і потрібні умови зберігання.

При оцінці надійності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів звичайно використовують три перші властивості.

Безвідмовність – властивість виробу безупинно зберігати працездатність протягом заданого часу або визначеного напрацювання.

Довговічність – властивість виробу безупинно зберігати працездатність до настання граничного стану за встановленої системи технічного обслуговування і ремонту.

Ремонтопридатність - властивість виробу, що дозволяє попереджувати і виявляти причини виникнення відмов і ушкоджень, а також усувати їхні наслідки при ремонті і технічному обслуговуванні.

Працездатність – стан виробу, при якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, встановлених нормативно-технічною документацією.

Граничний стан – це стан виробу, при якому його подальша експлуатація повинна бути припинена з наступних причин: через вихід заданих параметрів за встановлені межі або зниження ефективності проведення середнього або капітального ремонтів.

Надійність виробу, наприклад, автомобіля, не залишається постійною протягом періоду його експлуатації. У міру зношування деталей, нагромадження ушкоджень або в результаті розрегулювань окремих вузлів працездатність автомобіля може порушуватись, що викликатиме його відмову.

Розрізняють два випадки стану непрацездатності: переборний і непереборний. У першому випадку працездатність може бути відновлена при ремонті. У другому – відновлення працездатності є технічно неможливим або економічно не доцільним. Кількісно надійність пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів оцінюється за показниками надійності.

Показники надійності технічних пристроїв відповідно до чинних нормативних документів поділяються на дві групи: **одиничні показники**, що характеризують тільки одну властивість надійності виробу (наприклад, безвідмовність), і **комплексні**, що характеризують одночасно дві і більше властивості (наприклад, безвідмовність і ремонтпридатність).

При встановленні вимог до надійності на будь-який виріб, у тому числі й на пожежні й аварійно-рятувальні автомобілі, вибирають мінімально можливе число показників. Цей вибір повинен бути технічно обґрунтованим. Відсутність такого обґрунтування може

привести до неправильних рішень при розробці і конструюванні виробів.

Необхідно, щоб показник надійності задовольняв певним вимогам, на підставі яких можна зробити висновок, чи є даний показник нормованим, тобто внесеним до нормативно-технічної документації (НТД) на вироби. За цим показником при розробці конструкції будуть порівнювати і вибирати оптимальні варіанти виробу, а також контролювати досягнутий рівень надійності серійного зразка.

Таким критерієм є вимога, щоб надійність характеризувалася показниками, які визначають споживчу властивість даних виробів, і були складовою частиною в загальній оцінці їхнього функціонування.

Кількісні та якісні вимоги до надійності, спрямовані на забезпечення необхідного рівня працездатності за мінімальних витрат (трудових і матеріальних) у процесі експлуатації, повинні містити номенклатуру групових та індивідуальних показників та норм надійності.

Під груповою нормою розуміється показник надійності сукупності виробів даного типу (виду, марки, моделі). Під індивідуальною нормою розуміється показник надійності одиничного виробу.

До групових показників надійності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів віднесено: «коефіцієнт оперативної готовності», «гамма-процентний ресурс» та «ймовірність безвідмовної роботи за визначений період напрацювання», «середній термін служби до списання», «середній час відновлення» - середня оперативна трудомісткість технічного обслуговування (ТО) або ремонту.

До індивідуальних показників віднесено: «встановлене безвідмовне напрацювання», «встановлений ресурс», «встановлений термін служби». Зазначені показники є окремими випадками відповідних гамма-процентних показників за значення $\gamma = 100\%$. Їхнє застосування можливе для виробів, для яких доведена наявність зрушення розподілу відповідних характеристик надійності (напрацювання до відмовлення, ресурсу й ін.).

Зіставлення індивідуальних показників надійності з груповими, наприклад, встановленого безвідмовного напрацювання з ймовірністю безвідмовної роботи, показує їхнє розходження залежно від призначення, сфери використання, можливості контролю та ін.

Індивідуальні показники надійності несуть велику інформативність, оскільки містять відомості не тільки про кожен одиничний виріб, але і про всю розглянуту сукупність. Наприклад, показник «встановлене безвідмовне напрацювання» характеризує мінімальне напрацювання як конкретного виробу, так і всієї сукупності виробів даного виду.

Споживач у процесі використання виробу може мати гарантію (відповідно до норм надійності, встановлених в НТД), що за певний установлений період експлуатації відмови виробу не відбудеться. Групові показники надійності, на відміну від індивідуальних, застосовуються для оцінки ймовірних характеристик надійності, і при цьому надійність кожного виробу (його відповідність або невідповідність регламентованим вимогам) не гарантується.

Індивідуальні показники надійності використовуються при регламентації вимог до надійності виробів у НТД, встановленні відповідальності виробника за аварії і передчасні поломки, відмови виробу, обґрунтуванні термінів гарантії, перевірці споживачем надійності використововуваної техніки.

Групові (ймовірні) показники надійності використовуються при: регламентації вимог до надійності виробів у НТД, розрахунку характеристик системи ТО і ремонту (періодичності проведення обслуговування, розрахунку номенклатури й обсягу запасних частин та ін.), розрахунку структури і потрібного парку машин, оцінці стабільності технологічних процесів та ін.

Таким чином, введення індивідуальних показників законодавчо забезпечує необхідний рівень надійності кожного виробу, стабілізує цей рівень для усієї генеральної сукупності й підвищує відповідальність виробника за забезпечення цього рівня.

При регламентації кількісних значень (норм) показників надійності пожежної та аварійно-рятувальної техніки в НТД варто дотримуватись вказаних нижче рекомендацій.

1. Значення показників надійності встановлюють з урахуванням досягнутого рівня і виявлених тенденцій їх підвищення у вітчизняних і закордонних аналогах, ґрунтуючись на результатах науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт та техніко-економічних можливостях промисловості. При цьому варто домагатися прийняття оптимальних норм. Критерії оптимізації – задана ефективність виробу за мінімальних витрат на розробку, виготовлення й експлуатацію (у

тому числі ТО і ремонт) або максимальна ефективність за заданих витрат.

2. Норма встановленого безвідмовного напрацювання повинна бути: для виробів, що не ремонтуються, – не меншим за напрацювання за гарантійну експлуатацію; для ремонтваних виробів - не меншим за напрацювання за гарантійний термін експлуатації і напрацювання між двома плановими технічними впливами (ТО, перевірки й ін.), а для виробів циклічного застосування – за напрацювання за цикл використання виробів циклічного застосування.

3. Значення встановленого ресурсу виробу повинно бути не менше його величини, визначеної для встановленого терміну служби з урахуванням планових простоїв.

4. Встановлений термін служби виробу повинен бути не менше терміну, обумовленого нормою амортизаційних відрахувань.

5. Норми параметрів надійності повинні бути не нижчими за встановлені директивними документами, крім того, вони повинні бути пов'язані з нормами показників надійності складових частин.

Експериментальне визначення показників надійності ґрунтується на обліку напрацювань до виникнення відмови. Ці події є випадковими, тому що неминучі коливання якості використовуваних матеріалів, зміна виробничих факторів та умов експлуатації призводять до розкиду параметрів, які характеризують технічний стан агрегату або вузла виробу.

Одиночний параметр може досягати граничної величини, встановленої для конкретного механізму, за різних термінів напрацювання. Тому групові показники надійності, подані нижче, можна розглядати як ймовірні статистичні характеристики, отримані при обробці вибірок на основі теорії ймовірностей і математичної статистики.

Ймовірність безвідмовної роботи відноситься до групи одиничних показників безвідмовності і характеризує ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмови виробу (агрегату або вузла) не виникне.

Статистична ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$P(t) = 1 - [n(t) / N_o],$$

де N_o – число елементів виробу на початок випробувань;

$n(t)$ – число елементів, що вийшли з ладу, в інтервалі напрацювання за час t або за пробігом L .

Ймовірність безвідмовної роботи вважається однією з найбільш важливих характеристик надійності, тому що досить наочно дає уявлення про надійність виробів. Вона виражається в частках одиниці (або у відсотках) і змінюється від одиниці до нуля.

Побудова графіків ймовірності безвідмовної роботи елементів, критичних за надійністю, складає карту надійності пожежного й аварійно-рятувального автомобіля в цілому. Карта надійності дозволяє виявити найбільш часто повторювані роботи при заміні елементів конструкцій, що дає можливість створити спеціальне гаражне устаткування для механізації цих робіт.

На практиці часто користуються поняттям «ймовірність відмовлення», тобто події, протилежної події безвідмовної роботи:

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Гамма-процентний ресурс входить до групи одиничних показників довговічності. Він характеризує напрацювання, протягом якого виріб не досягне граничного стану з заданою ймовірністю γ - (% , відсотків).

Гамма-процентним ресурсом на сьогодні широко користуються при оцінці довговічності технічних пристроїв. Це пов'язано з тією обставиною, що за підвищення вимог до надійності елементів машин оцінка за середніми величинами в багатьох випадках є недостатньою, тим більше для пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів.

Необхідно мати дані не тільки про середній ресурс однотипних агрегатів, але і про ресурси агрегатів, що не досягли середньої величини, тобто встановити момент раннього руйнування виробів. Для визначення гамма-процентного ресурсу можна проводити випробування до виходу з ладу лише невеликої частини виробів (10–20% усієї випробовуваної партії). Це полегшує нормування і контроль показників.

Коефіцієнт оперативної готовності є показником, що найкраще враховує особливості використання пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів як техніки оперативної служби. Це комплексний показник, який стосовно до пожежного й аварійно-рятувального автомобіля можна трактувати як ймовірність того, що

автомобіль, який знаходиться у режимі очікування, виявиться працездатним у довільний момент подачі сигналу «тривога» і, починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно як під час прямування до місця надзвичайної ситуації, так і протягом усього часу її ліквідації. Під "режимом очікування" розуміється перебування пожежного й аварійно-рятувального автомобіля на чергуванні у складі бойового розрахунку.

Як додаткові показники при проведенні аналізу надійності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів, їхніх агрегатів і систем, можуть використовуватися: **напрацювання на відмовлення, параметр потоку відмов та інтенсивність відмов, середній час відновлення** та інші показники, вибір яких обумовлюється метою аналізу.

Важливим моментом при нормуванні вимог до надійності є **правильний запис показника**. Іноді ці вимоги формулюються неправильно. Часто при регламентації вимог до безвідмовності не вказується проміжок часу безвідмовної роботи. При записі показника довговічності не вказується, яким граничним станом обмежується дія показника (капітальним ремонтом, списанням та ін.). У ряді випадків відсутні вимоги до величини γ (%). Необхідно пам'ятати, що довільний вибір показника і його неправильний запис виключають можливість нормування і контролю надійності.

Останнім часом при аналізі якості виробів і, зокрема, такої її найважливішої складової, як надійність, усе частіше використовується **системний підхід**.

Системний підхід є напрямком методології наукового пізнання, в основі якого – дослідження об'єктів як систем. Існує визначення надійності як «якості, розгорнутої в часі». Вивчення фізичних процесів, що призводять до зміни показників надійності виробів та їхніх елементів, найбільш повно можна провести лише в рамках системного підходу при аналізі системи «людина – машина – середовище» (СЛМС).

Пожежний і аварійно-рятувальний автомобіль за своєю структурою належить до складних технічних систем. Необхідність системного підходу при їхньому вивченні впливає з розгляду системних принципів, до яких відносяться **цілісність, структурність, взаємозв'язок системи і середовища, ієрархічність, множинність опису кожної системи** й ін.

При системному дослідженні пожежного й аварійно-рятувального автомобіля принципово важливо враховувати, що його властивості як цілісної системи визначаються не стільки підсумовуванням властивостей окремих елементів, скільки властивостями його структури. Ці властивості формуються і виявляються у процесі взаємодії із середовищем, причому головним компонентом взаємодії є машина.

Якщо ж розглядати систему "людина – машина – середовище", то тут найважливіший компонент взаємодії – людина.

Ефективність функціонування такої системи визначається кваліфікацією і ретельністю людини (людський фактор), які вирішальною мірою визначають параметри надійності.

Пізнання складних систем вимагає побудови безлічі різних моделей, кожна з яких охоплює певний аспект проблеми. Зокрема, при вивченні надійності розглядають модель напрацювання до першої відмови, модель експлуатації невідновлюваних виробів для визначення ймовірних характеристик ресурсу і терміну служби складових частин, модель експлуатації виробу з кінцевим терміном відновлення для оцінки готовності виробу до виконання заданих функцій та ін.

Пожежний і аварійно-рятувальний автомобіль як динамічна фізична система, що складається з безлічі елементів (перебуваючи в різних відношеннях і зв'язках між собою, ці елементи утворюють визначену єдність і цілісність), змінює свій стан у часі й у різні періоди може знаходитися в різних станах: очікування, функціонування (руху або бойової роботи) і відновлення (оперативного або регламентного). Перехід системи з одного стану в інший викликаний різними факторами, які у загальному випадку є випадковими (виклик на пожежу, раптове відмовлення, дорожньо-транспортна подія (ДТП)).

З позиції надійності інтерес становить перехід машини з працездатного стану в непрацездатний і, навпаки, з непрацездатного у працездатний, тобто зворотні переходи системи. Система експлуатації пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів характеризується, головним чином, зворотними переходами (за винятком списання машини).

Як технічна система пожежний і аварійно-рятувальний автомобіль складається з безлічі елементів, взаємозалежних функціонально і взаємодіючих один з одним у процесі виконання певного кола завдань.

Функціональне з'єднання елементів у системі за принципом збереження працездатності поділяється на **послідовне** і **рівнобіжне**.

Послідовним називається з'єднання елементів у системі, за якого відмовлення кожного з них призводить до відмовлення системи. Ймовірність безвідмовної роботи системи $P_a(t)$ протягом часу t при послідовному з'єднанні елементів визначається за теоремою добутку ймовірностей незалежних подій:

$$P_a(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

де n – число послідовно з'єднаних елементів;

$P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -того елемента.

При послідовному з'єднанні елементів ймовірність безвідмовної роботи системи завжди є меншою за ймовірність безвідмовної роботи найменш надійного елемента.

Рівнобіжним називається таке з'єднання елементів у системі, за якого відмовлення системи настає тільки після відмови всіх елементів.

Ймовірність відмови системи $F_a(t)$ протягом часу t при рівнобіжному з'єднанні елементів визначається як добуток ймовірностей відмов цих елементів:

$$F_a(t) = \prod_{i=1}^m F_i(t),$$

де m – число рівнобіжно з'єднаних елементів;

$F_i(t)$ – ймовірність відмовлення i -того елемента системи.

Сума ймовірностей подій, що утворюють повну групу (відмов і безвідмовної роботи), завжди дорівнює одиниці, тобто

$$F(x) + P(x) = 1.$$

З урахуванням цього положення ймовірність безвідмовної роботи $P_a(t)$ при рівнобіжному з'єднанні елемента буде дорівнювати:

$$P_a(t) = 1 - \prod_{i=1}^m F_i(t).$$

З цього виразу випливає, що рівнобіжне з'єднання елементів є ефективним засобом підвищення надійності системи.

Можливе також **змішане з'єднання елементів у системі**. Безвідмовність системи у цьому випадку визначають за поданими вище формулами. Спочатку визначають ймовірність безвідмовної роботи для кожної групи паралельно з'єднаних елементів, приводячи систему зі змішаним з'єднанням до системи з послідовним з'єднанням елементів, потім оцінюють надійність цієї послідовної системи.

В інтересах забезпечення високого рівня надійності системи в конструкції можна створити тим чи іншим способом запас надійності (резерв). Резервування дозволяє з менш надійних елементів створювати більш надійні вироби.

Найбільш поширеним є **експлуатаційне резервування** (забезпечуване в експлуатації) надійності, що має ряд переваг перед **конструкційним резервуванням** (забезпечуваним при конструюванні виробу).

Ефективність експлуатаційного резервування залежить від того, що вибирається як **резерв**. Можливі три типові варіанти заміни:

– **перший варіант** – **заміна деталі або вузла**. Це рішення є найбільш простим, однак може супроводжуватися великими витратами часу на заміну, у зв'язку з необхідністю розбирання агрегату;

– **другий варіант** – **заміна агрегату з деталлю, що відмовила**. Рішення є близьким до оптимального, однак вимагає наявності обмінного фонду агрегатів;

– **третій варіант** – **заміна автомобіля з агрегатом, що відмовив, резервним автомобілем**. Це рішення застосовується у практичній діяльності пожежної охорони: викликана на пожежу чергова варта в більшості випадків має у своєму розпорядженні два (або більше) пожежних автомобілі основного призначення. У випадку відмови в дорозі одного автомобіля – другий продовжує рух до місця пожежі й організовує гасіння до прибуття підкріплення.

Практика показує, що експлуатаційне і конструкційне резервування – взаємодоповнюючі методи керування надійністю системи. Конструкційне резервування є зручним для попередження небезпечних (загроза безпеки руху) і повних (втрата рухливості) відмов, а для інших випадків – достатньо експлуатаційного резервування.

Говорячи про системний підхід до забезпечення надійності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів, не можна не зупинитися

на такому важливому факторі, як надійність діяльності водія в системі "людина-машина".

Водій – елемент у цій системі, що здійснює керування автомобілем і бере участь у підтриманні його у працездатному стані, тобто в забезпеченні експлуатаційної надійності, включаючи первинний контроль роботи машини.

Сучасні тенденції розвитку автомобілів є такими, що фізична праця з керування ними полегшується, а на перше місце висуваються підвищені вимоги до уважності та надійності професійної діяльності водія в умовах постійно зростаючого нервово-емоційного напруження.

При роботі водія можливе виникнення відмов, у тому числі гранично небезпечних, загрозливих для життя та здоров'я самого водія, особового складу, оточуючих, для існування автомобіля.

Під надійністю діяльності водія розуміють властивість зберігати параметри функціонування в межах, що забезпечують безпеку руху і роботи на пожежі за відповідних режимів руху й умов бойового використання автомобіля.

Від надійності діяльності водія залежить ймовірність безвідмовної роботи системи "людина – машина" $P(AB)$:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B),$$

де $P(A)$, $P(B)$ – ймовірності безвідмовної роботи відповідно автомобіля і водія.

Для забезпечення високої надійності існують наступні види впливів на водія: **безпосередні** (професійний добір, удосконалення методів навчання, системи підвищення кваліфікації й ін.) і **непрямі**: через елементи системи "автомобіль – дорога – середовище" (створення високого рівня активної і пасивної безпеки, дотримання ерго-технічних вимог, скорочення трудомісткості робіт з підтримання працездатності машини, застосування систем її внутрішнього діагностування і т.п.).

Для технічної служби МНС система "водій – автомобіль" є не більш ніж відповідною складовою частиною. Тому забезпечення надійності допускає синтезування одиничних систем: "водій – автомобіль" у сукупності підсистем, що забезпечують ефективність функціонування технічної служби гарнізону в цілому.

Під надійністю парку пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів розуміється його властивість виконувати задані оперативні функції, зберігаючи в часі у заданих межах значення встановлених експлуатаційних показників, що відповідають визначеним умовам використання.

На надійність парку впливає велике число факторів:

- **технічних** (надійність автомобілів та їхній віковий склад, кількість і якість запасних частин і експлуатаційних матеріалів, забезпеченість і стан гаражного і діагностичного устаткування й ін.);
- **технологічних** (фактична періодичність і якість технічного обслуговування і поточного ремонту, відповідність числа посад обслуговування фактичним потребам, наявність станції діагностування й ін.);
- **організаційних** (системи постачання запасними частинами, наявність фонду оборотних агрегатів, простої з різних причин);
- **соціальних** (забезпеченість кадрами, вік водіїв, стаж роботи за спеціальністю, кваліфікація і т.п.);
- **дорожніх і кліматичних** (стан доріг, температура, вологість, запиленість середовища);
- **оперативно-тактичних** (характер об'єктів, що захищаються, параметри надзвичайної ситуації, теплові потоки та інше).

Дія сукупності перерахованих факторів призводить до того, що надійність одного пожежного й аварійно-рятувального автомобіля не збігається з надійністю парку тих же машин, бо для парку надійність – це синонім безвідмовності.

Парк пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів, на відміну від одного автомобіля, не знає повних відмов: та або інша кількість автомобілів завжди знаходиться в бойовому розрахунку. Якщо автомобіль виходить з розрахунку через технічну несправність, то це можна вважати частковою відмовою тільки для даної пожежної частини.

Однак за рахунок введення в розрахунок резервного автомобіля бойова готовність частини може не порушитися.

Кількісна оцінка обраних (нормованих) показників надійності звичайно здійснюється на етапі розробки технічного завдання, як правило, розрахунковими методами з використанням інформації про роботу аналогічних вузлів і деталей.

Однак одержувані при цьому результати будуть орієнтовними, тому що при розрахунках використовуються математичні і структурні моделі, різні припущення, які не можуть цілком відобразити специфіку внутрішньої структури виробів (таких, наприклад, як пожежні

й аварійно-рятувальні автомобілі і властиві їм особливості функціонування). Тому остаточний висновок про фактичний рівень надійності може бути зроблений тільки на основі експерименту. Експериментальна оцінка надійності пожежної та аварійно-рятувальної техніки реалізується двома способами – **організацією випробувань і збором статистичних даних про роботу в умовах підконтрольної експлуатації**.

Спеціальні випробування пожежної й аварійно-рятувальної техніки дозволяють визначити з заданою точністю і вірогідністю значення показників надійності у знову розроблюваних і модернізованих виробках для внесення цих значень у НТД. На етапах виробництва техніки контролюється відповідність показників надійності вимогам, встановленим у НТД, вживаються відповідні заходи при незадовільних результатах (контрольні випробування).

Експлуатаційні випробування дозволяють установити фактичні показники надійності, виявити ненадійні елементи і розробити рекомендації з підвищення надійності, а також вирішити ряд експлуатаційних питань: розробити науково обґрунтовані режими технічної експлуатації (ТЕ) і ремонту пожежних та аварійно-рятувальних машин, розрахувати ремонтну базу, визначити склад і необхідний обсяг запчастин і т.п.

У цьому зв'язку надзвичайного значення набувають питання створення наукових основ випробувань пожежної й аварійно-рятувальної техніки. Таким чином, експериментальна оцінка надійності пожежної й аварійно-рятувальної техніки, вивчення відмов і причин їх виникнення є важливою ланкою системи керування надійністю.

Для оцінки фактичного рівня надійності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів необхідна статистична інформація про відмови і напрацювання автомобілів та їхніх елементів.

При розрахунку показників надійності виробів розрізняють **два види статистичних оцінок: точкові й інтервальні**.

Точкова оцінка є наближеним значенням шуканого показника, визначеного за статистичними даними.

Інтервальна оцінка вказує практично надійні межі для точкової оцінки, так звані довірчі інтервали. Щоб статистична оцінка давала краще наближення до оцінюваного параметра, вона повинна задовольняти вимогам спроможності, незміщеності й ефективності.

Оцінка вважається достовірною, якщо вона наближається до оцінюваного параметра за збільшення обсягу вибірки.

Оцінка називається незміщеною, якщо її математичне очікування дорівнює довірчому значенню оцінюваного параметра.

Ефективна оцінка має мінімальну дисперсію. Точність показників надійності в загальному випадку залежить від правильності вибору теоретичного закону розподілу досліджуваних характеристик і методу одержання оцінок параметрів. Параметри розподілу й оцінки показників надійності (точкові та інтервальні) можна підраховувати, використовуючи нормативні документи.

Для одержання незміщених оцінок довговічності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів потрібна наявність у вибірці достатньо великого відносного числа елементів, що досягли граничного стану. Обсяг вибірки в загальному випадку визначають залежно від величини відносної помилки (середнього значення досліджуваної випадкової величини, що задається з довірчою ймовірністю), а також закону її розподілу.

Для того, щоб отримані показники характеризували фактичну надійність пожежного й аварійно-рятувального автомобіля, вихідна статистична інформація повинна бути, насамперед, достовірною.

Фахівці, що займаються питаннями дослідження надійності пожежних і аварійно-рятувальних автомобілів, при підрахунку показників повинні проводити аналіз статистичної інформації, що надійшла з гарнізонів.

Мета такого аналізу – виключити одиничні, що різко виділяються, дані у вибірці на підставі міркувань технічного характеру або з використанням статистичних методів. Такі дані можуть бути результатом явних порушень умов експлуатації або помилок при обліку інформації.

При оцінці показників надійності не враховуються також залежні відмови, тобто такі, що виникли через відмови елементів цієї ж системи. При об'єднанні статистичної інформації, одержуваної з різних гарнізонів, рекомендується проводити аналіз однорідності статистичного матеріалу.

Неправильне задання критеріїв надійності, неуважне ставлення до всебічного аналізу відповідної статистичної інформації призводять до неправильних рішень у процесі інженерного проектування технічних систем взагалі та пожежної і аварійно-рятувальної техніки зокрема.

Інженерне проектування – це процес, у якому наукова і технічна інформація використовується для створення нової системи, пристрою або машини, що приносять суспільству певну користь.

Проектування – процес складання опису, необхідного для створення ще не існуючого об'єкта (алгоритму його функціонування або алгоритму процесу), шляхом перетворення первинного опису, оптимізації заданих характеристик об'єкта (або алгоритму його функціонування), усунення некоректності первинного опису і послідовного представлення описів різними мовами.

Проект (від латинського *projectus* – кинутий уперед) – це сукупність документів і описів на різних мовах (графічна частина – креслення, схеми, діаграми і графіки; математична – формули і розрахунки; частина інженерних термінів і понять – тексти описів, пояснювальні записки), необхідної для створення якого-небудь спорудження або виробу.

До основних методів проектування можна умовно віднести наступні методи:

- прямі аналітичні методи синтезу (розроблені для ряду простих типових механізмів);

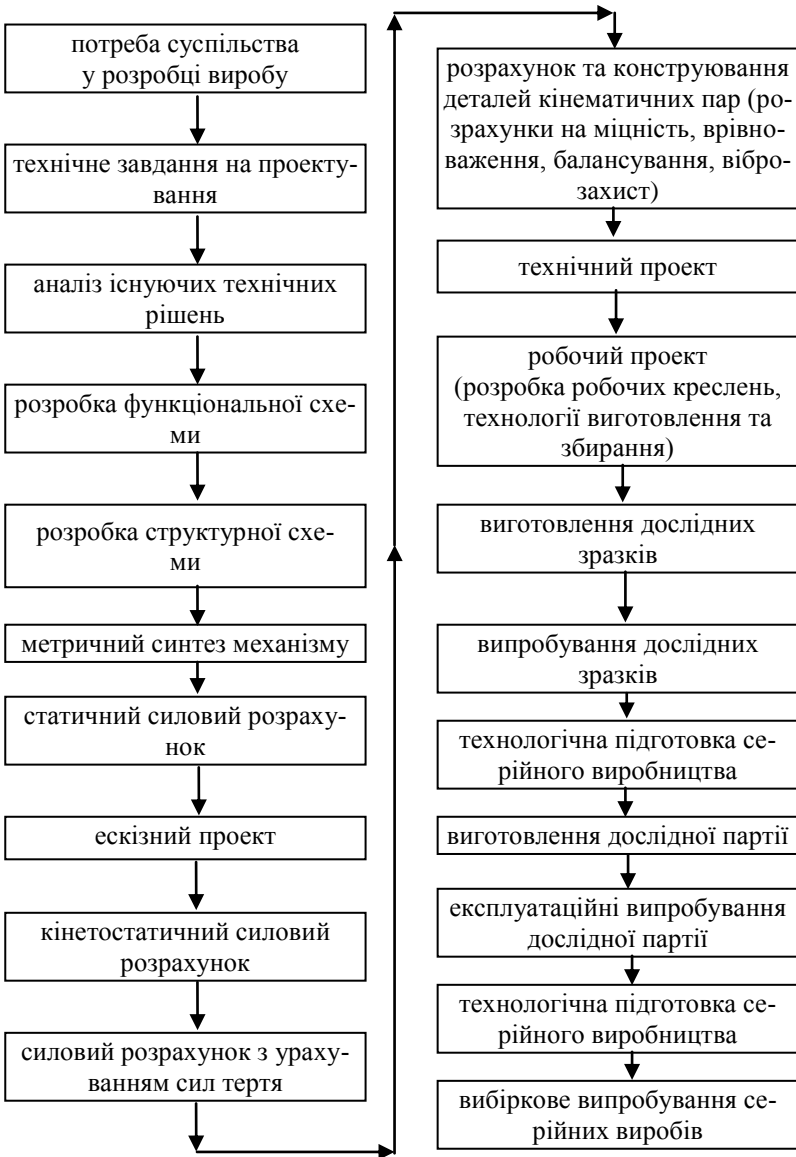
- евристичні методи проектування - вирішення задач проектування на рівні винаходів (наприклад, алгоритм вирішення винахідницьких задач);

- синтез методами аналізу – перебирання можливих рішень за певною стратегією (наприклад, за допомогою генератора випадкових чисел - метод Монте-Карло) із проведенням порівняльного аналізу за сукупністю якісних і експлуатаційних показників (часто використовуються методи оптимізації, тобто мінімізація сформульованої розробником цільової функції, що визначає сукупність якісних характеристик виробу);

- системи автоматизованого проектування або САПР - комп'ютерне програмне середовище, яке моделює об'єкт проектування і визначає його якісні показники, після ухвалення рішення (вибір проектувальником параметрів об'єкта), система в автоматизованому режимі видає проектну документацію.

Далі наведено основні етапи процесу проектування стосовно інженерно-технічних систем.

ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ



Складність та багатогранність завдань проектування пожежних та аварійно-рятувальних машин та відповідних технічних засобів, забезпечення їх надійності в експлуатації вимагає від фахівця всебічного системного аналізу сучасних особливостей науково-технічного прогресу, знань про технічні системи, їх елементи, знання основ інженерного та художнього конструювання, технологій виробництва, ергономічних вимог до продукції, вміння працювати з джерелами науково-технічної інформації та оформляти результати науково-дослідних та конструкторських робіт.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ ПРО ТЕХНІЧНУ СИСТЕМУ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТИ

Початок технічного розвитку людства, який ознаменувався винайденням перших найпростіших механізмів, губиться в сивій давнині. Першоджерелом, з якого виникли при зародженні механіки її основні поняття і закони, були безпосередні спостереження, повсякденний досвід і виробнича діяльність людини.

Короткий огляд історії науки про проектування механізмів і машин порівняно з періодом розвитку людства дозволяє визначити відповідні етапи її стрімкого розвитку.

Перші закони механіки понад дві тисячі років тому сформулював Архімед (287 - 212 рр. до н.е.), який створив основи вчення про рівновагу твердих тіл та рідин і започаткував перший період розвитку механіки.

Цей період – період емпіричного машинобудування – продовжувався до початку XIX сторіччя. В цей час винахідники створюють велику кількість простих машин і механізмів: підйомники, млини, каменедробарки, ткацькі і токарні верстати, парові машини. Перше наукове уявлення про закони руху падаючих тіл дав на початку XV ст. видатний художник і вчений Леонардо да Вінчі (1452 - 1519 рр.). Геніальний вчений Галілео Галілей (1564 - 1642 рр.) заклав основи динаміки, а Ісаак Ньютон (1643 - 1727 рр.) створив систему основних законів механіки.

Під час другого періоду – від початку до середини XIX сторіччя – розробляються такі розділи механіки як кінематична геометрія механізмів, кінетостатика, створюється класифікація механізмів за функцією перетворення руху. Відомий математик і механік М.В. Остроградський (1801 - 1862 рр.) встановив один з основних принципів механіки – принцип найменшої дії, а академік П.Л. Чебишев (1821 - 1894 рр.) розробив основи теорії механізмів і машин.

За третій період – від другої половини XIX сторіччя до початку XX сторіччя – було розроблено: основи структурної теорії та основи теорії регулювання машин, основи аналітичної теорії зачеплення, структурну класифікацію і структурний аналіз механізмів, метод планів швидкостей і прискорень та багато інших розділів теорії механізмів і машин (ТММ).

Четвертий період - від початку XX сторіччя до цієї пори – відзначився бурхливим розвитком техніки, теоретичних і прикладних

досліджень та узагальнюючими роботами з теорії механізмів і машин І.І. Артоблевського (1905 - 1977) та розробкою сучасних методів аналізу до технічних систем.

1.1 Технічна система

Технічна система (рис. 1.1) – це обмежена область реальної дійсності, яка взаємодіє з навколишнім середовищем U , виконує визначені функції F і має структуру S .

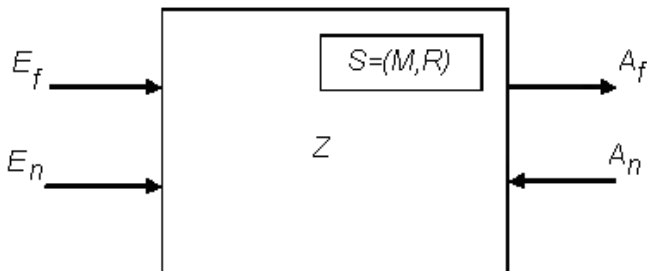


Рис. 1.1 – Схема технічної системи

де E_f , A_f – параметри, що характеризують функції F системи;
 E_n , A_n – параметри, що не відносяться до функцій приладу
(умови роботи, зовнішні і додаткові впливи);

Z – системний оператор;

M – елементи системи;

R – відносини між елементами системи.

Навколишнє середовище U – це сукупність зовнішніх об'єктів, які взаємодіють із системою.

Функція F – це властивість системи, використана для перетворення вхідних величин E_f при зовнішніх і додаткових впливах A_n і умовах роботи E_n , у вихідні величини A_f .

Функція має об'єктивно-вимірювану властивість, що може бути охарактеризована параметрами системи.

Структура S – це сукупність елементів M і відношень R між ними усередині системи $S = (M, R)$. Елемент системи при проектуванні розглядається як одне ціле, хоча він може мати різний ступінь складності.

Якщо при розгляді елемента не приймається до уваги його форма і внутрішня будова, а розглядається тільки виконувана ним функція, то такий елемент називається функціональним.

Для механічної системи елементами можуть бути: деталь, ланка, група, вузол, простий або типовий механізм.

Деталь – це елемент конструкції, який не має у своєму складі внутрішніх зв'язків, тобто складається з одного твердого тіла.

Ланка - це тверде тіло або система жорстко зв'язаних твердих тіл, яка входить до складу механізму і може складатися з однієї або декількох деталей.

Група – це кінематичний ланцюг, що складається з рухомих ланок, зв'язаних між собою кінематичними парами, і який відповідає деякій заданій функції.

Вузол – це кілька деталей, зв'язаних між собою функціонально, конструктивно або яким-небудь іншим чином. З погляду системи вузли, групи, прості або типові механізми розглядаються як підсистеми. Найнижчим рівнем розбивки системи при конструюванні є рівень деталей, а при проектуванні – рівень ланок. Елементи із системи можна виділити тільки після визначення між ними взаємозв'язків.

Розташування – це такі відношення між елементами, що описують їх геометричні відносні положення.

Зв'язки – це відношення між елементами, які призначені для передачі між ними матеріалу, енергії або інформації.

Зв'язки можуть здійснюватися за допомогою різних фізичних засобів: механічних з'єднань, електромагнітних або інших полів, рідин, пружних елементів.

Механічні з'єднання можуть бути нерухомими і рухомими, які утворюють кінематичні пари.

1.1.1 Механізми та їх елементи

Проаналізуємо визначення механізмів та їх елементів як складових відповідної технічної системи.

Механізмом називається система, що складається з ланок і кінематичних пар, що утворюють замкнуті або розімкнуті ланцюги, і призначена для передачі та перетворення переміщень вхідних ланок і прикладених до них сил у необхідні переміщення і сили на вихідних ланках.

Вхідні ланки – це ланки, яким надається заданий рух і відповідні силові фактори (сили або моменти).

Вихідні ланки - це ті, на яких відповідно до функції механізму одержують необхідний рух і сили.

У цих визначеннях та далі використовуються поняття, що не були визначені раніше:

– **кінематична пара** – це рухоме з'єднання двох ланок, яке допускає їх визначений відносний рух;

– **стійка** – це ланка, яка при дослідженні механізму приймається за нерухому;

– **число ступенів вільності** або **рухливість механізму** – це число незалежних узагальнених координат, що однозначно визначають положення всіх його ланок на площині або в просторі.

Системи матеріальних тіл (точок), положення і рухи яких обмежені деякими геометричними або кінематичними залежностями, що є наперед заданими і не залежать від початкових умов і заданих сил, називаються невольними. Обмеження, які накладено на систему і роблять її невольною, називаються **в'язями**.

Положення точок системи, що допускаються накладеними на неї в'язями, називаються можливими.

Незалежні одна від одної величини q_1, q_2, \dots, q_n , які цілком і однозначно визначають можливі положення системи в довільний момент часу, називаються узагальненими координатами системи.

1.1.2 Класифікація механізмів

Типовими механізмами будемо називати прості механізми, що при функціонально різному призначенні широко застосовуються в машинах, для яких розроблені типові методи й алгоритми синтезу й аналізу.

Наведемо, як приклад, кривошипно-повзунковий механізм.

Цей механізм широко застосовується в різних машинах: двигунах внутрішнього згорання, поршневих компресорах і насосах, верстатах, кувальних машинах і пресах.

У кожному варіанті функціонального призначення при проектуванні необхідно враховувати специфічні вимоги до цього механізму.

Однак математичні залежності, що описують структуру, геометрію, кінематику і динаміку механізму, при різних видах застосування будуть практично однаковими.

Механізми класифікуються за наступними ознаками.

За сферою застосування і функціональним призначенням – механізми літальних апаратів, верстатів, ковальських машин і пресів, двигунів внутрішнього згоряння та промислових роботів (маніпулятори), механізми компресорів, насосів і так далі.

За видами передавальної функції на механізми: з постійною або змінною передатною функцією, яка, у свою чергу, може бути нерегульованою або регульованою зі східчастим (коробки передач) чи з безступінчастим регулюванням (варіатори).

За видом перетворення руху на механізми, які перетворюють обертальний рух в обертальний (редуктори $\omega_{ex} > \omega_{вих}$; мультиплікатори $\omega_{ex} < \omega_{вих}$; муфти $\omega_{ex} = \omega_{вих}$), обертальний рух в поступальний, поступальний рух в обертальний, поступальний рух в поступальний.

За рухом і розташуванням ланок у просторі – на механізми просторові, плоскі та сферичні. Усі механізми є просторовими (рис. 1.2), однак частина механізмів, ланки яких рухаються у рівнобіжних площинах, є одночасно і плоскими, а інша частина механізмів, ланки яких рухаються по еквідистантних сферичних поверхнях, є одночасно і сферичними.



Рис. 1.2 – Просторові механізми

За змінюваністю структури механізму - на механізми з незмінною та зі змінюваною структурою. У процесі роботи кривошипно-повзункового механізму насоса його структурна схема увесь час залишається незмінною. У механізмах маніпуляторів у процесі роботи структурна схема механізму може змінюватися. Так, якщо промисловий робот виконує складальні операції, наприклад, вставляє циліндричну деталь в отвір, то при транспортуванні деталі його маніпуля-

тор є механізмом з відкритим або розімкнутим кінематичним ланцюгом. У той момент, коли деталь вставлено в отвір, кінематичний ланцюг замикається, структура механізму змінюється, рухомість зменшується на число зв'язків у знову утвореній кінематичній парі деталь-стійка (рис. 1.3).

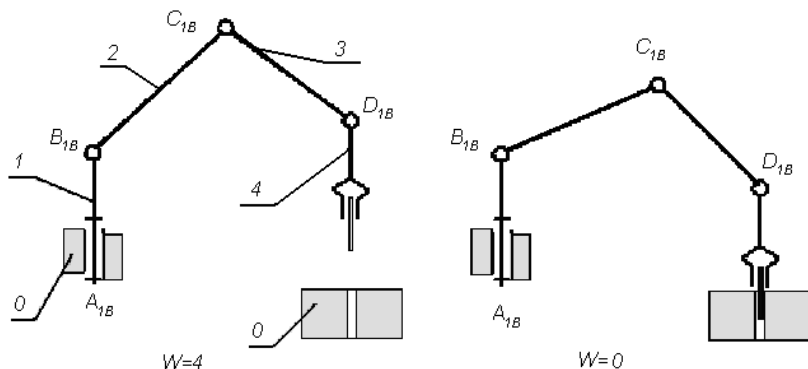


Рис. 1.3 – Структура механізму маніпулятора

Структура маніпулятора змінюється і тоді, коли в одній або декількох кінематичних парах включається гальмо. Тоді рухоме з'єднання двох ланок замінюється нерухомим, дві ланки перетворюються в одну. На рис. 1.4 гальмо включене в парі С.

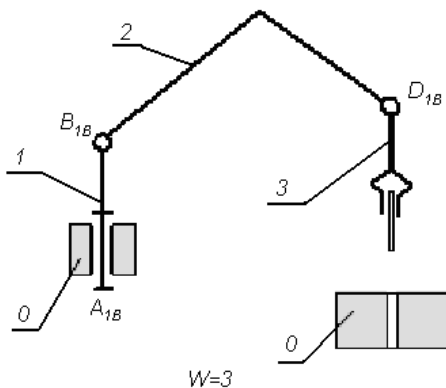


Рис. 1.4 – Рухоме та нерухоме з'єднання ланок механізму маніпулятора

За ступенем рухомості (рис. 1.5) – на механізми з одним ($W=1$) або з декількома ступенями рухливості ($W>1$) - підсумовуючі (інтегральні) та поділяючі (диференціальні).

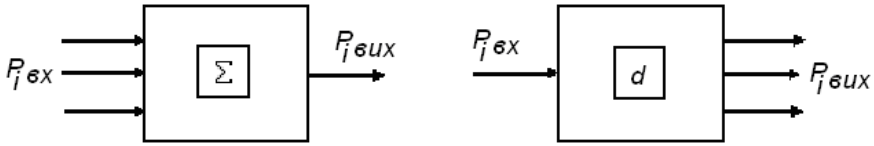


Рис. 1.5 – Класифікація механізмів за рухливістю

За видом кінематичних пар (КП) – на механізми з нижчими (усі КП механізму нижчі), з вищими КП (хоча б одна КП - вища) та з шарнірними (усі КП механізму – циліндричні шарніри).

За способом передачі та перетворення потоку енергії механізми поділяються на: фрикційні (за рахунок тертя), зачепленням (зубчасті), хвильові (створення хвильової деформації) та імпульсні.

За формою, конструктивним виконанням і рухом ланок: підйомні або важільні (рис. 1.6), зубчасті (рис. 1.7), кулачкові (рис. 1.8), планетарні (рис. 1.9) та маніпулятори (рис. 1.3 - 1.4).

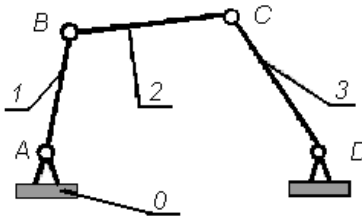


Рис. 1.6 – Приклад важільного механізму

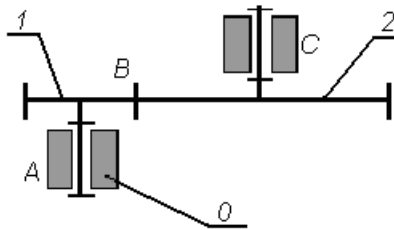


Рис. 1.7 – Приклад зубчастого механізму

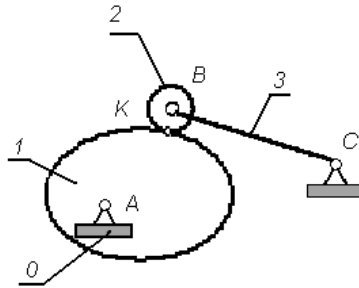


Рис. 1.8 – Приклад кулачкового механізму

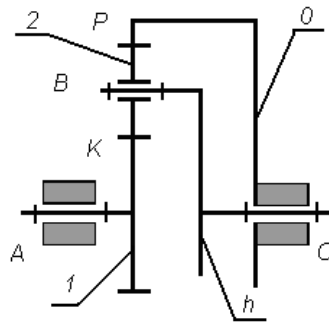


Рис. 1.9 – Приклад планетарного механізму

1.1.3 Класифікація кінематичних пар

Кінематичні пари класифікують за наступними ознаками.

За видом місця контакту (зв'язку) поверхонь ланок:

- нижчі, в яких контакт ланок здійснюється по площині або поверхні (пари ковзання);
- вищі, в яких контакт ланок здійснюється по лініях або точках (пари, що допускають ковзання з перекочуванням).

За відносним рухом ланок, що утворять пари, – обертальні, поступальні, гвинтові, плоскі та сферичні.

За способом замикання (забезпечення контакту ланок пари) - силове (за рахунок дії сил ваги або сили пружності пружини) та геометричне (за рахунок конструкції робочих поверхонь пари) (рис. 1.10).

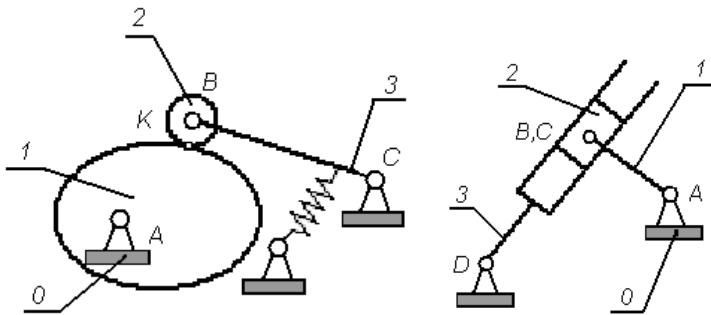


Рис. 1.10 – Приклади способу замикання КП

За числом зв'язків (табл. 1.1), що накладаються на відносний рух ланок (число умов зв'язку визначає клас кінематичної пари).

За числом рухомостей (табл. 1.1) у відносному русі ланок.

Таблиця 1.1 – Класифікація кінематичних пар за числом зв'язків і за рухливістю

Клас пари	Число зв'язків	Рухливість пари	Просторова схема (приклад)	Умовні позначення
I	1	5		
II	2	4		

Продовження таблиці 1.1

III	3	3		
IV	4	2		
V	5	1		

Примітка. Стрілки на координатних осях показують можливі кутові і лінійні відносні переміщення ланок. Якщо стрілку перекреслено, то даний рух у кінематичній парі заборонено (тобто на нього накладений зв'язок).

1.1.4 Машини та їх класифікація

Машина – це технічний пристрій, що виконує перетворення енергії, матеріалів та інформації, з метою полегшення фізичної і розумової праці людини, підвищення її якості і продуктивності.

Існують наступні види машин:

1. **Енергетичні машини** перетворюють енергію одного виду в енергію іншого виду. Ці машини бувають двох різновидів:

– **двигуни** (рис. 1.11), що перетворюють будь-який вид енергії в механічну (наприклад, електродвигуни перетворюють електричну енергію, двигуни внутрішнього згоряння перетворюють енергію розширення газів при згорянні в циліндрі);

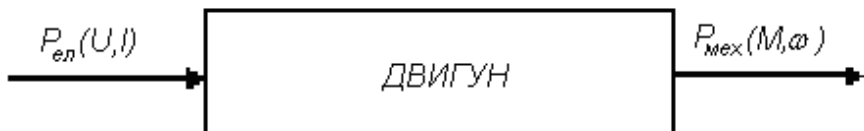


Рис. 1.11 – Двигун

– **генератори** (рис. 1.12), що перетворюють механічну енергію в енергію іншого виду (наприклад, електрогенератор перетворює механічну енергію парової або гідравлічної турбіни в електричну).



Рис. 1.12 – Генератор

2. **Робочі машини** – це машини, що використовують механічну енергію для здійснення роботи з переміщення і перетворення матеріалів. Ці машини теж мають два різновиди:

– **транспортні машини** (рис. 1.13), що використовують механічну енергію для зміни положення об'єкта (його координат);



Рис. 1.13 – Транспортна машина

– **технологічні машини** (рис. 1.14), що використовують механічну енергію для перетворення форми, властивостей, розмірів і стану об'єкта.



Рис. 1.14 – Технологічна машина

3. **Інформаційні машини** – це машини, призначені для обробки і перетворення інформації. Вони поділяються на:

– **математичні машини** (рис. 1.15), що перетворюють вхідну інформацію у математичну модель досліджуваного об'єкта;

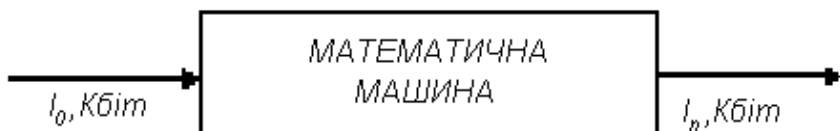


Рис. 1.15 – Обчислювальна машина

– **контрольно-керуючі машини** (рис. 1.16), що перетворюють вхідну інформацію (програму) у сигнали керування робочою або енергетичною машиною.

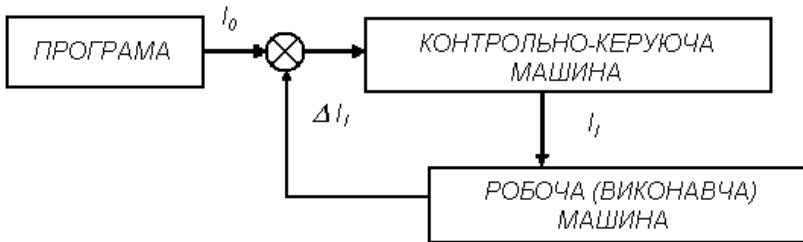


Рис. 1.16 – Схема ЕОМ

4. **Кібернетичні машини** (рис. 1.17) – це машини, які керують робочими або енергетичними машинами і здатні змінювати програму своїх дій залежно від стану навколишнього середовища (тобто машини, які мають елементи штучного інтелекту).

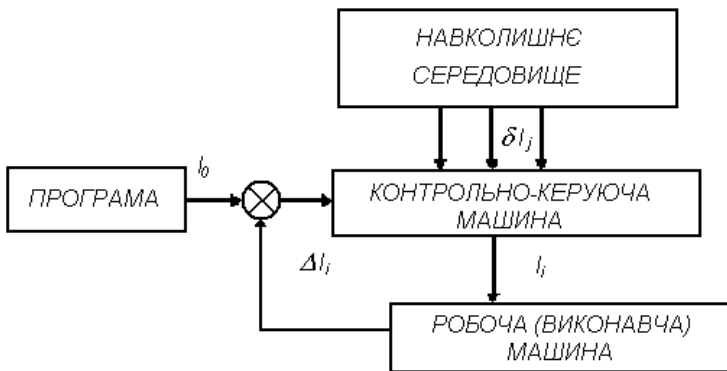


Рис. 1.17 – Схема кібернетичної машини

Розвиток промисловості обумовив необхідність створення потужних виробничих комплексів, де одночасно за відповідною програмою працюють декілька машин різного призначення, які складають машинний агрегат.

Машинним агрегатом (рис. 1.18) називається технічна система, що складається з однієї або декількох з'єднаних послідовно або паралельно машин і призначена для виконання яких-небудь необхідних функцій.

Звичайно, до складу машинного агрегату входять: двигун, передавальний механізм і робоча або енергетична машина.

Передавальний механізм у машинному агрегаті необхідний для узгодження механічних характеристик двигуна з механічними характеристиками робочої або енергетичної машини.

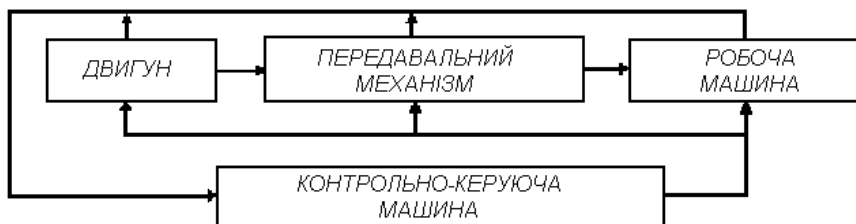


Рис. 1.18 – Схема машинного агрегату

На сьогодні до складу машинного агрегату часто включається контрольно-керуюча або кібернетична машина.

1.1.5 Моделі технічних систем

Модель (від лат. *modulus* - зразок) – це фізичний пристрій або умовний образ (схема, креслення, система рівнянь і т.п.) якогось об'єкта або явища (оригіналу даної моделі), що адекватно (відповідно до прийнятих припущень) відбиває його досліджувані властивості і використовується як заступник об'єкта в науковій або іншій цілях (рис. 1.19).

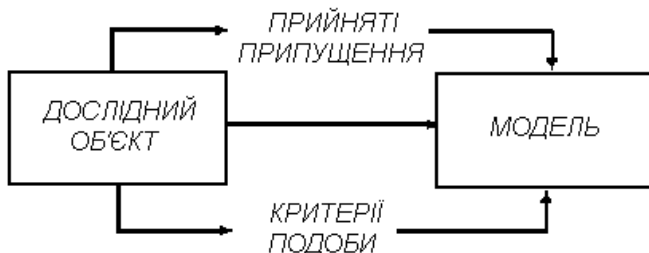


Рис. 1.19 – Схема складання моделі

Види моделей за формою подання бувають фізичними або математичними (аналоговими і цифровими).

За призначенням види моделей поділяють на функціональні, структурні, геометричні, кінематичні та динамічні.

За методом дослідження моделі механізмів бувають енергетичними, графічними, експериментальними, числовими, графічно-аналітичними та кінетико-статичними.

При сучасному розвитку електронно-обчислювальної техніки та математичного забезпечення дослідження механізмів здебільшого виконуються на математичних моделях, що не виключає, якщо у цьому є потреба, створення та випробування їх фізичних моделей.

1.2 Основні поняття структурного аналізу й синтезу

Як відзначалося вище, структура будь-якої технічної системи визначається функціонально зв'язаною сукупністю елементів і відношень між ними.

Геометрична структура механізму повністю описується заданням геометричної форми його елементів, їхнього розташування та виду зв'язків між ними. Структура механізму на різних стадіях проектування може описуватися різними засобами, з різним рівнем абстрагування: на функціональному рівні – це функціональна схема, на рівні ланок і структурних груп – це структурна схема і тому подібне.

Функціональну схему довбального верстата (рис. 1.20) розроблено на рівні типових механізмів. Вона відбиває структуру механізму у вигляді послідовного і рівнобіжного з'єднання простих або типових механізмів.

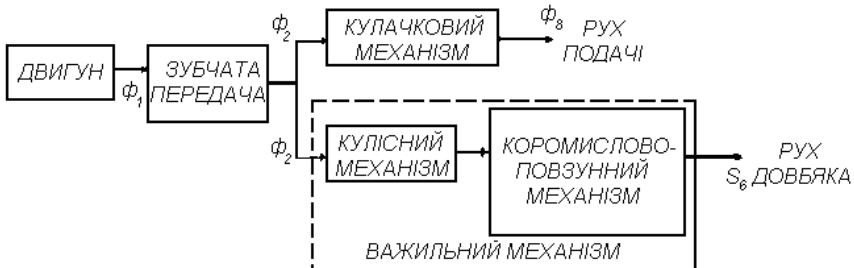


Рис. 1.20 – Функціональна схема на рівні типових механізмів

У цьому механізмі обертальний рух вала двигуна ϕ_1 перетворюється на погоджені рухи подачі ϕ_8 і довбняка S_6 . При цьому меха-

нічна енергія двигуна перетвориться: швидкісні складові енергетичного потоку за величиною зменшуються, а силові – збільшуються.

Структурні елементи (типові механізми) у цій схемі зв'язані між собою нерухливими з'єднаннями - муфтами.

Функціональна схема демонструє, з яких простих механізмів складається досліджуваний об'єкт, як ці механізми є взаємозалежними між собою (послідовно або паралельно), як відбувається перетворення вхідних рухів у вихідні (у цьому прикладі ϕ_1 в ϕ_8 і S_6).

Структурна схема – це графічне зображення механізму, виконане з використанням умовних позначок, рекомендованих чинним стандартом або прийнятими у спеціальній літературі, що містить інформацію про число і розташування елементів (ланок, груп), а також про вид і клас кінематичних пар, що з'єднують ці елементи. На відміну від кінематичної схеми механізму, структурна схема не містить інформації про розміри ланок і виконується без дотримання масштабів.

На будь-якому етапі проектування при структурному дослідженні механізмів розрізняють задачі синтезу і задачі аналізу.

Задачею структурного аналізу є задача визначення параметрів структури заданого механізму: кількості ланок і структурних груп, числа і виду КП, ступеня рухливості, кількості контурів і пасивних зв'язків.

Задачею структурного синтезу є задача синтезу структури нового механізму, що має задані властивості: ступінь рухливості, відсутність пасивних зв'язків, мінімум числа ланок з парами певного виду (наприклад, тільки обертальними як найбільш технологічними), тощо.

Рухливість механізму відповідна числу незалежних узагальнених координат, які однозначно визначають положення ланок механізму на площині або у просторі.

Зв'язки (пов'язі) – це обмеження, накладені на переміщення тіла по тій або іншій координаті.

Надлишкові (пасивні) – це такі зв'язки в механізмі, що повторюють або дублюють зв'язки, що вже є за даною координатою, і такі, що не змінюють реальної рухливості механізму.

Місцеві рухливості – це рухливості механізму, що не впливають на його функцію положення і передатні функції, а введені в механізм з іншими цілями (наприклад, рухливість ролика в кулачковому механізмі (рис. 1.8) забезпечує заміну у вищій парі тертя ковзання тертям кочення).

Структурну формулу для визначення кількості ступенів вільності (W) для плоского механізму можна записати в узагальненому вигляді:

$$W = 3(k - 1) - (2P_H + P_B - q_{\Pi}),$$

де k - загальне число ланок механізму разом із нерухливою ланкою (стійка); P_H - кількість нижчих кінематичних пар; P_B - кількість вищих кінематичних пар; q_{Π} - кількість пасивних зв'язків.

Аналогічною є формула для просторового механізму:

$$W = 6(k - 1) - (5P_V + 4P_{IV} + 3P_{III} + 2P_{II} + P_I) + q_{\Pi},$$

де $P_V, P_{IV}, P_{III}, P_{II}, P_I$ - кількість кінематичних пар, відповідно, п'ятого, четвертого, третього, другого і першого класу в механізмі;

k - загальне число ланок механізму разом із нерухливою ланкою (стійка);

q_{Π} - кількість пасивних зв'язків.

Розробку структурних формул для плоских механізмів виконав Чебишев П.Л., а для просторових – Сомов П.О.

1.2.1 Поняття про геометричні і кінематичні характеристики механізмів

Функцією положення механізму називається залежність кутового або лінійного переміщення точки або ланки механізму від часу або узагальненої координати.

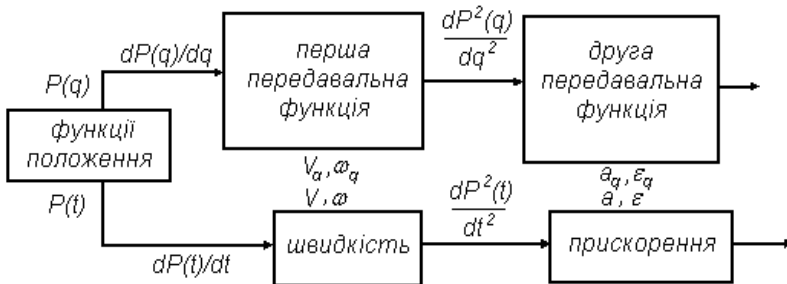


Рис. 1.21 – Геометричні і кінематичні характеристики механізму

Кінематичними передатними функціями механізму називаються похідні від функції положення за узагальненою координатою. Перша похідна називається першою передатною функцією або аналогом

швидкості (позначається V_q, ω_q), друга похідна називається другою передатною функцією або аналогом прискорення (позначається a_q, ε_q).

Кінематичними характеристиками механізму (рис. 1.21) називаються похідні від функції положення за часом. Перша похідна називається швидкістю (позначається V, ω), друга – прискоренням (позначається a, ε).

Механізм з однією рухливістю має один заданий вхідний рух і незліченну безліч вихідних (рух будь-якої ланки або точки механізму). Передатні функції тих рухів, що у даному випадку використовуються як вихідні, називаються головними, інші – допоміжними.

Розглянемо схему механічної системи, утвореної послідовно-рівнобіжним з'єднанням типових механізмів (рис. 1.22). Схема включає вхідну ланку, зубчасту передачу, кулачковий і підйомний механізми і має дві вихідні ланки. Функції положення в механізмах системи наведено на рис. 1.23.

Існують декілька методів геометрично-кінематичного дослідження механізмів: побудова планів положень, швидкостей і прискорень, проєкцій векторного контуру, кінематичних діаграм, центроїд, перетворення координат і експериментальний.

Зв'язок кінематичних і передатних функцій визначається наступними залежностями:

- для лінійної швидкості:

$$V_L = dS_L/dt = (dS_L/d\phi_1) \cdot (d\phi_1/dt) = V_{qL} \cdot \omega_1;$$

- для лінійного прискорення:

$$\begin{aligned} a_L = d(V_{qL} \cdot \omega_1)/dt &= (dV_{qL}/d\phi_1) \cdot (d\phi_1/dt) \cdot \omega_1 + V_{qL} \cdot \varepsilon_1 = \\ &= a_{qL} \cdot \omega_1^2 + V_{qL} \cdot \varepsilon_1; \end{aligned}$$

- для кутової швидкості:

$$\omega_i = d\phi_i/dt = (d\phi_i/d\phi_1) \cdot (d\phi_1/dt) = \omega_{qi} \cdot \omega_1;$$

- для кутового прискорення:

$$\varepsilon_i = d(\omega_{qi} \cdot \omega_1)/dt = (d\omega_{qi}/d\phi_1) \cdot (d\phi_1/dt) \cdot \omega_1 + \omega_{qi} \cdot \varepsilon_1 = \varepsilon_{qi} \cdot \omega_1^2 + \omega_{qi} \cdot \varepsilon_1.$$

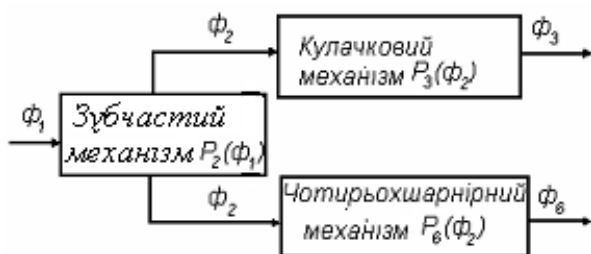
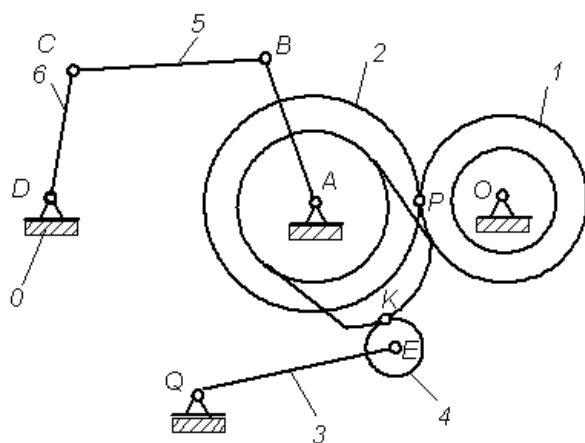


Рис. 1.22 – Схема механічної системи

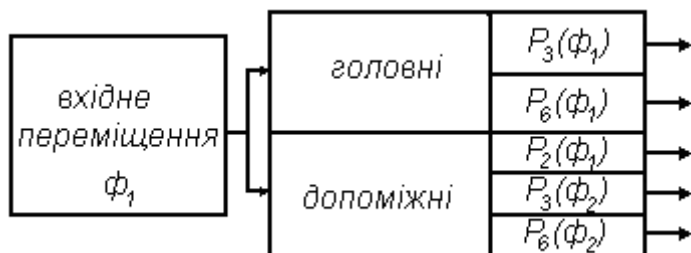


Рис. 1.23 – Функції положення в механізмах

Розглянемо (рис. 1.24) найпростіший кулісний механізм (підйомні механізми).

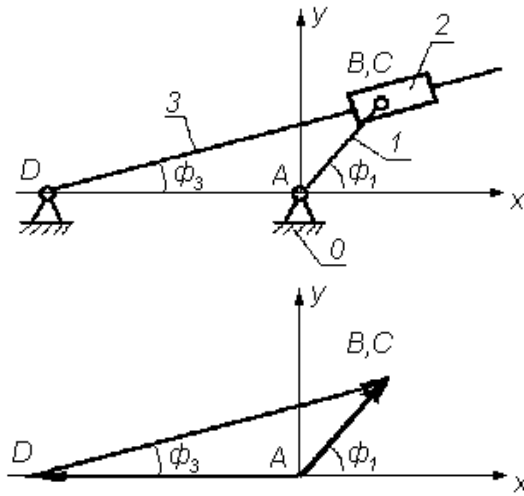


Рис. 1.24 – Найпростіший кулісний механізм

Застосуємо для його дослідження метод проєкцій векторного контуру. Замінімо кінематичну схему механізму еквівалентним векторним контуром. Тоді рівняння замкнутості векторного контуру запишеться

$$\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AD} + \vec{l}_{DB}.$$

Проектуємо векторний контур на осі координат і одержуємо координати точки B механізму:

$$\begin{aligned} x_B &= l_{AB} \cdot \cos(\phi_1) = l_{AD} \cdot \cos(\pi) + l_{DB} \cdot \cos(\phi_3); \\ y_B &= l_{AB} \cdot \sin(\phi_1) = l_{AD} \cdot \sin(\pi) + l_{DB} \cdot \sin(\phi_3) \square \square. \end{aligned}$$

З вирішення цієї системи рівнянь визначаємо невідомі величини ϕ_3 і l_{DB} , що визначають положення ланок і точок механізму

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\phi_3) &= \sin(\phi_3) / \cos(\phi_3) = l_{AB} \cdot \sin(\phi_1) / (l_{AB} \cdot \cos(\phi_1) + l_{AD} \cdot \cos(\pi)); \\ l_{DB} &= (l_{AB} \cdot \sin(\phi_1)) / \sin(\phi_3). \end{aligned}$$

Продиференціюємо рівняння проекцій векторного контуру за узагальненою координатою й одержимо:

$$V_{qBx} = -l_{AB} \cdot \sin(\phi_1) = V_{qDB} \cdot \cos(\phi_3) + l_{DB} \cdot \omega_{q3} \cdot \sin(\phi_3);$$

$$V_{qBy} = l_{AB} \cdot \cos(\phi_1) = V_{qDB} \cdot \sin(\phi_3) + l_{DB} \cdot \omega_{q3} \cdot \cos(\phi_3).$$

З цієї системи рівнянь визначаємо перші передатні функції V_{qB} і ω_{q3} .

Вдруге продиференціюємо рівняння проекцій векторного контуру за узагальненою координатою й одержимо:

$$a_{qBx} = -l_{AB} \cdot \cos(\phi_1) = a_{qDB} \cdot \cos(\phi_3) - 2 V_{qDB} \cdot \omega_{q3} \cdot \sin(\phi_3) - l_{DB} \cdot \varepsilon_{q3} \cdot \sin(\phi_3) - l_{DB} \cdot \omega_{q3}^2 \cdot \cos(\phi_3);$$

$$a_{qBy} = -l_{AB} \cdot \sin(\phi_1) = a_{qDB} \cdot \sin(\phi_3) + 2 V_{qDB} \cdot \omega_{q3} \cdot \cos(\phi_3) + l_{DB} \cdot \varepsilon_{q3} \cdot \cos(\phi_3) - l_{DB} \cdot \omega_{q3}^2 \cdot \sin(\phi_3).$$

З цієї системи рівнянь визначаємо другі передатні функції a_{qdb} і ε_{q3} .

Діаграми функції положення ϕ_3 , першої ω_{q3} та другої ε_{q3} передавальних функцій наведено на рис. 1.25.

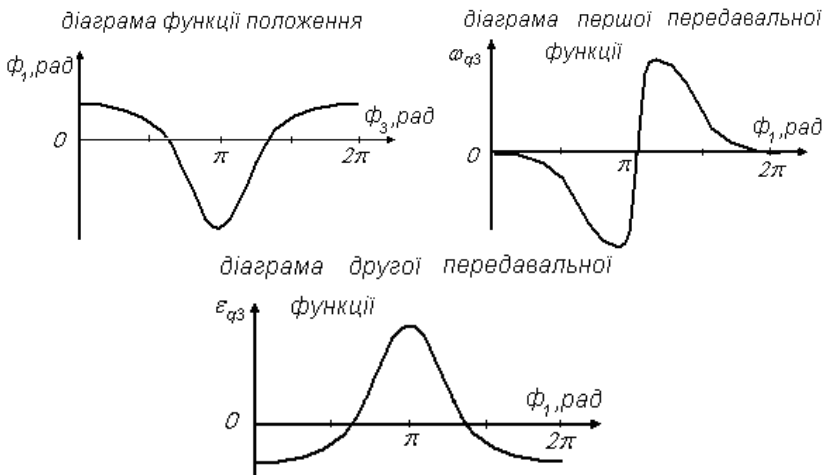


Рис. 1.25 – Графічне визначення кінематичних характеристик

Розглянемо метод побудови циклових кінематичних (геометричних) діаграм для кулісного механізму.

Циклом називається період часу зміни узагальненої координати, після закінчення якого усі параметри системи приймають первісні значення. Тому значення величин на початку і наприкінці циклу є однаковими (рис. 1.25).

Дослідження зубчастих передач (рис. 1.26) відбувається за допомогою методу центроїд. Центроїдою називається геометричне місце центрів (поліусів) відносного обертання в системах координат, зв'язаних з ланками механізму. У зубчастому механізмі при передачі руху центроїди коліс перекочуються одна по одній без ковзання.

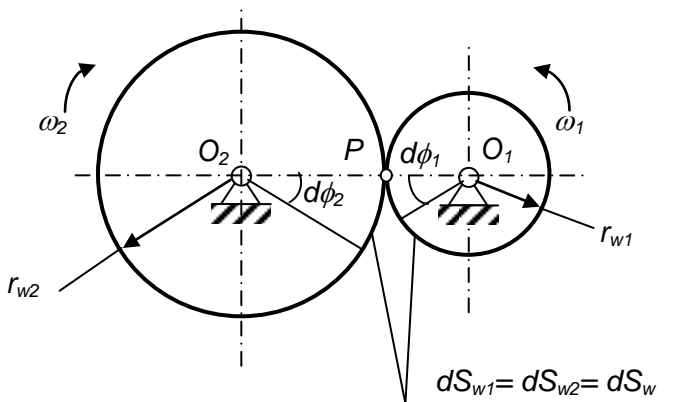


Рис. 1.26 – Схема зубчастого механізму

Повернемо тягове колесо на малий кут $d\phi_1$, тоді тяжне колесо повернеться на кут $d\phi_2$. Оскільки центроїди або початкові окружності коліс перекочуються одна по одній без ковзання, то дуга dS_{w1} буде дорівнювати дузі dS_{w2} . Тоді можна записати наступну рівність:

$$dS_{w1} = dS_{w2} = dS_w,$$

де $dS_{w1} = r_{w1} \cdot d\phi_1$ та $dS_{w2} = r_{w2} \cdot d\phi_2$.

Звідки

$$u_{21} = d\phi_2 / d\phi_1 = r_{w1} / r_{w2} = \text{const.}$$

Функція положення для вихідної ланки зубчастої передачі:

$$\varphi_2 = \int_0^{\varphi_1} u_{21} \cdot d\varphi_1 = u_{21} \cdot \varphi_1.$$

Друга передатна функція для вихідної ланки зубчастої передачі:

$$\varepsilon_{q2} = du_{21}/d\varphi_1 = 0.$$

Механізм зубчастої передачі не є цикловим механізмом, тому що кутове переміщення вихідної ланки збільшується за збільшення кутового переміщення вхідної. Тому кінематичні діаграми побудуємо тільки для одного обороту вхідної ланки (рис. 1.27).

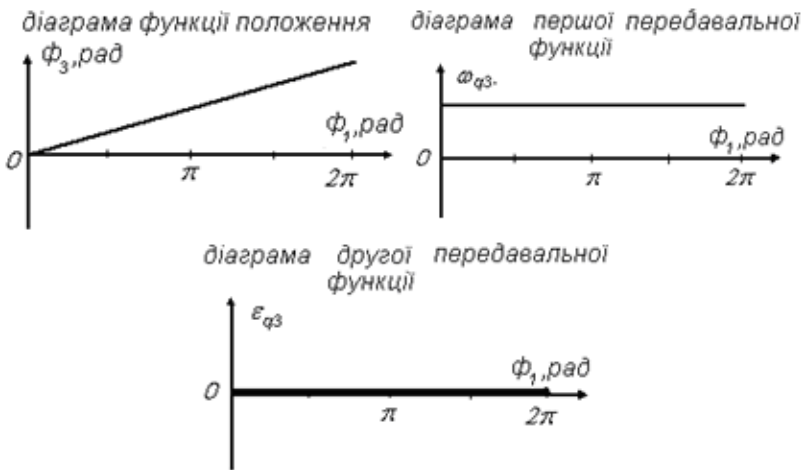


Рис. 1.27 – Діаграми функції положення і передатних функцій для зубчастої передачі

Кулачковим називається триланковий механізм, що складається з двох рухливих ланок – кулачка (1) і штовхальника (2), з'єднаних між собою вищою кінематичною парою. Часто до складу механізму входить третя рухлива ланка – ролик (3), уведена до складу механізму з метою заміни у вищій парі тертя ковзання тертям кочення. При цьому механізм має дві рухливості - одну основну й одну місцеву (рухливість ролика).

Основні параметри (рис. 1.28) кулачкового механізму:

$\phi_{роб}$ – фазовий робочий кут кулачкового механізму;
 $\phi_{роб} = \delta_{роб} = \phi_c + \phi_{дв} + \phi_y$; ϕ_c – кут зближення;
 $\phi_{дв}$ – фазовий кут далекого вистою;
 ϕ_y – фазовий кут видалення;
 $\delta_{роб}$ – профільний робочий кут;
 $\phi_{ов}$ – кут ближнього вистою;
 $h_{Вм}$ – максимальне переміщення точки В штовхальника;
 r_0 – радіус початкової шайби кулачка;
 r_p – радіус ролика.

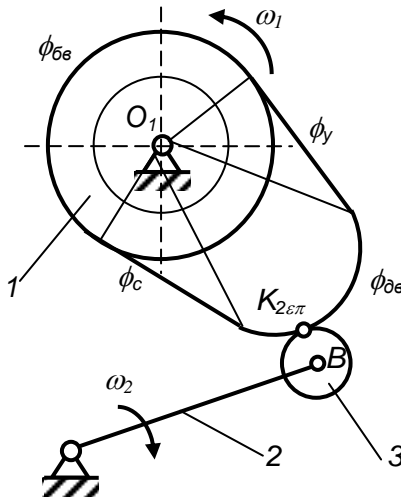


Рис. 1.28 – Кути профілю кулачкового механізму

При кінематичному аналізі кулачкового механізму звичайно задано конструктивний профіль кулачка і радіус ролика r_p . Методом зверненого руху (перекочуючи ролик по нерухливому конструктивному профілю кулачка) знаходимо центровий профіль кулачка (траєкторію центра ролика штовхальника у зверненому русі). Наносимо на профіль фазові кути і визначаємо в зоні ближнього вистою початковий радіус центрального профілю кулачка r_0 . У зоні робочого кута проводимо ряд траєкторій центра ролика штовхальника (точки В) і за ними вимірюємо від точки, що лежить на окружності r_0 , до точки, що лежить на центральному профілі, поточне переміщення штовхальника $S_{Вi}$. За цими переміщеннями будемо діаграму $S_{В}=f(\phi_1)$. Дифе-

ренціюючи цю діаграму за часом або узагальненою координатою, одержуємо кінематичні чи геометричні характеристики механізму (рис. 1.29).

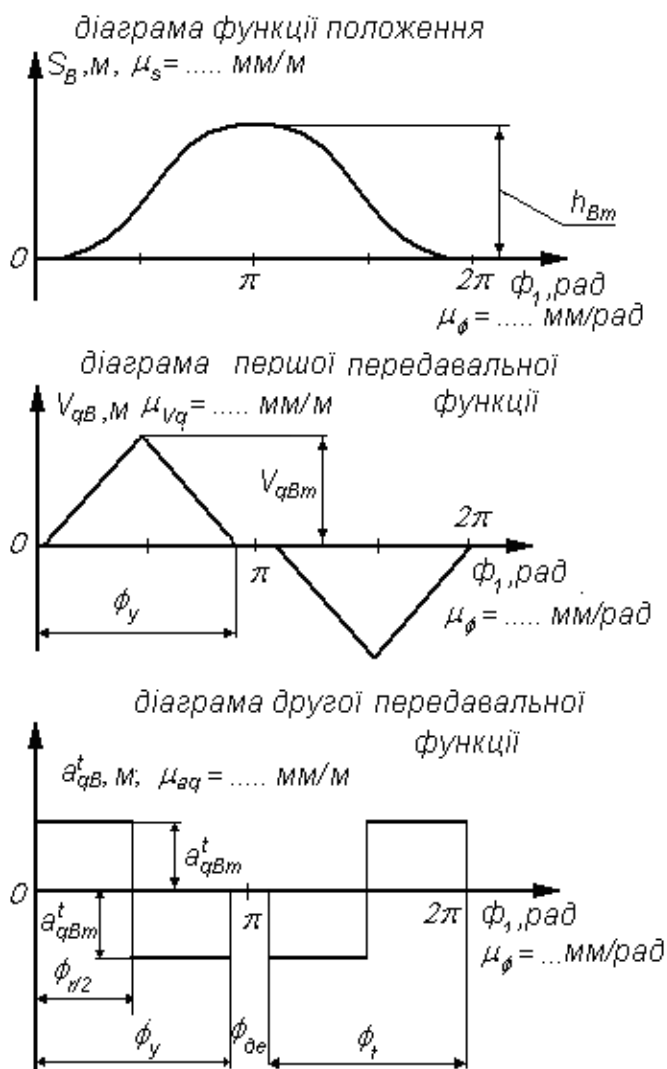


Рис. 1.29 – Діаграми функції положення і передатних функцій для кулачкового механізму

При графічному диференціюванні масштаби діаграм залежать від масштабів вихідної діаграми й обраних відрізків диференціювання:

$$\begin{aligned} \mu_s &= y_{hb}/h \text{ мм/м}; & \mu_\phi &= b/\phi_p \text{ мм/радіан}; & \mu_{\square_t} &= b/t_p \text{ мм/с}; \\ \mu_{v_q} &= k_1 \cdot \mu_s / \mu_\phi \text{ мм/м}; & \mu_{a_q} &= k_2 \cdot \mu_{v_q} / \mu_\phi \text{ мм/м}; & \mu_v &= k_1 \cdot \mu_s / \mu_t \text{ мм/м} \cdot \text{с}^{-1}; \\ & & \mu_a &= k_2 \cdot \mu_v / \mu_t \text{ мм/м} \cdot \text{с}^{-2}, \end{aligned}$$

де b - база діаграми по осі абсцис в мм;

y_h - ордината максимального переміщення штовхальника в мм;

h - максимальне переміщення штовхальника в мм;

t_p - час повороту кулачка на фазовий кут;

ϕ_p , k_1 і k_2 - відрізки диференціювання в мм.

1.2.2 Експериментальне дослідження кінематики механізмів

При експериментальному дослідженні кінематики механізмів кінематичні характеристики ланок і точок механізму визначаються і реєструються за допомогою чутливих елементів датчиків, які, використовуючи різні фізичні ефекти, перетворюють кінематичні параметри у пропорційні електричні сигнали.

Ці сигнали реєструються вимірювальними реєструючими приладами (осцилографами та ін.).

Останнім часом для реєстрації й обробки експериментальних даних більш широко використовуються спеціальні або універсальні комп'ютери.

Для прикладу розглянемо (рис. 1.30) експериментальну установку для дослідження кінематичних характеристик синусного механізму.

У цій експериментальній установці:

- для виміру переміщення вихідної ланки використовується потенціометричний датчик переміщення, в якому пропорційно положенню движка потенціометра змінюється його опір;

- для виміру швидкості вихідної ланки використовується індуктивний датчик швидкості, в якому напруга на кінцях котушки, що рухається в полі постійного магніту, пропорційна швидкості вихідної ланки;

– для виміру прискорення вихідної ланки використовується тензометричний акселерометр. Він складається з пластинчастої пружини, один кінець якої закріплено на вихідній ланці механізму, а на другому закріплено масу. На пластину наклеєно дровотий тензоперетворювач. При русі вихідної ланки з прискоренням інерційність маси викликає вигин пластини, деформацію тензоперетворювача і зміну його опору, пропорційну прискоренню вихідної ланки.

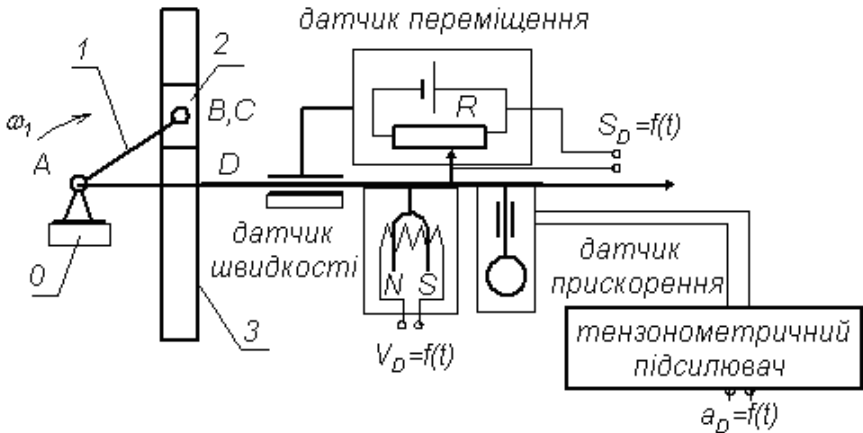


Рис. 1.30 – Схема експериментальної установки для дослідження кінематичних характеристик синусного механізму

1.3 Динаміка машин і механізмів

Динаміка – це розділ механіки машин і механізмів, що вивчає закономірності руху ланок механізму під дією прикладених до них сил.

В основі динаміки – закони, сформульовані І. Ньютоном, з яких випливає, що якщо рівнодіюча всіх сил, які діють на матеріальне тіло, дорівнює нулю, то воно знаходиться у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху.

Відповідно до механічної системи: якщо рівнодіюча всіх зовнішніх сил, що діють на механічну систему, дорівнює нулю, то її центр мас знаходиться у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху.

Зміна стану руху центра мас механічної системи може бути викликане лише зміною діючих на неї зовнішніх сил.

З цих же законів випливає, що динамічними параметрами механічної системи є: інерціальні (маси m і моменти інерції I), силові (сили F_{ij} і моменти сил M_{ij}) і кінематичні (лінійні a і кутові ε прискорення).

У загальній постановці динаміка – це вивчення будь-яких процесів або явищ у функції часу.

Динамічна модель – це модель системи, призначена для дослідження її властивостей у функції часу (або модель системи, призначена для дослідження в ній динамічних явищ).

Пряма задача динаміки машин та механізмів – це визначення закону руху системи за заданого керуючого силового впливу.

Зворотна задача динаміки машин та механізмів – це визначення необхідного керуючого силового впливу, що забезпечує заданий закон руху системи.

Існують методи складання рівнянь (динамічної моделі системи), такі як: енергетичний (рівняння енергетичної рівноваги - закон збереження енергії) і кінетостатичний (рівняння силової рівноваги з урахуванням сил інерції за принципом Даламбера).

Роботою називається інтеграл скалярного добутку вектора сили F на вектор елементарного збільшення переміщення точки її прикладання dS :

$$A = \int_{s_0}^{s_k} F \cdot dS \cdot \cos \left(\overset{-}{F}, \overset{-}{dS} \right),$$

де: s_k, s_0 – кінцеве і початкове положення точки прикладання сили F ;

$\left(\overset{-}{F}, \overset{-}{dS} \right)$ – кут між вектором сили F і вектором переміщення точки її прикладання dS .

Енергією називається здатність системи виконувати роботу або запас роботи. Будь-яка робота, чинена над системою, збільшує її енергію. У механічних системах розрізняють кінетичну і потенційну енергії. Щоб змусити систему рухатися з необхідною швидкістю і прискоренням, потрібно виконати відповідну роботу. Ця робота "запасується" системою у вигляді енергії руху або кінетичної енергії. Для механічної системи, в якій r ланок обертаються, p - рухаються поступально і k – здійснюють плоскопаралельний рух, кінетична енергія дорівнює:

$$T = \sum_{i=1}^{p+k} \frac{m_i \cdot V_{si}^2}{2} + \sum_{i=1}^{r+k} \frac{I_{si} \cdot \omega_i^2}{2},$$

де m_i – маса i -ї ланки;
 V_{si} – швидкість центра мас i -ї ланки;
 I_{si} – момент інерції i -ї ланки відносно її центра мас;
 ω_i – кутова швидкість i -ї ланки.

Переміщення системи або її елемента в потенційному полі від точки з низьким потенціалом у точку з більш високим потенціалом або деформація ланки системи вимагає виконання роботи, що запасається системою у вигляді потенційної енергії. Для системи, в якій a ланок піддаються скручуванню і s ланок – лінійній деформації, потенційна енергія деформації дорівнює:

$$U = \sum_{i=1}^a \frac{c_i \cdot \delta\phi_{si}^2}{2} + \sum_{i=1}^s \frac{k_{si} \cdot \delta s_i^2}{2},$$

де c_i – обергальна жорсткість i -ї ланки;
 $\delta\phi$ – кутова деформація i -ї ланки;
 k_i – лінійна жорсткість i -ї ланки;
 δs_i – лінійна деформація i -ї ланки.

Потужністю називається похідна від роботи за часом. Середня потужність – відношення виконаної роботи до часу її виконання. Розглянемо механічну систему, на яку діють m моментів і f сил. Елементарне збільшення енергії системи (елементарна робота зовнішніх сил, що діють на систему) становить:

$$dA = \sum_{i=1}^f F_i \cdot dS_i \cdot \cos\left(\overset{-}{F}_i \wedge \overset{-}{dS}_i\right) + \sum_{i=1}^m M_i d\phi_i,$$

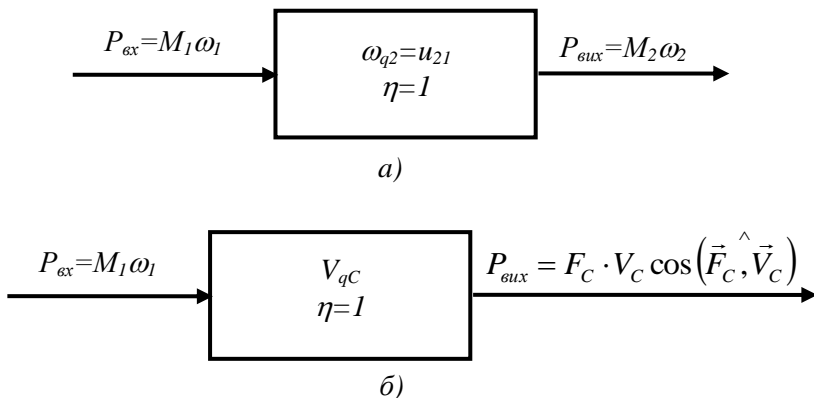
а її потужність дорівнює:

$$P = dA/dt = \sum_{i=1}^f F_i \cdot V_i \cdot \cos\left(\overset{-}{F}_i \wedge \overset{-}{V}_i\right) + \sum_{i=1}^m M_i \omega_i.$$

1.3.1 Перетворення енергії в механізмах

Розглянемо, як перетвориться потік механічної енергії в ідеальному механізмі з твердими ланками (під "ідеальним механізмом"

тут розуміємо механізм, у якому немає втрат енергії, тобто ККД якого дорівнює $\eta=1$).



**Рис. 1.31 а) – Механізм, що перетворює обертальний рух в обертальний;
б) – Механізм, що перетворює обертальний рух в поступальний**

Відповідно до цього вхідна потужність в такому механізмі дорівнює вихідній $P_{вх} = P_{вих}$.

В механізмі, що перетворює обертальний рух в обертальний (рис. 1.31, а), динамічні залежності становлять:

$$M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2,$$

$$M_1 = M_2 \cdot \omega_2 / \omega_1 = M_2 \cdot u_{21}.$$

В механізмі, що перетворює обертальний рух в поступальний (рис. 1.31, б), динамічні залежності становлять:

$$M_1 \cdot \omega_1 = P_{вих} = F_C \cdot V_C \cos(\vec{F}_C, \vec{V}_C);$$

$$M_1 = \frac{F_C \cdot V_C \cos(\vec{F}_C, \vec{V}_C)}{\omega_1} = F_C \cdot V_{qc} \cos(\vec{F}_C, \vec{V}_C).$$

1.3.2 Класифікація зусиль, що діють у механізмах

При розгляді механічних систем використовується аксіома звільнення від пов'язів: не змінюючи стану механічної системи (руху або рівноваги) пов'язі, накладені на неї можна відкинути, замінивши їхню дію відповідними реакціями. На рис. 1.32 зображено досліджувану систему i разом з діючими на неї вхідною системою j , вихідною системою k і зовнішнім середовищем l . Звільняючись від пов'язів, накладених на досліджувану систему зовнішніми системами, ми заміняємо їхню дію реакціями F_{ij} , F_{ik} і F_{il} .

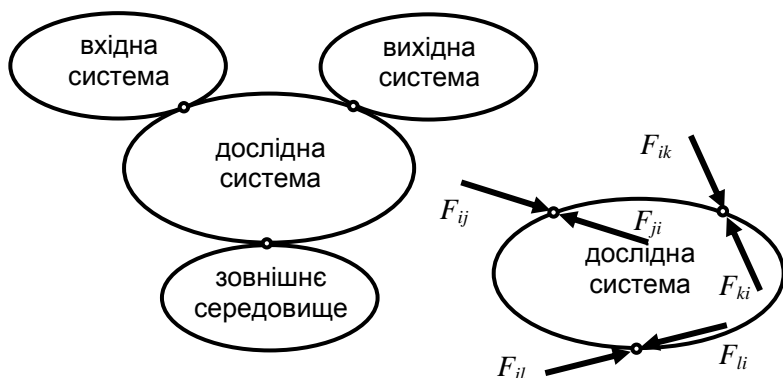


Рис. 1.32 – До аксіоми звільнення від пов'язів

Силою називається дія механічного впливу одного матеріального тіла на інше, що характеризує величину і напрямок цього впливу. Сила - це векторна величина, що характеризується величиною і напрямком дії.

Якщо одне тіло діє з деякою силою на інше тіло, то на нього з боку останнього також діє сила, яка є рівною за величиною і протилежною за напрямком (третій закон Ньютона). Таким чином, сили завжди діють парами, тобто кожній силі F_{ji} з якою тіло i діє на тіло j , відповідає протидіюча сила F_{ij} . Відповідно до традиційної домовленості, в індексі позначення на першому місці вказується тіло, на яке діє сила, на другому - з боку якого.

Усі сили, що діють у механізмах, умовно поділяються на зовнішні та внутрішні.

Зовнішні сили діють на досліджувану систему з боку зовнішніх систем і здійснюють роботу над системою. Ці сили у свою чергу поділяються на:

- **рушійні сили**, робота яких є додатною (збільшує енергію системи);

- **сили опору**, робота яких є від'ємною (зменшує енергію системи). Сили опору поділяються на:

- **сили корисного (технологічного) опору** – виникають при виконанні механічною системою її основних функцій (виконання необхідної роботи зміни координат, форми або властивостей виробу і т. ін.);

- **сили тертя (дисипативні)** – виникають в місці контакту в КП і обумовлені умовами фізико-механічної взаємодії між ланками (їхня робота завжди є від'ємною);

- **сили взаємодії з потенційними полями (позиційні)** - виникають при розміщенні об'єкта в потенційному полі; їхня величина залежить від потенціалу точки, в якій розміщується тіло (робота потенційного поля при переміщенні від точки з низьким потенціалом у точку з більш високим – від'ємна, а за цикл, тобто при поверненні у вихідне положення, його робота дорівнює нулю).

Внутрішні сили – це сили, що діють між ланками механічної системи. Робота цих сил не змінює енергії системи. У механічних системах ці сили називаються реакціями в КП.

В різних розрахунках, з метою їхнього спрощення, використовуються розрахункові (теоретичні) сили:

- **сили інерції** - введені Даламбером для силового розрахунку рухливих механічних систем. При додаванні цих сил до зовнішніх сил, що діють на систему, встановлюється квазістатична рівновага системи, й її можна розраховувати, використовуючи рівняння статички (метод кінетостатички);

- **приведені (узагальнені) сили** - сили, які виконують роботу при варіації узагальненої координати, що дорівнює роботі відповідної реальної сили на еквівалентному переміщенні точки її прикладання.

Необхідно відзначити, що під силами розуміються рівнодійні відповідних розподілених у місці контакту КП навантажень. Все вищезазначене щодо сил поширюється і на моменти сил.

1.3.3 Силевий розрахунок типових механізмів

Сила як векторна величина характеризується стосовно ланок механізму трьома параметрами: координатами точки контакту, величиною і напрямком. Розглянемо з цих позицій реакції в КП плоских механізмів.

1. **Поступальна КП.** У поступальній КП пов'язі, накладені на відносний рух ланок, забороняють відносний поступальний рух по осі Y і відносне обертання. Заміняючи ці пов'язі реакціями, одержимо реакцію F_{ij} і реактивний момент M_{ij} (рис. 1.33).

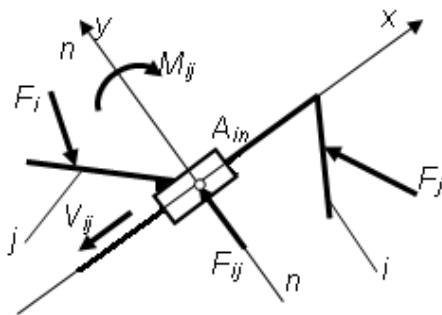


Рис. 1.33 – Поступальна КП

При силовому розрахунку поступальної КП визначаються: реактивний момент M_{ij} , величина реакції F_{ij} . Відомі: точка прикладання сили - геометричний центр кінематичної пари A_{in} , і напрямок - нормаль до контактуючих поверхонь ланок.

Число пов'язей у поступальній КП $S^{nl} = 2$; рухливість ланок $W^{nl} = 1$; число невідомих при силовому розрахунку $n_s = 2$.

2. **Обертальна КП.** В обертальній КП пов'язь, накладена на відносний рух ланок, забороняє відносний поступальний рух по осях Y і X . Заміняючи цю пов'язь реакцією, одержимо реакцію F_{ij} (рис. 1.34).

При силовому розрахунку обертальної КП визначаються: напрямок та величина реакції F_{ij} . Відомо: точка прикладання сили – це геометричний центр кінематичної пари B_{le} .

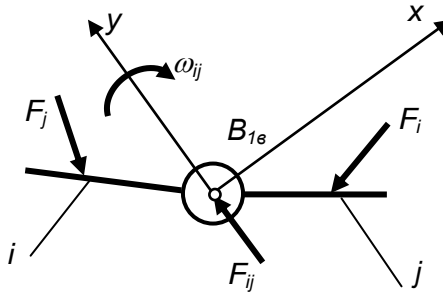


Рис. 1.34 – Обертальна КП

Число пов'язей у обертальній КП $S^{nl} = 2$; рухливість ланок $W^{nl} = 1$; число невідомих при силовому розрахунку $n_s = 2$.

3. **Вища КП.** У вищій парі пов'язь, накладена на відносний рух ланок, забороняє рух у напрямку нормалі до контактуючих поверхонь (вісь Y). Заміняючи цю пов'язь реакцією, одержимо реакцію F_{ij} (рис. 1.35).

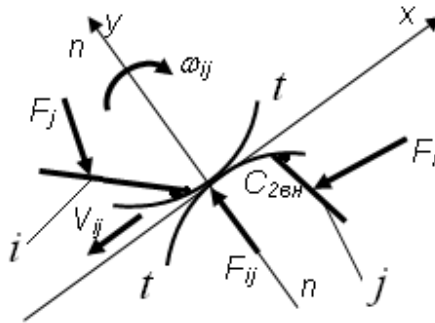


Рис. 1.35 – Вища КП

При силовому розрахунку вищої КП визначаються: величина реакції F_{ij} . Відомі: точка прикладання сили – точка контакту робочих профілів кінематичної пари C_{2en} і напрямок вектора сили - контактна нормаль до профілів.

Число пов'язей у вищій КП $S^{nl} = 1$; рухливість ланок – $W^{nl} = 2$; число невідомих при силовому розрахунку $n_s = 1$.

Для досліджуваного механізму за відомими кінематичними характеристиками і зовнішніми силами потрібно визначити врівноважуючу силу або момент (керуючий силовий вплив) і реакції в кінематичних парах механізму.

Існують наступні види силового розрахунку:

– **статичний силовий розрахунок** – для механізмів, що знаходяться у спокої або рухаються з малими швидкостями, коли інерційні сили є малими або у випадках, коли невідомими є маси і моменти інерції ланок механізму (на етапах, що передують ескізню проектуванню);

– **кінестатичний силовий розрахунок** - для механізмів, що рухаються, за відомих мас і моментів інерції ланок, коли нехтування інерційними силами приводить до суттєвої зміни числових результатів розрахунку;

– **кінестатичний силовий розрахунок з урахуванням тертя** – може проводитись, коли визначено характеристики тертя в КП і розміри елементів пари.

Для визначення числа невідомих, а отже, і числа незалежних рівнянь при силових розрахунках необхідно провести структурний аналіз механізму і визначити число та класи кінематичних пар, число основної рухливості механізму, число надлишкових пов'язей.

Щоб силовий розрахунок можна було провести, використовуючи тільки рівняння кінестатики, необхідно усунути в ньому надлишкові пов'язі. У протилежному випадку до системи рівнянь кінестатики необхідно додати рівняння деформації ланок, необхідні для розкриття статичної невизначуваності механізму.

Оскільки кожна пов'язь у кінематичних парах механізму відповідає одному компонентіві реакції, то число невідомих компонентів реакцій дорівнює сумарному числу пов'язів, що накладаються кінематичними парами на механізм.

Сила, що врівноважує, або момент повинні діяти по кожній основній рухливості механізму. Тому сумарне число невідомих у силовому розрахунку визначається сумою пов'язей у КП механізму і його основних рухливостей.

1.3.4 Вібрації і коливання в машинах і механізмах

При русі механічної системи під дією зовнішніх сил у ній можуть виникати механічні коливання або вібрації. Причинами виникнення вібрацій можуть бути періодичні зміни сил (силове збуджен-

ня), рухів (кінематичне збудження) або інерційних характеристик (параметричне збудження). **Вібрацією** (від лат. *vibratio* - коливання) називають механічні коливання в машинах або механізмах.

Колівання - рух або зміна стану, що має той або інший ступінь повторюваності або періодичності.

Щоб вібрації механізму не поширювалися на зовнішні системи або щоб захистити механізм від вібрацій, що впливають на нього з боку зовнішніх систем, застосовуються різні методи віброзахисту.

Якщо джерело виникнення вібрацій визначається внутрішніми властивостями машини або механізму, то говорять про його **віброактивність**. Розрізняють зовнішню і внутрішню віброактивність.

Під **внутрішньою віброактивністю** розуміють коливання, що виникають всередині механізму або машини. Ці коливання не завдають безпосереднього впливу на навколишнє середовище.

При **зовнішній віброактивності** зміна положення механізму призводить до зміни реакцій в опорах (тобто зв'язках механізму з навколишнім середовищем) і безпосереднього вібраційного впливу на зв'язані з ним системи. Одна з основних причин зовнішньої віброактивності - невірноваженість окремих ланок і механізму в цілому.

Невірноваженим будемо називати такий механізм (або його ланку), у якому центр мас рухається з прискоренням. Прискорений рух системи виникає тільки у випадку, якщо рівнодіюча зовнішніх силових впливів не дорівнює нулю.

Відповідно до принципу Даламбера, для врівноважування, окрім зовнішніх сил, до системи додаються розрахункові - сили і моменти сил інерції. Тому **вірноваженим** будемо вважати механізм, у якому головні вектори і моменти сил інерції дорівнюють нулю.

Для прикладу розглянемо 4-шарнірний механізм (рис. 1.36).

Механізм буде знаходитися у стані кінетостатичної рівноваги, якщо сума діючих на нього зовнішніх сил і моментів сил (включаючи сили і моменти сил інерції) буде дорівнювати нулю:

$$\sum_{i=1}^n G_i + \sum_{i=1}^n F_{ui} + P_{\delta i} = 0; \quad \sum_{i=1}^n M_{ui} + M_{c3} = 0;$$

Врівноваженість є властивістю або характеристикою механізму і не повинна залежати від діючих на нього зовнішніх сил.

Якщо виключити з розгляду всі зовнішні сили, то в рівнянні рівноваги залишаться тільки інерційні складові, які визначаються інерційними параметрами механізму (масами і моментами інерції) і законом руху (наприклад, центра мас системи).

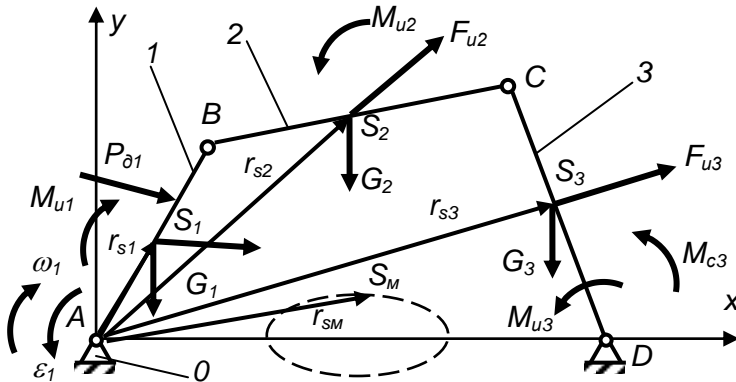


Рис. 1.36 – Врівноваження механізму

Як було зазначено, врівноваженим вважається механізм, для якого головний вектор і головний момент сил інерції дорівнюють нулю:

$$F_{SM} = \sum_{i=1}^n F_{ui} = -\sum_{i=1}^n m_i \cdot a_{SM} = 0;$$

$$M_{im} = \sum_{i=1}^n M_{ui} = 0.$$

Неврівноваженість - такий стан механізму, за якого головний вектор або головний момент сил інерції не дорівнюють нулю. Розрізняють:

- статичну неуврівноваженість $F_{SM} \neq 0$;
- моментну неуврівноваженість $M_{im} \neq 0$;
- динамічну неуврівноваженість $F_{SM} \neq 0$ та $M_{im} \neq 0$.

При статичному зрівноважуванні механізму необхідно забезпечити:

$$F_{SM} = 0, \text{ а оскільки } \sum_{i=1}^n m_i \neq 0, \text{ то } a_{SM} = 0.$$

Цю умову можна виконати, якщо: швидкість центра мас механізму дорівнює нулю $V_{SM}=0$, або вона є постійною за величиною і напрямком $\vec{V}_{SM} = const$. Забезпечити виконання умови $\vec{V}_{SM} = const$ у механізмі практично не можливо. Тому при статичному зрівноважуванні забезпечують виконання умови $V_{SM}=0$. Це можливо, коли центр мас механізму лежить на осі обертання ланки 1 – тобто $r_{SM}=0$, або коли він є нерухомим, тобто вектор $r_{SM} = const$,

де: $r_{SM} = (m_1 \cdot r_1 + m_2 \cdot r_2 + \dots + m_i \cdot r_{Si}) / (m_1 + m_2 + \dots + m_i)$.

На практиці найбільш часто статичне зрівноважування проводять вибираючи симетричні схеми механізму (рис. 1.37), встановлюючи на ланках механізму противаги (або коригувальні маси), розміщуючи противаги на додаткових ланках або ланцюгах.

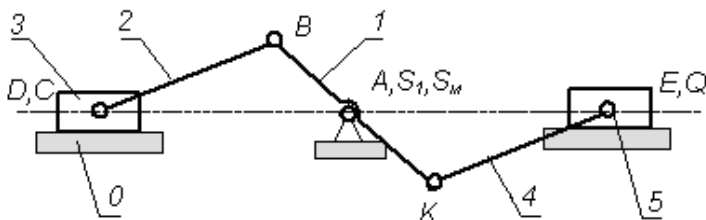


Рис. 1.37 – Симетрична схема механізму

1.4 Механічні характеристики машин

Механічною характеристикою машини називається залежність сили (моменту) на вихідному валу (робочому органі машини) від швидкості або переміщення точки чи ланки її прикладання. Розглянемо приклади механічних характеристик різних машин.

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), для яких важливою механічною характеристикою є індикаторна діаграма (рис. 1.38 - 1.39) - графічне зображення залежності тиску (P) в циліндрі поршневої машини від ходу поршня (S).

Для електродвигунів важливою механічною характеристикою є залежність (рис. 1.40 - 1.41) пускового моменту (M_{on}) від частоти обертання вала двигуна (ω).

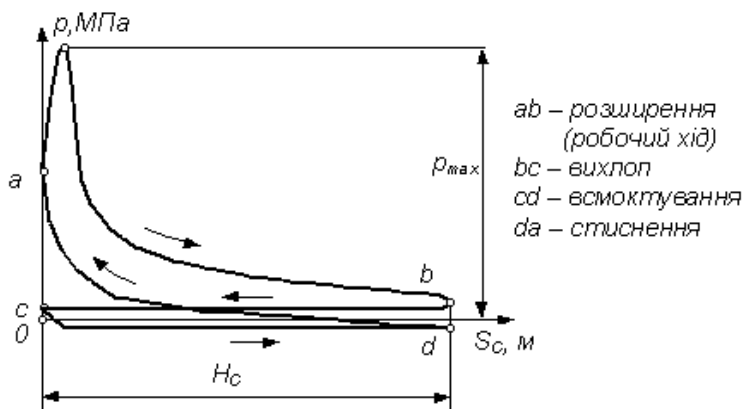


Рис. 1.38 – Індикаторна діаграма чотиритактного ДВЗ

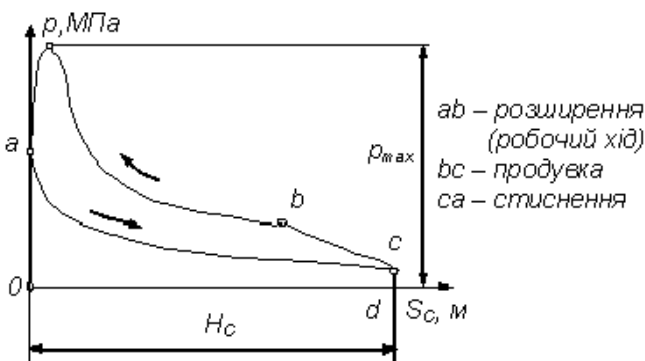


Рис. 1.39 – Індикаторна діаграма двотактного ДВЗ

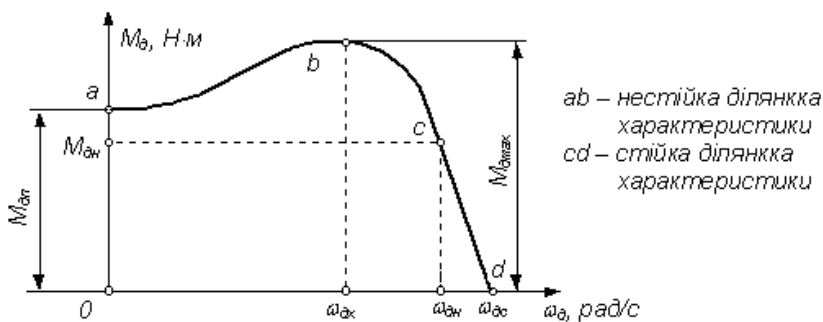


Рис. 1.40 – Асинхронний електродвигун перемінного струму

На діаграмі: $M_{\text{он}}$ – пусковий момент; $M_{\text{он}}$ – номінальний крутний момент; $M_{\text{омах}}$ – критичний або максимальний момент; $\omega_{\text{он}}$ – номінальна частота обертання вала двигуна; $\omega_{\text{ос}}$ – частота обертання вала двигуна холостого ходу або синхронна.

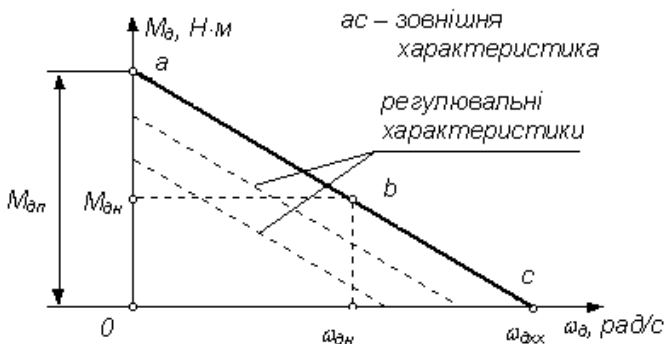


Рис. 1.41 – Електродвигун постійного струму з незалежним збудженням

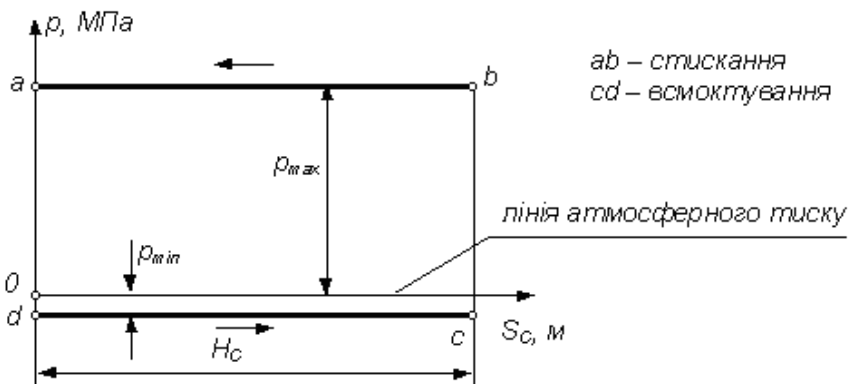


Рис. 1.42 – Поршневий насос

Для робочих машин важливою механічною характеристикою є залежність тиску (P) в циліндрі поршневої машини від ходу поршня (S) для поршневого насоса (рис.1.42) та для компресора (рис.1.43).

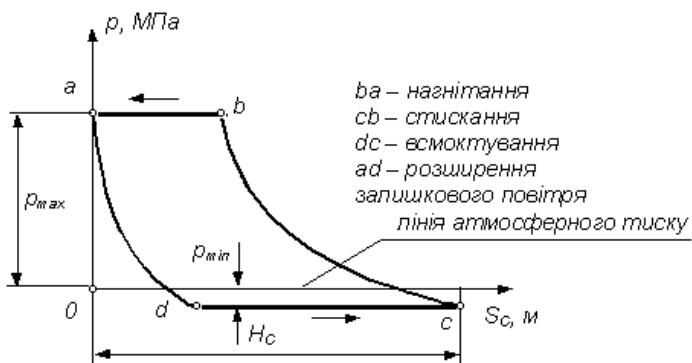


Рис. 1.43 – Поршневий компресор

Лінії bc і ad - лінії стиску і розширення газу – визначаються параметрами газу (об'ємом, тиском і температурою) і в загальному вигляді описуються рівнянням політропи $p \cdot V^n = const$, де n - показник політропи ($1 < n < \infty$).

Для стругального верстата залежність діючої на ріжучий інструмент сили (F) від його переміщення (S), відповідно до робочого режиму руху, наведено на рис. 1.44.

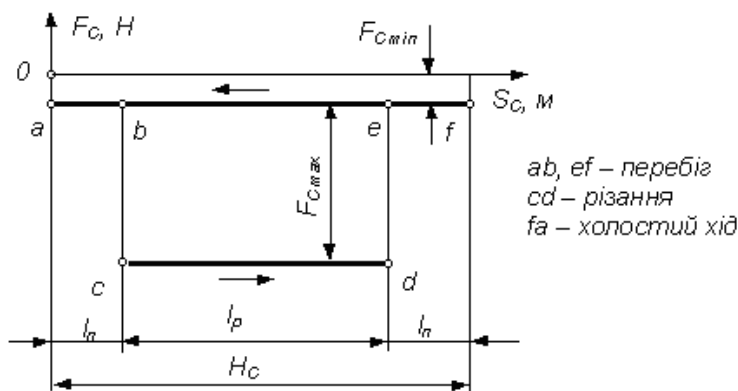


Рис. 1.44 – Стругальний верстат

Механічні характеристики визначають зовнішні сили і моменти, що діють на вхідні і вихідні ланки розглянутої механічної системи з боку взаємодіючих з нею зовнішніх систем і навколишнього середовища.

Характеристики визначаються експериментально, за результатами експериментів одержують регресійні емпіричні моделі, що надалі використовуються при проведенні динамічних розрахунків машин і механізмів.

1.5 Режими руху машини

Залежно від того, яку роботу виконують зовнішні сили за цикл руху машини, розрізняють три режими руху: розгін, гальмування й усталений рух (рис.1.45). Циклом називають період часу або період зміни узагальненої координати, через який усі параметри системи приймають первісні значення.

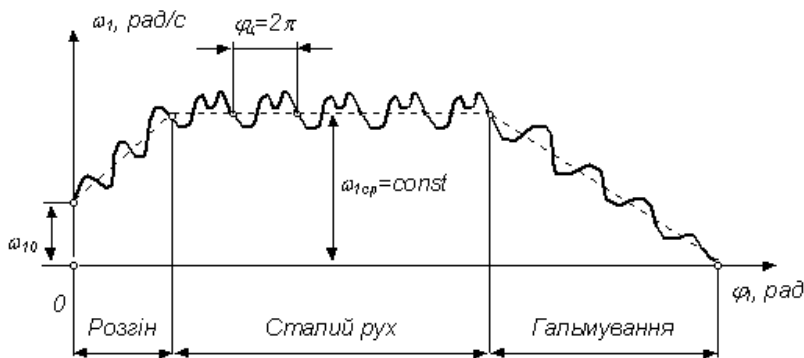


Рис. 1.45 – Режими руху машини

Розгін машини відбувається тоді, коли робота рушійних сил значно більше роботи сил опору ($A_p^u > A_{on}^u$), а сумарна робота за цикл роботи машини має позитивне значення ($A_{\Sigma}^u > 0$).

Сталий рух машини відбувається тоді, коли робота рушійних сил дорівнює роботі сил опору, тобто сумарна робота за робочий цикл дорівнює нулю ($A_p^u = A_{on}^u$, $A_{\Sigma}^u = 0$).

Гальмування або вибіг машини відбувається тоді, коли робота рушійних сил є меншою за роботу сил опору за цикл, а сумарна робота сил за робочий цикл машини менше нуля ($A_p^u < A_{on}^u$, $A_{\Sigma}^u < 0$).

Існує велика кількість машин і механізмів: гідропідйомники, маніпулятори, механізми керування металевими апаратами, механізми шасі, механізми автоматичних дверей і багато інших, виконавча ланка яких переміщається з початкового положення в кінцеве.

При цьому на початку і наприкінці циклу руху виконавча ланка нерухома. Такий режим руху механізму називається режимом «пуск-зупинка».

Механізм починає рух зі стану спокою, наприкінці циклу вихідна ланка механізму повинна зупинитися і зафіксуватися в заданому положенні.

Можливі наступні варіанти зупинки вихідної ланки: коли зупинка відбувається з жорстким ударом (рис. 1.46), тобто кутова швидкість $\omega_{1n} > 0$, а від'ємне кутове прискорення $\varepsilon_{1n} \rightarrow \infty$, зупинка з м'яким ударом (рис. 1.47), коли кутова швидкість $\omega_{1n} = 0$, а від'ємне кутове прискорення $\varepsilon_{1n} \neq 0$. Для динамічної моделі в кінцевому положенні:

$$\omega_{1n} = \sqrt{\frac{2(A_{\Sigma n} + T_{noch})}{I_{\Sigma n}^{np}}},$$

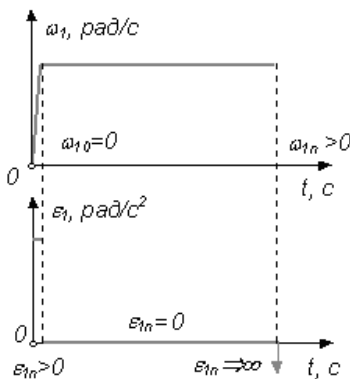


Рис. 1.46 – Жорсткий удар

Якщо $T_{noch} = 0$, $I_{\Sigma n}^{np} > 0$, то при $A_{\Sigma n} = 0$ відбудеться безударна зупинка або зупинка з утриманням у кінцевому положенні (рис. 1.48) $\omega_{1n} = 0$, $\varepsilon_{1n} = 0$. У цьому випадку до умови $\omega_{1n} = 0$ додається умова $\varepsilon_{1n} = 0$. Для динамічної моделі в кінцевому положенні:

$$\varepsilon_{1n} = d\omega_{1n} / dt = M_{\Sigma n}^{in} / I_{\Sigma n}^{np} - \omega_{1n}^2 / (2 \cdot I_{\Sigma n}^{np}) \cdot (dI_{\Sigma n}^{np} / d\varphi_1).$$

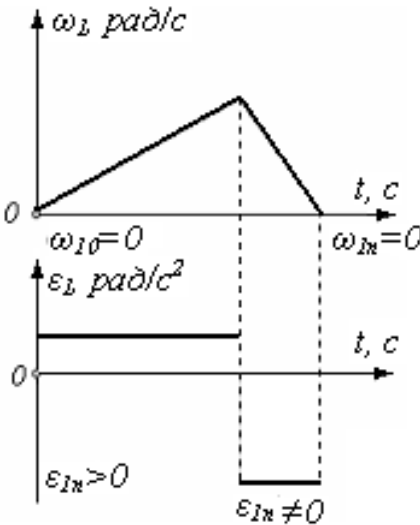


Рис. 1.47 – М'який удар

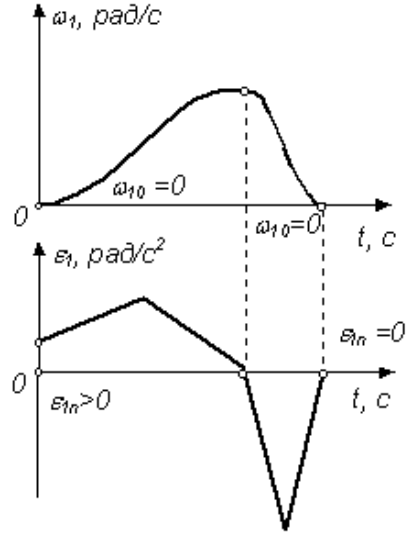


Рис. 1.48 – Безударна зупинка об'єкта в кінцевому положенні з фіксацією

Якщо $\omega_{1n} = 0$, $I_{\Sigma n}^{np} > 0$, то $\varepsilon_{1n} = 0$ при $M_{\Sigma n}^{in} = 0$. У такий спосіб при зупинці з м'яким ударом необхідно виконати умову:

$$\omega_{1n} = 0 \Rightarrow A_{\Sigma n} = 0.$$

При безударній зупинці і фіксації об'єкта в кінцевому положенні потрібно виконати одночасно дві умови:

$$\omega_{1n} = 0 \Rightarrow A_{\Sigma n} = 0; \quad \varepsilon_{1n} = 0 \Rightarrow M_{\Sigma n}^{in} = 0.$$

Для того, щоб виконати умови початку руху і зупинки вихідної ланки в кінцевому положенні, необхідно відповідним чином вибрати закон зміни рушійних або керуючих сил. Дві можливі діаграми зміни рушійних сил подано на рис. 1.49.

Визначення величин сил на цих діаграмах здійснюється з розглянутих вище умов.

Виведемо формули для розрахунку сил, використовуючи як приклад механізм гідравлічного підйомника, схема якого наведено на рис. 1.50.

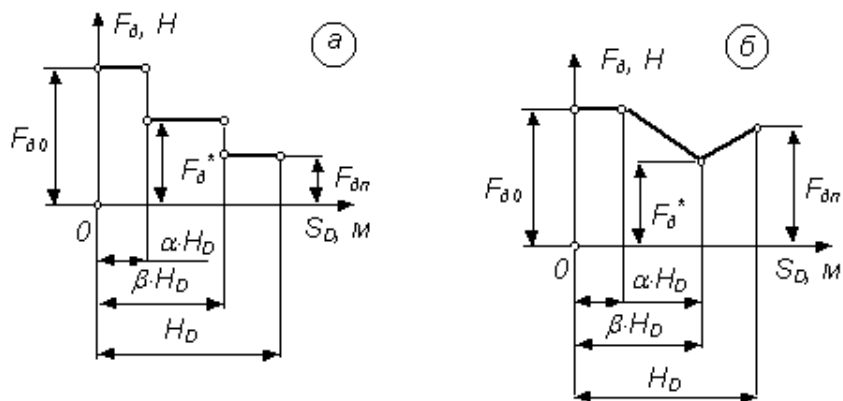


Рис. 1.49 – Типові діаграми рушійної сили

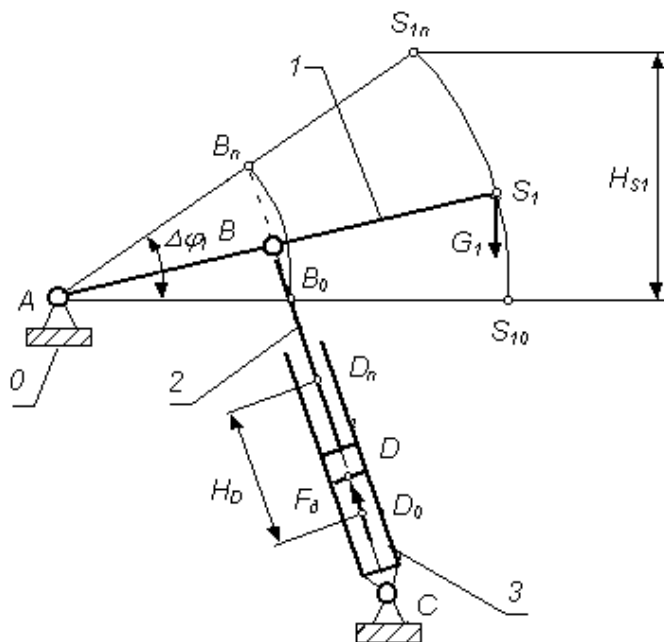


Рис. 1.50 – Гідропідіймник

Гідропідйомник повертає платформу (ланка 1) на заданий кут $\Delta\varphi_1$, при цьому центр мас S_1 піднімається на висоту H_{S1} під дією сили тиску в гідроциліндрі F_{∂} , закон зміни якої за цикл визначається однією з діаграм, зображених на рис. 1.49.

1. Визначення величини сили $F_{\partial 0}$ за умови початку руху $\varepsilon_{10} > 0$

$$k \cdot \text{abs} (M_{c0}^{np}) = M_{\partial 0}^{np},$$

де $k = 1.05 \dots 2$ - коефіцієнт запасу за моментом для розгону системи.

Розкриваючи це рівняння, отримаємо:

$$k \cdot \text{abs} [G_1 \cdot Vq_{10} \cdot \cos (G_1, dS_{S10})] = F_{\partial 0} \cdot Vq_0 \cdot \cos (F_{\partial 0}, dS_{D0}),$$

звідки

$$F_{\partial 0} = \{ k \cdot \text{abs} [G_1 \cdot Vq_{10} \cdot \cos (G_1, dS_{S10})] \} / Vq_0 \cdot \cos (F_{\partial 0}, dS_{D0}).$$

2. Визначення величини сили $F_{\partial n}$ за умовою наприкінці циклу $\varepsilon_{1n} = 0$:

$$\text{abs} (M_{cn}^{np}) = M_{\partial n}^{np}.$$

Розкриваючи це рівняння, одержимо:

$$\text{abs} [G_1 \cdot Vq_{1n} \cdot \cos (G_1, dS_{S1n})] = F_{\partial n} \cdot Vq_{Dn} \cdot \cos (F_{\partial n}, dS_{Dn}),$$

звідки

$$F_{\partial n} = \{ \text{abs} [G_1 \cdot Vq_{1n} \cdot \cos (G_1, dS_{S1n})] \} / Vq_{Dn} \cdot \cos (F_{\partial n}, dS_{Dn}).$$

3. Визначення величини сили F_{∂}^* за умовою наприкінці циклу $\omega_{1n} = 0$:

$$A_{\Sigma n} = 0, \quad A_{\partial n} = \text{abs} (A_{cn});$$

– для діаграми рушійної сили, зображеної на рис. 1.49, а:

$$F_{\partial 0} \cdot \alpha \cdot H_D + F_{\partial}^* \cdot (\beta - \alpha) \cdot H_D + F_{\partial n} \cdot (1 - \beta) \cdot H_D = G_1 \cdot H_{S1},$$

$$F_{\partial}^* = G_I \cdot H_{SI} - [F_{\partial 0} \cdot \alpha + F_{\partial n} \cdot (1 - \beta)] \cdot H_D / [(\beta - \alpha) \cdot H_D];$$

– для діаграми рушійної сили, зображеної на рис. 1.49, б:

$$F_{\partial 0} \cdot \alpha \cdot H_D + 0.5(F_{\partial 0} + F_{\partial}^*) \cdot (\beta - \alpha) \cdot H_D + \\ + 0.5(F_{\partial}^* + F_{\partial n}) \cdot (1 - \beta) \cdot H_D = G_I \cdot H_{SI},$$

$$F_{\partial}^* = G_I \cdot H_{SI} - [F_{\partial 0} \cdot \alpha + 0.5F_{\partial 0}(\beta - \alpha) + \\ + 0.5 F_{\partial n}(1 - \beta)] / \{0.5[(\beta - \alpha) + (1 - \beta)] \cdot H_D\}.$$

1.6 Пряма задача динаміки машин

Пряма задача динаміки машин: визначення закону руху машини за заданих зовнішніх силових впливів (як сил і моментів опору, так і рушійних або керуючих сил).

1.6.1 Визначення закону руху при несталому (перехідному) режимі

На відміну від сталого режиму руху, режими розгону і гальмування називаються несталими. До цього режиму відносять і режим руху «пуск-останов».

Ця задача відноситься до задач аналізу, при яких параметри механізмів є заданими або можуть визначатись на попередніх етапах розрахунку. Для простоти і наочності розглянемо алгоритм рішення цієї задачі на прикладі конкретного механізму гідропідйомника.

За умовами функціонування гідропідйомник за цикл руху повинен перемістити платформу I (рис. 1.50) на кут $\Delta\varphi_I$ і зафіксувати її в кінцевому положенні. При цьому сили опору визначаються силами ваги платформи і ланок гідроциліндра, рушійні сили - тиском рідини в циліндрі.

Алгоритм рішення прямої задачі динаміки при несталому режимі

а) Постановка задачі

Дано: кінематична схема механізму та його розміри:

$$l_{AB} = 1 \text{ м}, \quad l_{BS1} = 2 \text{ м}, \quad l_{BD} = 0.7 \text{ м},$$

$$l_{AC} = 1.45 \text{ м}, \quad l_{BS2} = 0.35 \text{ м}, \quad l_{BS3} = 0.4 \text{ м};$$

маси і моменти інерції ланок:

$$m_1 = 1000 \text{ кг}, I_{S1} = 800 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$m_2 = 50 \text{ кг}, I_{S2} = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$m_3 = 100 \text{ кг}, I_{S3} = 5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$\omega_{\text{нач}} = 0, \Delta\varphi_1 = 30^\circ, \varphi_{\text{нач}} = 0.$$

Визначити: $\omega_1 = f(\varphi_1)$, $t = f(\varphi_1)$, $\omega_1 = f(t)$, $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$.

б) Вибір динамічної моделі та визначення її параметрів

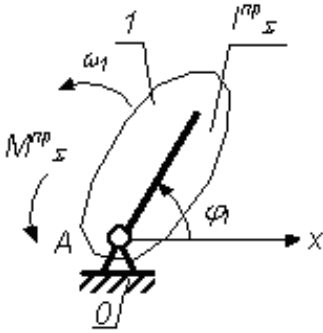


Рис. 1.51 – Динамічна модель

Як динамічну модель (рис. 1.51) приймаємо ланку 1, що робить обертальний рух навколо точки A з обертальною частотою ω_1 , положення якої визначається узагальненою координатою φ_1 .

Параметри динамічної моделі: сумарний приведенний момент інерції ланок механізму I^{np}_Σ і сумарний приведенний момент M^{np}_Σ від зовнішніх сил, що діють на нього, визначаються наступним чином.

в) Визначення кінематичних передатних функцій для ланок механізму

Для визначення кінематичних передатних функцій $u_{21} = u_{31}$, центрів мас Vqs_1 , Vqs_2 і Vqs_3 і точки прикладання рушійної сили Vq_D скористаємося методом проекцій векторного контуру механізму.

Розглянемо наступні векторні контури (рис. 1.52):

$$\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB}; \quad \vec{l}_{AD} = \vec{l}_{AB} + \vec{l}_{BD}; \quad \vec{l}_{AS2} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS2};$$

$$\vec{l}_{AS3} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS3}; \quad \vec{l}_{AS1} = \vec{x}_{S1} + \vec{y}_{S1}.$$

Для першого векторного контуру $\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB}$ проекції на осі координат:

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 = x_C + l_{CB} \cdot \cos \varphi_2,$$

$$l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 = y_C + l_{CB} \cdot \sin \varphi_2,$$

$$\varphi_2 = \arctg [(l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - y_C) / (l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 - x_C)].$$

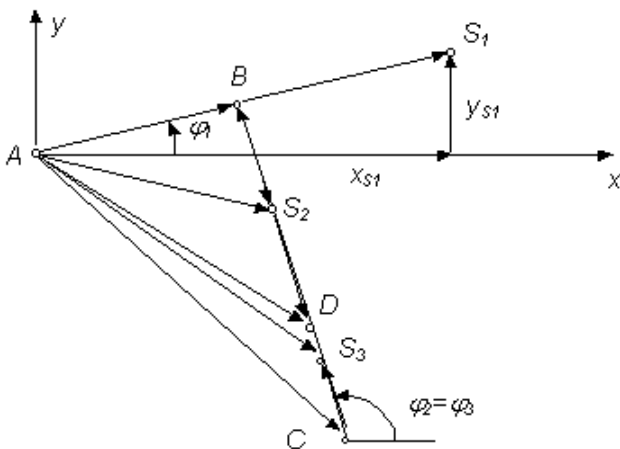


Рис. 1.52 – Векторний контур механізму

Похідні від цих виразів за φ_1 :

$$-l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 = V_{qCB} \cdot \cos \varphi_2 - l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2,$$

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 = V_{qCB} \cdot \sin \varphi_2 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2$$

дозволяють визначити перші передатні функції:

$$u_{21} = l_{AB} \cdot (\sin \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \cos \varphi_1) / [l_{CB} \cdot (\sin \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \cos \varphi_2)],$$

$$V_{qCB} = -l_{AB} \cdot (\sin \varphi_1 - \cos \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2) / (\sin \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \cos \varphi_2).$$

Для другого векторного контуру $\vec{l}_{AD} = \vec{l}_{AB} + \vec{l}_{BD}$ проекції на осі координат:

$$x = x + l_{BD} \cdot \cos (\varphi_2 + \pi), \quad y = y + l_{BD} \cdot \sin (\varphi_2 + \pi).$$

Похідні від цих виразів за φ_1 :

$$V_{qDx} = V_{qBx} - l_{BD} \cdot u_{21} \cdot \sin (\varphi_2 + \pi),$$

$$V_{qDy} = V_{qBy} + l_{BD} \cdot u_{21} \cdot \cos (\varphi_2 + \pi)$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qD} = \sqrt{V_{qDx}^2 + V_{qDy}^2}.$$

Для третього векторного контуру $\vec{l}_{AS2} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS2}$ проекції на осі координат:

$$x_{S2} = x_B + l_{BS2} \cdot \cos(\varphi_2 + \pi), \quad y_{S2} = y_B + l_{BS2} \cdot \sin(\varphi_2 + \pi).$$

Похідні від цих виразів:

$$Vq_{2x} = V_{qBx} - l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \sin(\varphi_2 + \pi),$$

$$Vq_{2y} = V_{qBy} + l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \cos(\varphi_2 + \pi)$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS2} = \sqrt{V_{qS2x}^2 + V_{qS2y}^2}.$$

Для четвертого векторного контуру $\vec{l}_{AS3} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS3}$ проекції на осі координат:

$$x_3 = x_C + l_{BS3} \cdot \cos \varphi_2, \quad y_3 = y_C + l_{BS3} \cdot \sin \varphi_2.$$

Похідні від цих виразів:

$$Vq_{3x} = -l_{CS3} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2, \quad Vq_{3y} = l_{CS3} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS3} = \sqrt{V_{qS3x}^2 + V_{qS3y}^2}.$$

Для останнього п'ятого векторного контуру $\vec{l}_{AS1} = \vec{x}_{S1} + \vec{y}_{S1}$ проекції на осі координат:

$$x_1 = l_{AS1} \cdot \cos \varphi_1, \quad y_1 = l_{AS1} \cdot \sin \varphi_1.$$

Похідні від цих виразів за φ_1 :

$$V_{q1x} = l_{ASI} \cdot \sin \varphi_1, \quad V_{q1y} = l_{ASI} \cdot \cos \varphi_1$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS1} = \sqrt{V_{qS1x}^2 + V_{qS1y}^2}$$

Побудуємо графіки передатних функцій і передатних відношень, що необхідні для визначення параметрів динамічної моделі в нашому прикладі.

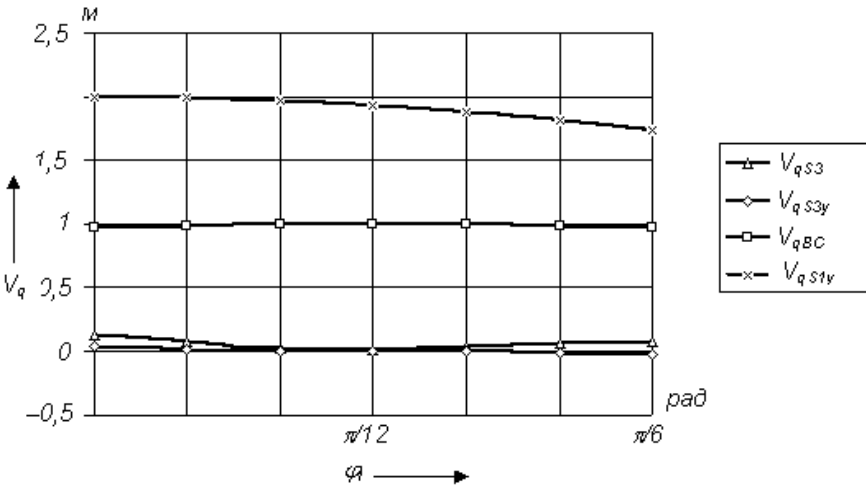


Рис. 1.53 – Діаграма лінійних передатних функцій

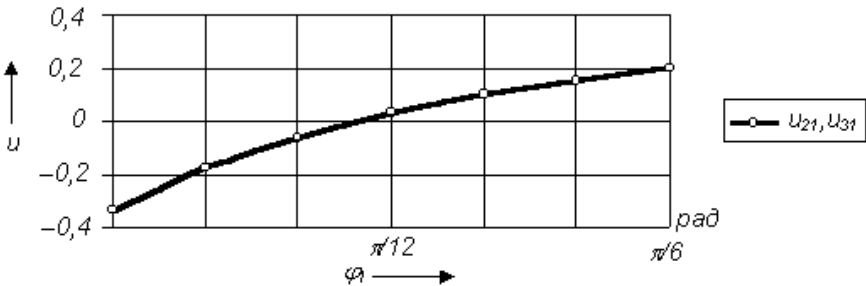


Рис. 1.54 – Діаграма передатних відношень

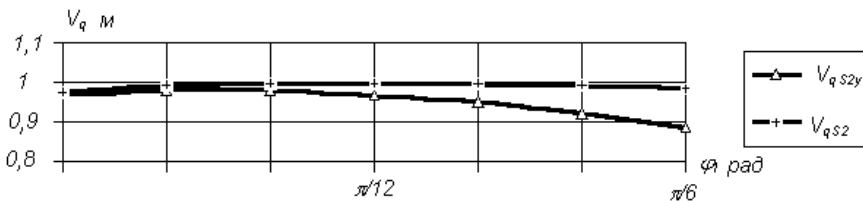


Рис. 1.55 – Діаграма передатних функцій

г) Визначення рушійної сили за умовами на початку і наприкінці циклу

Розрахунок проведемо для закону зміни рушійної сили, зображеному на рис. 1.49. Величина рушійної сили в початковому положенні механізму розраховується за формулою:

$$F_{\partial 0} = \{ k \cdot \text{abs} [G_1 \cdot V_{qS10} \cdot \cos (G_1, dS_{S10}) + G_2 \cdot V_{qS20} \cdot \cos (G_2, dS_{S20}) + G_3 \cdot V_{qS30} \cdot \cos (G_3, dS_{S30})] \} / V_{qD0} \cdot \cos (F_{\partial 0}, dS_{D0}) =$$

$$= [k \cdot \text{abs} (G_1 \cdot V_{qS1y0} + G_2 \cdot V_{qS2y0} + G_3 \cdot V_{qS3y0})] / V_{qBC0} \cdot$$

Приймаємо $k=1.1$ і одержуємо:

$$F_{\partial 0} = 1,1 \cdot \text{abs} (10000 \cdot 2 + 500 \cdot 0,97 + 1000 \cdot 0,034) / 0,967 = 23341,3 \text{ H.}$$

У кінцевому положенні величина рушійної сили розраховується за формулою:

$$F_{\partial n} = \text{abs} [G_1 \cdot V_{qS1n} \cdot \cos (G_1, dS_{S1n}) + G_2 \cdot V_{qS2n} \cdot \cos (G_2, dS_{S2n}) + G_3 \cdot V_{qS3n} \cdot \cos (G_3, dS_{S3n})] \} / V_{qDn} \cdot \cos (F_{\partial n}, dS_{Dn}) =$$

$$= \text{abs} (G_1 \cdot V_{qS1yn} + G_2 \cdot V_{qS2yn} + G_3 \cdot V_{qS3yn}) \} / V_{qBCn} \cdot$$

$$F_{\partial n} = \text{abs} (10000 \cdot 1,732 + 500 \cdot 0,984 + 1000 \cdot 0,0207) / 0,9731 =$$

$$= 18325,7 \text{ H.}$$

Значення рушійної сили в інтервалі $(\beta - \alpha) \cdot H_D$ визначимо за формулою:

$$F_{\partial}^* = \{abs(G_1H_{S1} + G_2H_{S2} + G_3H_{S3}) - [F_{\partial 0} \cdot \alpha + F_{\partial n}(1 - \beta)]H_D\} / [(\beta - \alpha)H_D].$$

Прийmemo $\alpha = 0,32$ і $\beta = 0,65$ і визначаемо переміщення центрів мас:

$$\begin{aligned} H_{S1} &= y_{1n} - y_{10} = 1 - 0 = 1 \text{ м}; \\ H_{S2} &= y_{2n} - y_{20} = 0,162 - (-0,338) = 0,5 \text{ м}; \\ H_{S3} &= y_{3n} - y_{30} = -0,364 - (-0,364) = 0; \end{aligned}$$

Після підстановки та розрахунку одержимо:

$$\begin{aligned} F_{\partial}^* &= \{abs(10000 \cdot 1 + 500 \cdot 0,5 + 1000 \cdot 0) - [23341,3(0,32 + \\ &+ 18325,7(1 - 0,65))] \cdot 0,518\} / [(0,65 - 0,32) \cdot 0,518] = \\ &= (10250 - 7191) / 0,171 = 17889 \text{ Н}. \end{aligned}$$

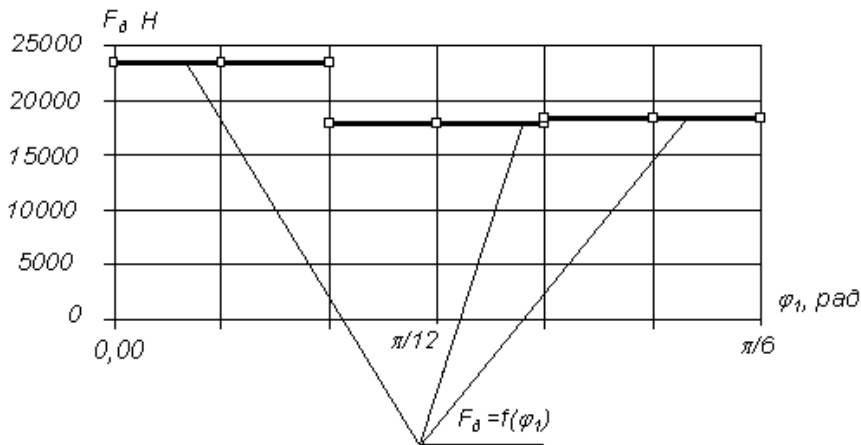


Рис. 1.56 – Діаграма рушійної сили

д) Визначення приведенного сумарного моменту та приведеного сумарного моменту сил опору.

У нашому прикладі силами опору є сили ваги ланок механізму, тому розрахунок сумарного приведеного моменту сил опору проводимо за формулою визначення приведеного моменту рушійної сили:

$$M^{np}_{\Sigma_3} = \sum_{i=1}^m G_i \cdot V_{qSi} \cdot \cos(F_i, dS_i) = \sum_{i=1}^m G_i \cdot V_{qSi}.$$

У нашому прикладі тільки одна рушійна сила, що створюється тиском рідини в гідроциліндрі. Приведений момент від цієї сили:

$$M^{np}_{F_{oi}} = F_{oi} \cdot V_{qDi} \cdot \cos(F_{oi}, V_{Di}) = F_{oi} \cdot V_{qBCi}.$$

На рис. 1.57 приведено діаграми приведених моментів: того, що рухає $M^{np}_{F_{oi}}$, опору $M^{np}_{\Sigma_3}$ і сумарного $M^{np}_{\Sigma_3} = M^{np}_{\Sigma_3} + M^{np}_{F_{oi}}$.

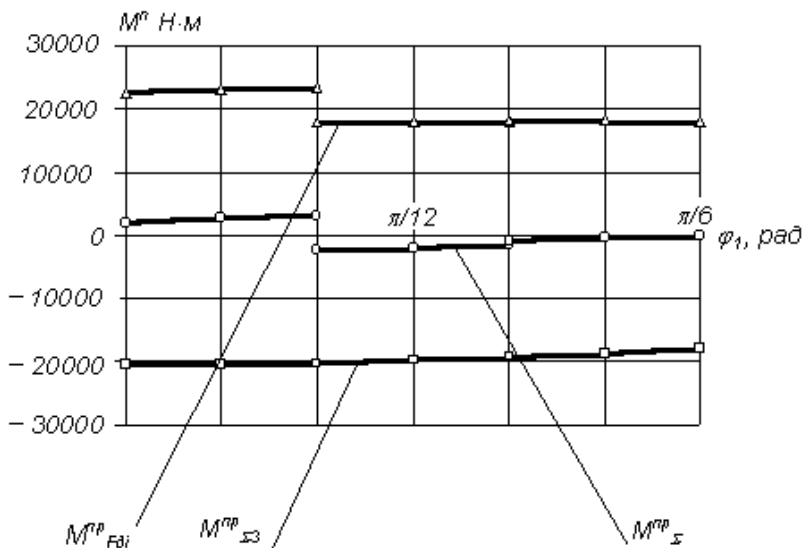


Рис. 1.57 – Діаграма приведених моментів

е) Визначення сумарного приведеного моменту інерції

У розглянутому механізмі приведений момент інерції складається з мас і моментів інерції ланок і може бути розрахований за наступним співвідношенням:

$$I_{\Sigma}^{np} = \sum_{i=1}^3 m_i \cdot (V_{qi})^2 + \sum_{i=1}^3 I_{Si} \cdot (\omega_{qi})^2 = m_1 \cdot (V_{qS1})^2 + m_2 \cdot (V_{qS2})^2 + m_3 \cdot (V_{qS3})^2 + I_{S1} \cdot (\omega_{q1})^2 + I_{S2} \cdot (\omega_{q2})^2 + I_{S3} \cdot (\omega_{q3})^2.$$

Графіки перемінної частини сумарного приведеного моменту інерції подано на рис. 1.58 і 1.59. Крім того, є і постійна частина $I_{\Sigma c}^{np}$, обумовлена масою і моментом інерції ланки I:

$$I_{\Sigma c}^{np} = m_1 \cdot (V_{q1})^2 + I_{S1} = 1000 \cdot (2)^2 + 800 = 4800 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сумарний приведений момент інерції дорівнює сумі постійної і перемінної частин:

$$I_{\Sigma}^{np} = I_{\Sigma c}^{np} + I_{\Sigma v}^{np}.$$

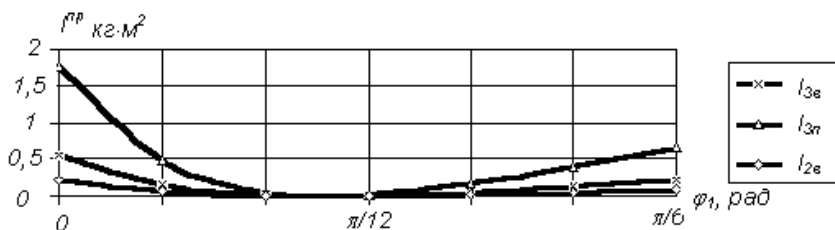


Рис. 1.58 – Діаграми приведених моментів інерції

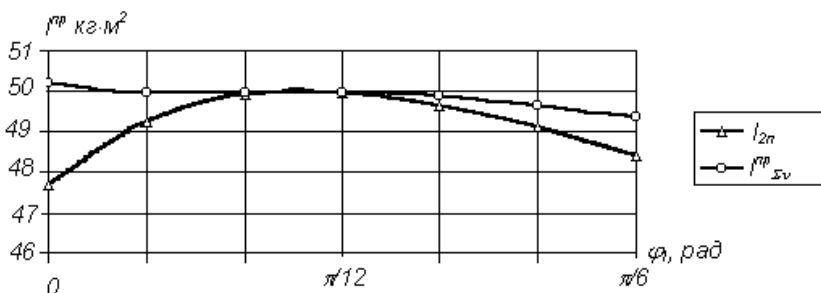


Рис. 1.59 – Діаграми приведених моментів інерції

ж) Визначення сумарної роботи зовнішніх сил

Сумарну роботу зовнішніх сил одержимо інтегруванням сумарного приведеного моменту $M_{np\Sigma}$ за узагальненою координатою $d\varphi_1$:

$$A_{\Sigma M} = \int_0^{\pi/6} M_{np\Sigma} \cdot d\varphi_1.$$

Інтегрування можна проводити різними методами. Skorистаємося методом графічного інтегрування. За цим методом (рис.1.60) ділянка зміни узагальненої координати, на якій проводиться інтегрування, розбивається на декілька малих частин (у нашому прикладі - 6). У межах кожної i -ділянки крива $M_{np\Sigma} = f(\varphi_1)$ заміняється прямою, що відповідає середньоінтегральному значенню $M_{np\Sigma i}$ на цій ділянці. На продовженні осі абсцис, вліво від початку координат відкладаємо відрізок інтегрування k_1 .

Ординати середньоінтегральних значень $M_{np\Sigma i}$ проєціюємо на вісь ординат. Точки перетинання ліній, що проєціюють, з віссю ординат з'єднуємо прямими з кінцем відрізка інтегрування. На діаграмі роботи з початку першої ділянки (і до її кінця) під кутом ψ_1 до осі абсцис проводимо пряму. Для другої ділянки аналогічна пряма проводиться під кутом ψ_2 .

Її початок вибирається в точці перетинання попереднього відрізка прямої з вертикаллю, проведеною з початку другої ділянки. Провівши побудову для всього інтервалу інтегрування, одержимо графік роботи. Масштаб цього графіка визначимо з подоби трикутників:

$$\operatorname{tg} \psi_1 = y_{Mnp\Sigma i \text{порівн}} / k_1 = y_{\Delta A \Sigma 1} / x_{\Delta \varphi 1},$$

або
$$\mu_M \cdot M_{\Sigma i \text{порівн}}^{in} / k_1 = \mu_A \cdot \Delta A_{\Sigma 1} / \mu_\varphi \cdot \Delta \varphi_1,$$

тому що
$$M_{\Sigma i \text{порівн}}^{in} = \Delta A_{\Sigma 1} / \Delta \varphi_1, \text{ то } \mu_A = \mu_M \cdot \mu_\varphi / k_1.$$

Графіки, що ілюструють побудову діаграми роботи, приведені на рис. 1.60 і 1.61.

з) Визначення кутової швидкості ланки приведення

Визначення закону руху ланки приведення у вигляді діаграми зміни кутової швидкості у функції узагальненої координати $\omega_1 = f(\varphi_1)$ проводиться за формулою:

$$\omega_{li} = \sqrt{\frac{2(A_{Mnp\Sigma i} + T_{ноч})}{I_{\Sigma i}^{np}}}$$

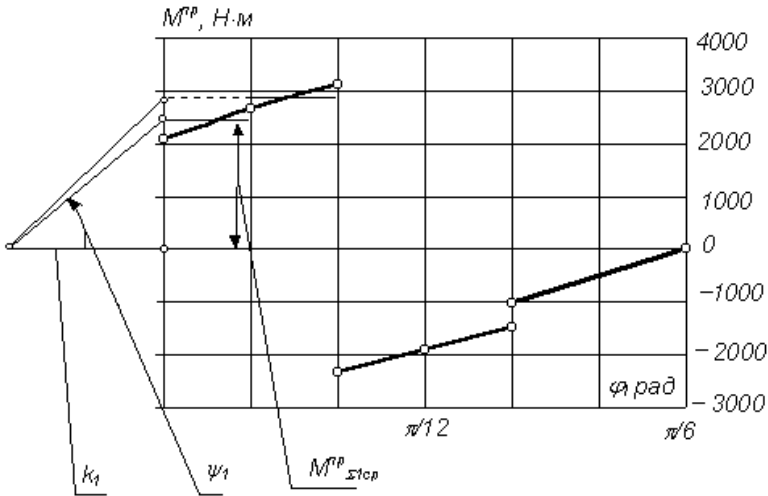


Рис. 1.60 – Діаграма приведеного сумарного моменту

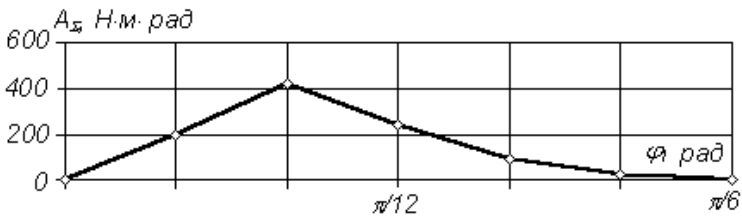


Рис. 1.61– Діаграма сумарної роботи

Для машин, що працюють у режимі «пуск-останов» $\omega_{ноч}=0$ і $T_{ноч} = 0$, формула набуває вигляду:

$$\omega_{li} = \sqrt{2A_{Mnp\Sigma i} / I_{\Sigma i}^{np}}$$

Діаграму $\omega_l = f(\varphi_l)$ приведено на рис. 1.62.

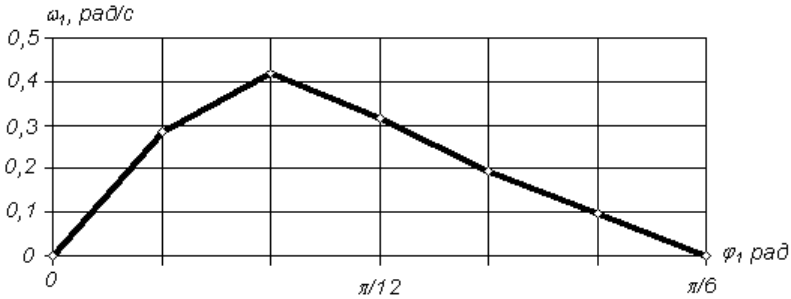


Рис. 1.62 – Діаграма кутової швидкості ланки приведення

i) Визначення часу циклу

Час циклу визначається за діаграмою $t = f(\phi_1)$. Для побудови цієї діаграми проведемо інтегрування діаграми кутової швидкості:

$$d\phi_1 / dt = \omega_1 \Rightarrow dt = d\phi_1 / \omega_1, \quad t = \int_0^{\pi/6} \frac{1}{\omega_1} d\phi_1.$$

Скористаємося методом графічного інтегрування зворотної величини. При цьому ділянка зміни узагальненої координати, на якій проводиться інтегрування, розбивається на кілька малих ділянок.

У межах кожної i -ї ділянки крива $\omega_1 = f(\phi_1)$ заміняється прямою, що відповідає середньоінтегральному значенню $\omega_{1\text{порієн } i}$ на цій ділянці. На осі ординат відкладаємо відрізок інтегрування k_2 (рис. 1.63).

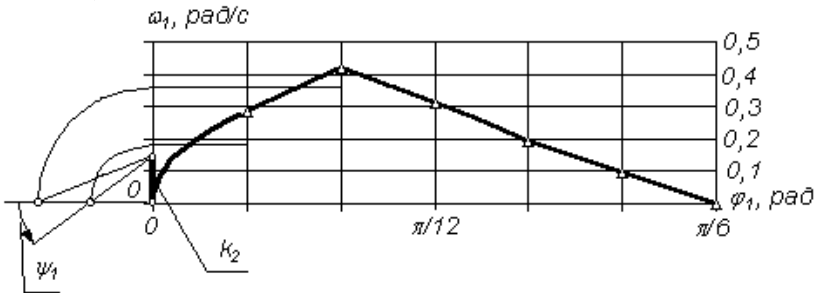


Рис. 1.63 – Діаграма кутової швидкості ланки приведення

Ординати середньо інтегральних значень $\omega_{1\text{ср } i}$ проєціюємо на вісь ординат. Точки перетинання ліній, що проєціюють, з віссю ординат переносимо по дугах окружності на продовження осі абсцис.

Отримані на осі абсцис точки з'єднуємо прямими лініями з кінцем відрізка інтегрування. З початку першої ділянки (на діаграмі часу) і до її кінця під кутом ψ_1 до осі абсцис проводимо пряму лінію.

Для другої ділянки аналогічна пряма проводиться під кутом ψ_2 . Її початок вибирається в точці перетинання попереднього відрізка прямої з вертикаллю, проведеною з початку другої ділянки. Провівши побудову для всього інтервалу інтегрування, одержимо (рис. 1.64) графік часу. Масштаб графіка визначимо з подоби трикутників:

$$\operatorname{tg} \psi_1 = k_2 / y_{\omega 1 \text{норієн}1} = y_{\Delta t_1} / x_{\Delta \varphi_1},$$

або: $k_1 / \mu_{\omega} \cdot \omega_{1 \text{норієн}1} = \mu_t \cdot \Delta t_1 / \mu_{\varphi} \cdot \Delta \varphi_1,$

зважаючи що: $1 / \omega_{1 \text{норієн}1} = \Delta t_1 / \Delta \varphi_1,$

то: $\mu_{\omega} = k_2 \cdot \mu_{\varphi} / \mu_{\omega}.$

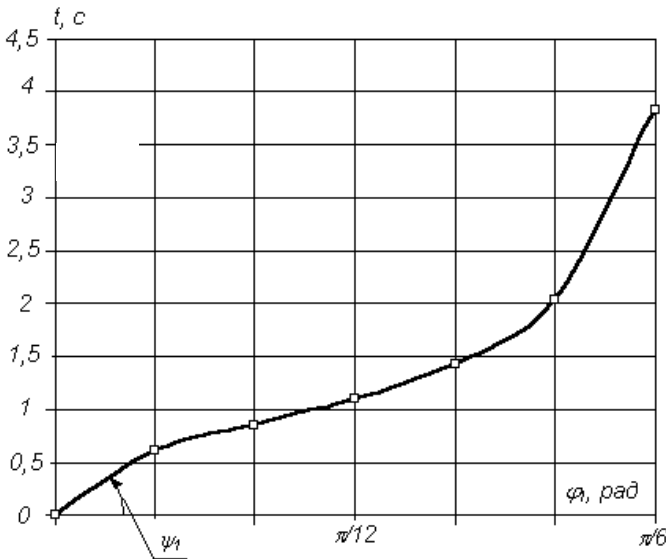


Рис. 1.64 – Діаграма часу

к) Побудова діаграми кутової швидкості у функції часу

Діаграма кутової швидкості $\omega_1 = f(t)$ в функції часу будується за діаграмами $\omega_1 = f(\varphi_1)$ і $t = f(\varphi_1)$, виключенням перемінної φ_1 (рис. 1.65).

л) Визначення кутового прискорення ланки приведення
 Для розрахунку кутового прискорення ланки приведення $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$ можна скористатися двома різними залежностями:

$$1) \varepsilon_1 = d\omega_1/dt = d\omega_1/d\varphi_1 \cdot d\varphi_1/dt = \omega_1 \cdot d\omega_1/d\varphi_1,$$

$$2) \varepsilon_1 = d\omega_1/dt = M^{in}_{\Sigma} / I^{np}_{\Sigma} - \omega_1^2 / (2 \cdot I^{np}_{\Sigma}) \cdot (dI^{np}_{\Sigma} / d\varphi_1).$$

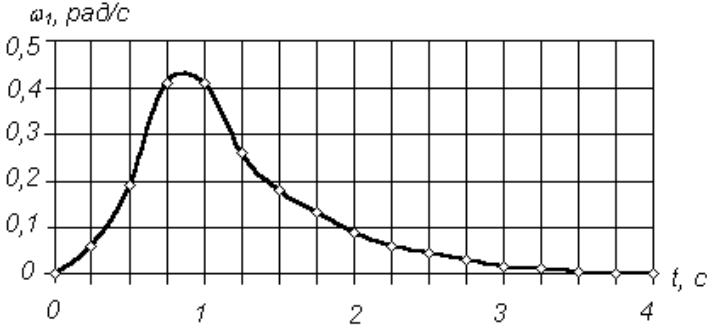


Рис. 1.65 – Діаграма кутової швидкості від часу

Застосування першої формули призводить до великих помилок, тому що вона ґрунтується на використанні однієї з кінцевих залежностей розрахунку $\omega_1 = f(\varphi_1)$.

Крім того, у точках з нульовими значеннями ω_1 розрахунок за цією формулою дає невірний результат $\varepsilon_1 = 0$.

Проведемо розрахунок залежності $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$ за другою формулою (рис. 1.66). Діаграму функції $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$ приведено на рис. 1.66.

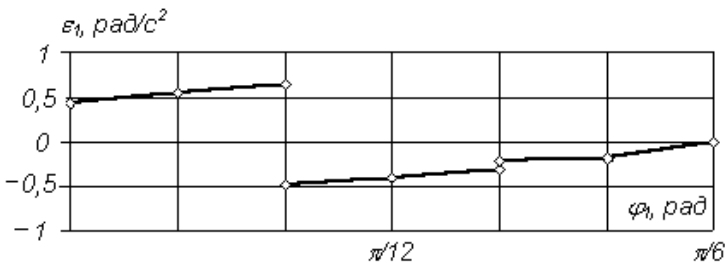


Рис. 1.66 – Діаграма кутового прискорення ланки приведення

1.6.2 Сталій режим руху машини

Сталій режим руху машини настає тоді, коли робота зовнішніх сил за цикл не змінює її енергії, тобто сумарна робота зовнішніх сил за цикл руху дорівнює нулю. Сталій рух $\Rightarrow A_{\delta}^u = A_c^u$, $A_{\Sigma}^u = \Delta T = 0$,

$$\text{де } A_{\delta \Sigma M}^u = \int_{\varphi_{10}}^{\varphi_{10} + \Delta \varphi_M} M_{\delta}^{np} \cdot d\varphi_1 \text{ і } A_{\delta \Sigma M}^u = \int_{\varphi_{10}}^{\varphi_{10} + \Delta \varphi_M} M_c^{np} \cdot d\varphi_1 \text{ - відповідно}$$

робота за цикл рушійних сил і сил опору;

φ_{10} – початкове значення узагальненої координати;

$\Delta \varphi_M$ – збільшення узагальненої координати за цикл.

В межах циклу поточне значення сумарної роботи не дорівнює нулю. Робота може бути додатною або від'ємною. За додатної величини роботи машина збільшує свою кінетичну енергію за рахунок збільшення швидкості, тобто розганяється.

На ділянках, де сумарна робота є від'ємною, кінетична енергія і швидкість машини зменшуються, машина пригальмовується.

У сталому режимі (рис. 1.67) величини збільшення швидкості на ділянках розгону і зниження на ділянках гальмування за цикл є різними, тому середня швидкість руху $\omega_{1\text{порівн}} = \text{const}$ – постійна.

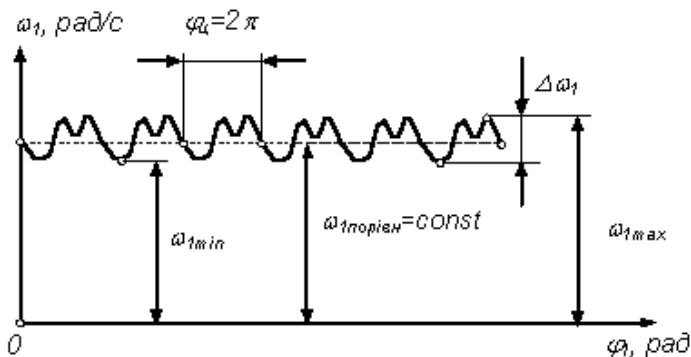


Рис. 1.67 – Сталій режим руху машини

У машинах, приведений момент інерції яких залежить від узагальненої координати, на нерівномірність руху впливає величина зміни приведенного моменту інерції. Коливання швидкості зміни узагаль-

неної координати машини не справляють прямого впливу на фундамент машини. Тому ці коливання й їхні причини визначають так звану внутрішню віброактивність машини.

Величина амплітуди коливань швидкості $\Delta\omega_I$ визначається різницею між максимальною $\omega_{I\max}$ і мінімальною $\omega_{I\min}$ швидкостями. За міру виміру коливань швидкості у сталому режимі прийнято відносну величину, яка називається коефіцієнтом зміни середньої швидкості:

$$\delta = \Delta\omega_I / \omega_{I\text{середн}} = (\omega_{I\max} - \omega_{I\min}) / \omega_{I\text{середн}},$$

де $\omega_{I\text{середн}} = (\omega_{I\max} + \omega_{I\min}) / 2$ – середня кутова швидкість машини.

Для різних машин, залежно від вимог нормального функціонування (обриви ниток у прядильних машинах, зниження чистоти поверхні в металорізальних верстатах, нагріву обмоток і зниження ККД в електрогенераторах і т.д.), допускаються різні максимальні значення коефіцієнта зміни середньої швидкості. Існуюча нормативна документація встановлює наступні припустимі значення коефіцієнта нерівномірності $[\delta]$:

- дробарки $[\delta] = 0,2 \dots 0,1$;
- преси, кувальні машини $[\delta] = 0,15 \dots 0,1$;
- насоси $[\delta] = 0,05 \dots 0,03$;
- металорізальні верстати нормальної точності $[\delta] = 0,05 \dots 0,01$;
- металорізальні верстати прецизійні $[\delta] = 0,005 \dots 0,001$;
- двигуни внутрішнього згорання $[\delta] = 0,015 \dots 0,005$;
- електрогенератори $[\delta] = 0,01 \dots 0,005$;
- прядильні машини $[\delta] = 0,02 \dots 0,01$.

Щоб знизити внутрішню віброактивність і нерівномірність руху застосовуються різні методи:

– зменшення впливу нерівномірності зовнішніх сил (наприклад, застосування багатоциліндрових ДВЗ, насосів і компресорів з раціональним розподілом робочих процесів у циліндрах);

– зменшення впливу змінності приведенного моменту інерції (теж забезпечується збільшенням числа циліндрів у поршневих машинах, а також зменшенням мас і моментів інерції деталей, приведений момент інерції яких залежить від узагальненої координати);

– встановлення на валах машини відцентрових регуляторів або акумуляторів кінетичної енергії – маховиків;

– активне регулювання швидкості з використанням систем автоматичного керування, включаючи і комп'ютерне керування.

Розглянемо докладно найбільш простий спосіб регулювання нерівномірності обертання – установку додаткової махової маси або маховика.

Маховик у машині виконує роль акумулятора кінетичної енергії. При розгоні частина дотичної роботи зовнішніх сил витрачається на збільшення кінетичної енергії маховика і швидкість, до якої розганяється система, стає менше, при гальмуванні маховик віддає накопичену енергію назад у систему і величина зниження швидкості машини зменшується.

Сказане ілюструється графіками, зображеними на рис. 1.68.

На цьому рисунку: $\Delta\omega_1$ – зміна кутової швидкості до установки маховика; $\Delta\omega_1^*$ – після установки маховика. Звідси можна зробити висновок: чим більше додаткова махова маса, тим менше зміна $\Delta\omega_1^*$ і коефіцієнт нерівномірності δ .

З теореми про зміну кінетичної енергії можна записати:

$$\Delta T = T - T_{нач} = A_{\Sigma}, \text{ де } \Delta T = \Delta T_I + \Delta T_{II} = A_{\Sigma} \text{ і } T_I = I^{pp}_I \cdot \omega_1^2 / 2 .$$

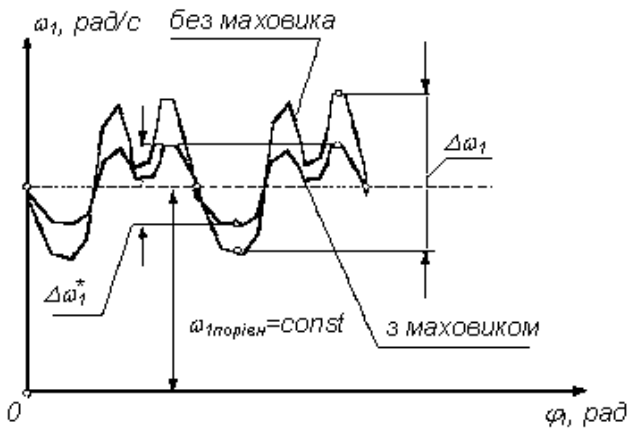


Рис. 1.68 – Визначення закону руху $\Delta\omega_1 = f(\varphi)$ і приведеного моменту інерції I^{pp}_I

Якщо допустити, що $\Delta T_I \approx dT_I$, то $dT_I = I^{pp}_I \cdot \omega_1 \cdot d\omega_1$. Оскільки при усталеному русі $\Delta\omega_1 \ll \omega_1$, то можна вважати, що $\omega_1 \approx \omega_{1порівн}$.

Тоді, переходячи до кінцевих збільшень, одержимо:

$$\Delta T_I \approx I^{np}_I \cdot \omega_{I_{норієн}} \cdot \Delta \omega_I,$$

відкіля:

$$\Delta \omega_I \approx \Delta T_I / I^{np}_I \cdot \omega_{I_{норієн}}.$$

Оскільки: $I^{np}_I \cdot \omega_{I_{норієн}} = const,$

можна записати, що: $\Delta T_{I_{max}} \approx I^{np}_I \cdot \omega_{I_{норієн}} \cdot \Delta \omega_{I_{max}}$

де $\Delta T_{I_{max}}$ – зміна кінетичної енергії першої групи ланок за цикл;

$\Delta \omega_{I_{max}}$ – зміна кутової швидкості за цикл.

Підставимо в цю формулу вираз для коефіцієнта нерівномірності $\delta = \Delta \omega_{I_{max}} / \omega_{I_{норієн}}$ і одержимо формулу для розрахунку приведенного моменту інерції першої групи, що забезпечує заданий коефіцієнт нерівномірності:

$$I^{np}_I = \Delta T_{I_{max}} / (\delta \cdot \omega_{I_{норієн}}^2).$$

Визначення моменту інерції додаткової махової маси маховика

Розглянемо визначення маховика для одноциліндрового поршневого насоса. У першу групу ланок у цьому прикладі входять: ротор електродвигуна $I_{рот}$, деталі редуктора $I^{np}_{ред}$, кривошипний вал I_{OI} і маховик I_M :

$$I^{np}_I = I^{np}_{рот} + I^{np}_{ред} + I_{OI} + I_M,$$

звідки момент інерції маховика:

$$I_M = I^{np}_I - (I^{np}_{ред} + I_{OI} + I_M).$$

Рішення задачі регулювання ходу машини за методом Н.І. Мерцалова.

При розрахунку маховика (або рішенні задачі регулювання ходу машини) за методом Н.І. Мерцалова задача вирішується в наступній послідовності:

- визначаються параметри динамічної моделі, наприклад, для ДВЗ M^{np}_δ – приведений сумарний момент рушійних сил і I^{np}_{II} – приведений момент інерції другої групи ланок;
- визначається робота рушійних сил A_δ інтегруванням функції $M^{np}_\delta = f(\varphi_I)$ за цикл руху машини (допустимо 2π);

– визначається робота рушійних сил за цикл і прирівнюється до роботи сил опору $A_{\delta}^y = \int A_c^y /$. З цієї рівності визначається середньо інтегральне значення моменту сил опору $M_{ср}^{np} = A_c^y / (2\pi)$, і для нього будується діаграма роботи $A_c = f(\varphi_I)$.

– підсумовуванням цієї діаграми і діаграми $A_{\delta} = f(\varphi_I)$ одержуємо діаграму $A_{\Sigma} = f(\varphi_I)$;

– робиться припущення $\omega_I \approx \omega_{Iпорівн}$, при якому:

$T_{II} \approx I_{II}^{np} \cdot \omega_{Iпорівн}^2 / 2$ (перше припущення методу Мерцалова), і визначається $T_{II} = f(\varphi_I)$;

– визначається кінетична енергія першої групи ланок:

$$T_I = A_{\Sigma} - T_{II} + T_{нач} = A_{\Sigma} - T_{II} + T_{Iнач} + T_{IIнач}.$$

Оскільки початкові значення кінетичної енергії не відомі, то врівноважуючи, що

$$T_{нач} = T_{Iнач} + T_{IIнач}, \quad \Delta T_I = T_I - T_{Iнач}, \quad \Delta T_{II} = T_{II} - T_{IIнач},$$

одержимо $\Delta T_I = A_{\Sigma} - \Delta T_{II}$, тобто, віднімаючи із сумарної роботи збільшення кінетичної енергії другої групи, одержимо збільшення кінетичної енергії першої групи.

– за функцією $\Delta T_I = f(\varphi_I)$ визначається максимальна зміна кінетичної енергії за цикл ΔT_{Imax} . Другий раз робимо припущення що $\omega_I \approx \omega_{Iпорівн}$ на підставі якого, як було показано вище, можна записати:

$$I_{I}^{np} = \Delta T_{Imax} / (\delta \cdot \omega_{Iпорівн}^2).$$

З цього виразу, визначивши попередньо ΔT_{Imax} , можна вирішити дві задачі:

- задачу синтезу – за заданого $[\delta]$ визначити необхідний для його забезпечення приведений момент інерції $I_{Iнб}^{np}$;

- задачу аналізу – за заданого I_{I}^{np} визначити забезпечуваний ним коефіцієнт нерівномірності δ .

Алгоритм вирішення прямої задачі динаміки при сталому режимі руху машини

Вирішення цієї задачі розглянемо на конкретному прикладі машинного агрегату приводу бурової установки (рис. 1.69).

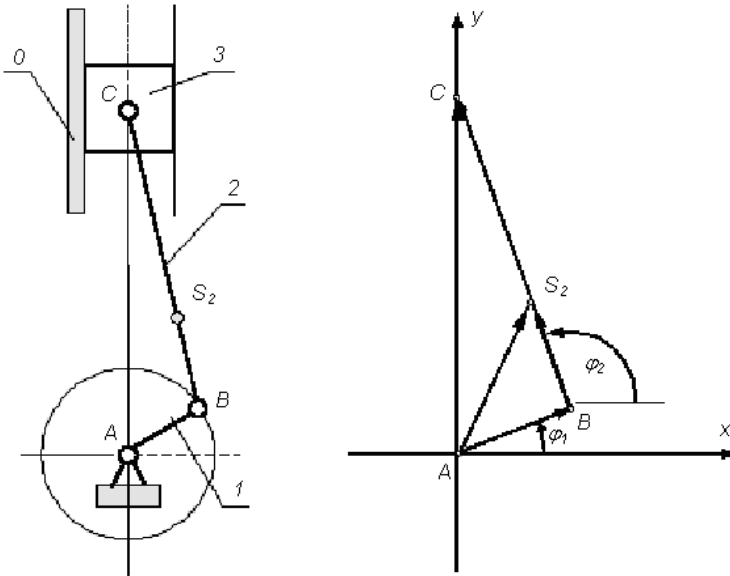


Рис. 1.69 – Схема механізму та векторні контури

Дано:

кінематична схема машини – $l_{AB} = 0,12 \text{ м}$,

$l_{BC} = 0,528 \text{ м}$,

$l_{BS_2} = 0,169 \text{ м}$;

середня частота обертання кривошипа – $\omega_{I_{порівн}} = 47,124 \text{ рад/с}$;

маси ланок – $m_2 = 24,2 \text{ кг}$, $m_3 = 36,2 \text{ кг}$;

моменти інерції – $I_{2S} = 1,21 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_{10} = 2,72 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

максимальний тиск у циліндрі – $p_{max} = 4,4 \text{ МПа}$;

коефіцієнт нерівномірності обертання $[\delta] = 1/80$;

індикаторну діаграму наведено на рис. 1.70.

Визначити: закон руху машини $\omega_1 = f(\varphi_1)$ і $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$, момент інерції маховика $I_{дон}$, що забезпечує задану нерівномірність обертання $[\delta]$.

а) Визначення параметрів динамічної моделі: M^{np}_δ – приведенного сумарного моменту рушійних сил і I^{np}_{II} – приведенного моменту інерції другої групи ланок.

б) Визначення перших кінематичних передатних функцій. Визначення кінематичних передатних функцій для ланок механізму u_{21}

$= u_{31}$, центрів мас Vq_1 , Vq_2 і Vq_3 і точки прикладення рушійної сили Vq (рис 1.71).

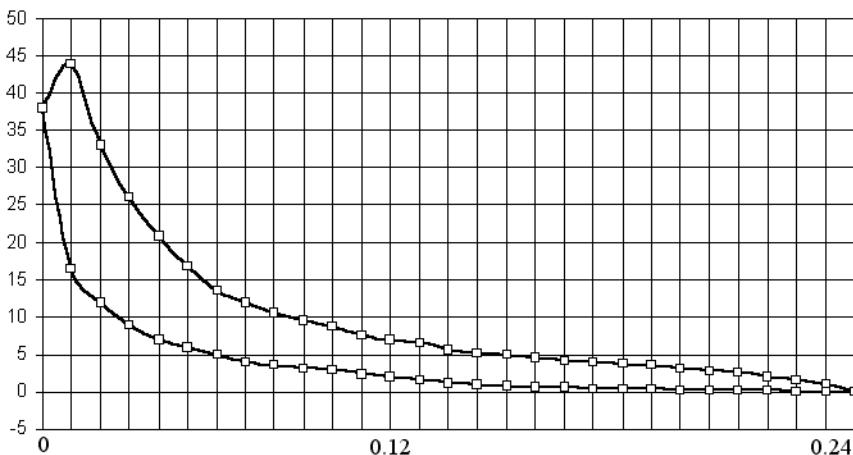


Рис.1.70 – Індикаторна діаграма

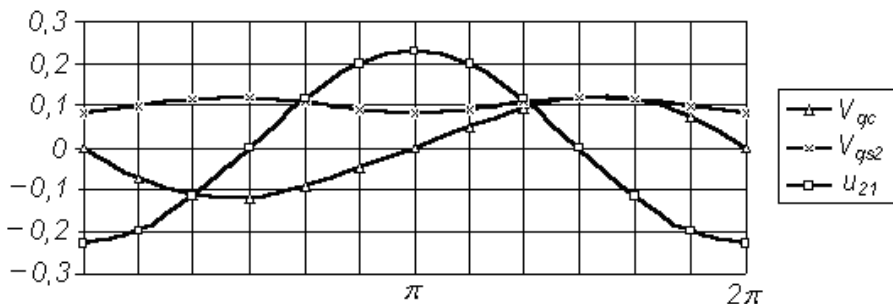


Рис. 1.71 – Діаграми передатних функцій

Для визначення цих функцій скористаємося методом проєкцій векторного контуру механізму.

Розглянемо наступні векторні контури, зображені на рис. 1.69 поруч зі схемою механізму:

$$\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB},$$

$$\vec{l}_{AS2} = \vec{l}_{AB} + \vec{l}_{BS2}.$$

Для першого векторного контуру $\vec{l}_{AB} + \vec{l}_{CB} = \vec{l}_{AC}$ проекції на осі координат:

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot \cos \varphi_2 = x_C = 0,$$

$$l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 + l_{CB} \cdot \sin \varphi_2 = y_C = S_C,$$

$$\varphi_2 = \arccos(-l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 / l_{CB}).$$

Похідні від цих виразів:

$$-l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2 = 0,$$

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2 = V_{qc}$$

дозволяють визначити перші передатні функції:

$$u_{21} = -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 / (l_{CB} \cdot \sin \varphi_2),$$

$$V_{qc} = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2.$$

$$x_2 = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{BS2} \cdot \cos \varphi_2,$$

$$y_2 = l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 + l_{BS2} \cdot \sin \varphi_2.$$

Похідні від цих виразів:

$$V_{qs2x} = -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2,$$

$$V_{qs2y} = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qs2} = \sqrt{V_{qs2x}^2 + V_{qs2y}^2}.$$

в) Визначення приведенного моменту русійних сил M^{mp}_o

Індикаторну діаграму (рис. 1.70) будемо за заданим значенням тиску в циліндрі двигуна. Відрізок ходу поршня $H_C \cdot \mu_i$ поділяємо на 10 інтервалів. У кожній точці розподілу будемо ординату діаграми, задаючи (при $p_i/p_{max} = 1$) максимальною ординатою u_{pmax} .

Тоді поточне значення ординати $y_{pi} = y_{pmax} \cdot (p_i/p_{max})$,
 де $p_{max} = 4.4 \text{ МПа}$.

Масштаб індикаторної діаграми $\mu_p = y_{pmax}/p_{max}$.

Площа поршня $S_n = (\pi \cdot d_n^2)/4$.

При побудові графіка сили, що діє на поршень, ординати графіка приймаємо рівними ординатам індикаторної діаграми. Масштаб сили $\mu_F = \mu_p/S_n$.

Для досліджуваного механізму приведений сумарний момент (рис. 1.72) складається з двох складових: рушійної сили і моменту сил опору

$$M^{np}_{\Sigma} = M^{np}_{\delta} + M^{np}_{c}$$

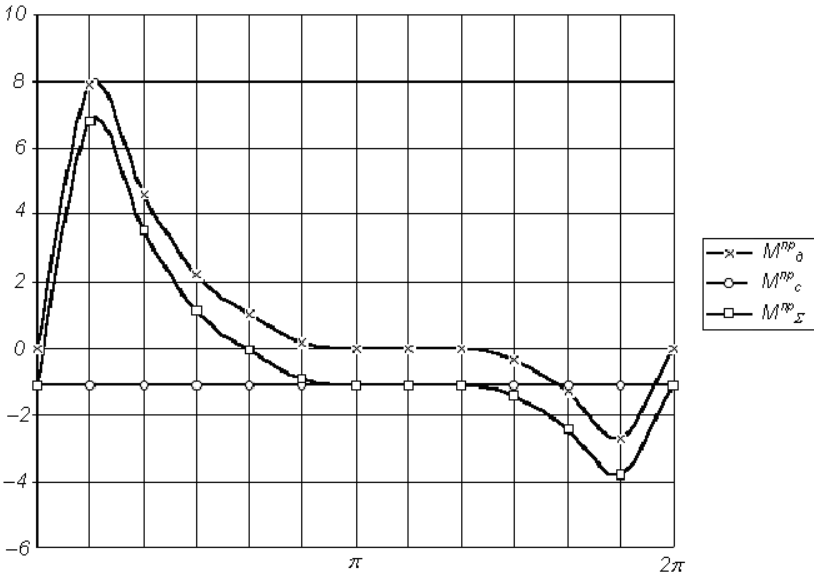


Рис.1.72 – Діаграма приведеного рушійного моменту

Приведений момент рушійної сили визначається в поточному положенні механізму за формулою:

$$M^{np}_{\delta} = F_{\delta i} \cdot V_{qCi} \cdot \cos(\angle F_{\delta i}, V_{qCi}),$$

де $F_{\delta i}$ – значення рушійної сили.

$$F_{\partial i} = y_{F\partial i} / \mu_F,$$

де $y_{F\partial i}$ – ордината сили опору;

μ_F – масштаб діаграми сил;

V_{qCi} – значення передатної функції в розглянутому положенні механізму;

$(\hat{F}_{\partial i}, \hat{V}_{qCi})$ – кут між вектором сили і вектором швидкості точки її прикладання.

Масштаб діаграми по осі абсцис визначається за формулою $\mu_\varphi = b / 2 \cdot \pi$, де b – база діаграми (відрізок осі абсцис, що зображує цикл зміни узагальненої координати).

г) Побудова діаграми приведених моментів інерції (рис. 1.73)

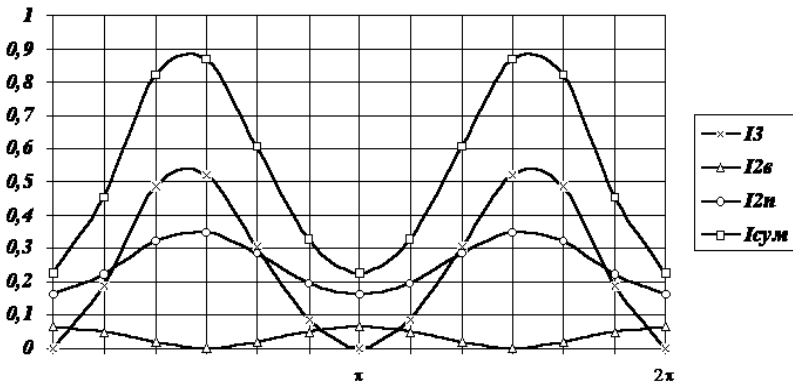


Рис. 1.73 – Діаграма приведених моментів інерції

Інерційні характеристики ланок механізму в його динамічній моделі представлені сумарним приведеним моментом інерції I_Σ .

При розрахунку ця характеристика динамічної моделі представляється у вигляді суми двох складових перемінної $I_v^{np} = I_{II}^{np}$ і постійної $I_c^{np} = I_I^{np}$.

Перша визначається масами і моментами інерції ланок, передатні функції яких є постійними, друга – масами і моментами інерції ланок, передатні функції яких є змінними.

Проведемо розрахунок перемінної частини приведенного моменту інерції $I_v^{np} = I_{II}^{np}$.

Для розглянутого механізму в другу групу ланок входять ланки 2 і 3. Ланка 3 виконує поступальний рух, ланка 2 – плоский.

Розрахунок перемінної частини приведенного моменту проводиться за наступними залежностями:

$$I_v^{np} = I_{II}^{np} = I_{2B}^{np} + I_{2II}^{np} + I_3^{in},$$

де: $I_{2II}^{np} = m_2 \cdot Vq_2^2, \quad I_{2B}^{np} = I_{S2} \cdot u_{2I}^2, \quad I_3^{in} = m_3 \cdot VqC^2.$

д) Побудова діаграм роботи рушійної сили, сил опору і сумарної роботи

Діаграму роботи рушійної сили одержимо, інтегруючи діаграму її приведенного моменту:

$$A_\delta = \int_0^{\pi/6} M_\delta^{in} \cdot d\varphi_1.$$

Інтегрування проведемо графічним методом (рис. 1.74), прийнявши при цьому відрізок інтегрування рівним k_I . Тоді масштаб отриманої діаграми роботи рушійної сили дорівнюватиме:

$$tg \psi_I = y_{\Delta A_\delta} / x_{\Delta\varphi_1} = y_{M^{np}\delta I} / k_I \Rightarrow \Delta A_\delta \cdot \mu_A / (\Delta\varphi_1 \cdot \mu_\varphi) = M^{np}_{\delta I} \cdot \mu_M / k_I;$$

оскільки $\Delta A_\delta / \Delta\varphi_1 = M^{np}_{\delta I}$, то $\mu_A / \mu_\varphi = \mu_M / k_I$, відкіля $\mu_A = \mu_M \cdot \mu_\varphi / k_I$.

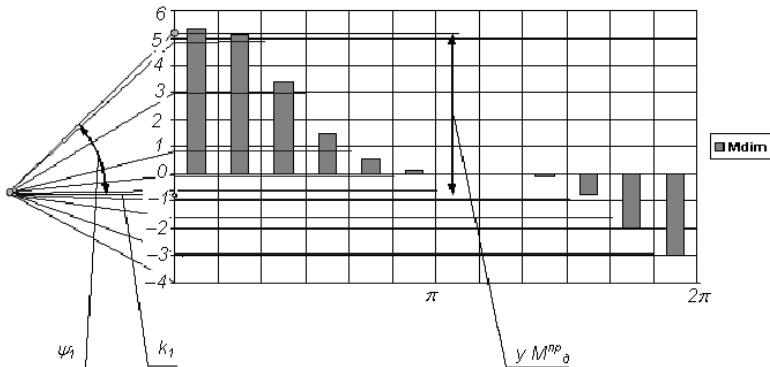


Рис. 1.74 – Діаграма середніх значень приведенного рушійного моменту за інтервалами

Величина середнього інтегрального моменту сил опору визначається за формулою:

$$M_{cp}^{np} = A_c^u / (2\pi).$$

е) Побудова діаграм кінетичних енергій.

Діаграми кінетичних енергій для першої і другої груп ланок одержуємо на підставі теореми про зміну кінетичної енергії системи:

$$\Delta T = T - T_{поч}$$

$$A_{\Sigma} = \Delta T_I + \Delta T_{II}.$$

Графік кінетичної енергії другої групи ланок одержимо в залежності:

$$T_{II} = (I_{II}^{in} \cdot \omega_{Iпорівн}^2) / 2,$$

приймаючи, що $\omega_I \approx \omega_{Iпорівн}$.

Тоді діаграма приведенного моменту інерції другої групи ланок у масштабі, розрахованому за формулою:

$$I_{II}^{np} \cdot \mu_I = ((I_{II}^{np} \cdot \omega_{Iпорівн}^2) / 2) \cdot \mu_T,$$

відкля $\mu_T = 2 \cdot \mu_I / \omega_{Iпорівн}^2$, відповідає діаграмі кінетичної енергії T_{II} .

Графік кінетичної енергії першої групи ланок приблизно будуємо за рівнянням

$$T_I = T - T_{II}.$$

У кожному положенні механізму з ординат кривої $A_{\Sigma} = f(\varphi_1)$ віднімаємо ординати u_{II} і одержуємо ординати шуканої діаграми $T_I = f(\varphi_1)$.

Для цього необхідно ординати діаграми $T_{II} = f(\varphi_1)$ з масштабу μ_T перевести в масштаб μ_A^* за формулою:

$$u_{II}^* = u_{II} \cdot \mu_A^* / \mu_T.$$

Діаграму кінетичної енергії першої групи ланок представлено на рис.1.75.

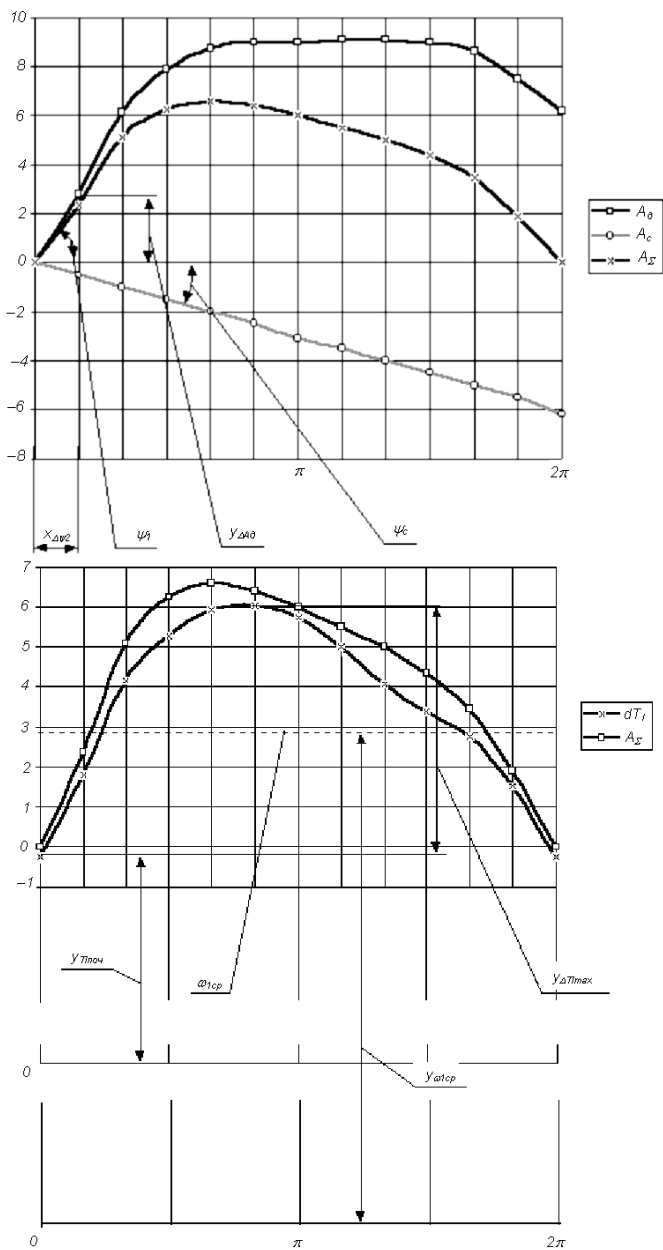


Рис. 1.75 – Діаграми роботи, кінетичної енергії T_1 та кутової швидкості ланки приведення

Гальмування або вибіг машини відбувається тоді, коли робота рушійних сил є меншою за роботу сил опору за цикл, а сумарна робота сил за робочий цикл машини менше нуля ($A_p^u < A_{on}^u$, $A_{\Sigma}^u < 0$).

Існує велика кількість машин і механізмів: гідропідійомники, маніпулятори, механізми керування металевими апаратами, механізми шасі, механізми автоматичних дверей і багато інших, виконавча ланка яких переміщається з початкового положення в кінцеве.

При цьому на початку і наприкінці циклу руху виконавча ланка нерухома. Такий режим руху механізму називається режимом «пуск-зупинка».

Механізм починає рух зі стану спокою, наприкінці циклу вихідна ланка механізму повинна зупинитися і зафіксуватися в заданому положенні.

Можливі наступні варіанти зупинки вихідної ланки: коли зупинка відбувається з жорстким ударом (рис. 1.46), тобто кутова швидкість $\omega_{ln} > 0$, а від'ємне кутове прискорення $\varepsilon_{ln} \rightarrow \infty$; зупинка з м'яким ударом (рис. 1.47), коли кутова швидкість $\omega_{ln} = 0$, а від'ємне кутове прискорення $\varepsilon_{ln} \neq 0$. Для динамічної моделі в кінцевому положенні:

$$\omega_{ln} = \sqrt{\frac{2(A_{\Sigma n} + T_{ноч})}{I_{\Sigma n}^{np}}}$$

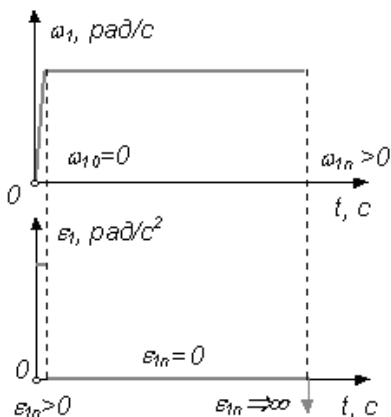


Рис. 1.46 – Жорсткий удар

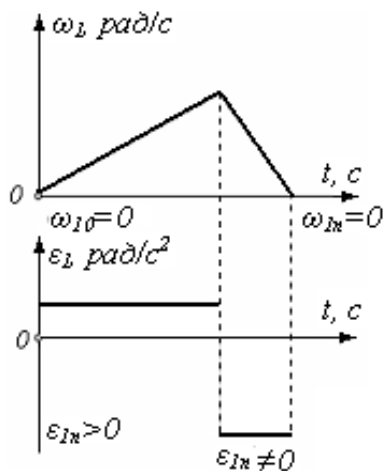


Рис. 1.47 – М'який удар

Якщо $T_{noc} = 0$, $I_{\Sigma n}^{np} > 0$, то при $A_{\Sigma n} = 0$ відбудеться безударна зупинка або зупинка з утриманням у кінцевому положенні (рис. 1.48) $\omega_{1n} = 0$, $\varepsilon_{1n} = 0$. У цьому випадку до умови $\omega_{1n} = 0$ додається умова $\varepsilon_{1n} = 0$. Для динамічної моделі в кінцевому положенні:

$$\varepsilon_{1n} = d\omega_{1n} / dt = M_{\Sigma n}^{in} / I_{\Sigma n}^{np} - \omega_{1n}^2 / (2 \cdot I_{\Sigma n}^{np}) \cdot (dI_{\Sigma n}^{np} / d\varphi_1).$$

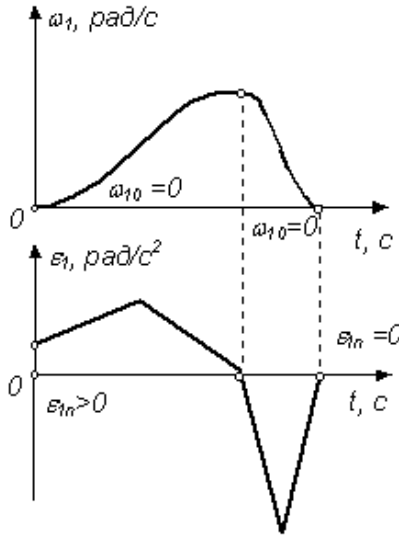


Рис. 1.48 – Безударна зупинка об'єкта в кінцевому положенні з фіксацією

Якщо $\omega_{1n} = 0$, $I_{\Sigma n}^{np} > 0$, то $\varepsilon_{1n} = 0$ при $M_{\Sigma n}^{in} = 0$. У такий спосіб при зупинці з м'яким ударом необхідно виконати умову:

$$\omega_{1n} = 0 \Rightarrow A_{\Sigma n} = 0.$$

При безударній зупинці і фіксації об'єкта в кінцевому положенні потрібно виконати одночасно дві умови:

$$\omega_{1n} = 0 \Rightarrow A_{\Sigma n} = 0; \quad \varepsilon_{1n} = 0 \Rightarrow M_{\Sigma n}^{in} = 0.$$

Для того, щоб виконати умови початку руху і зупинки вихідної ланки в кінцевому положенні, необхідно відповідним чином вибрати закон зміни рушійних або керуючих сил. Дві можливі діаграми зміни рушійних сил подано на рис. 1.49.

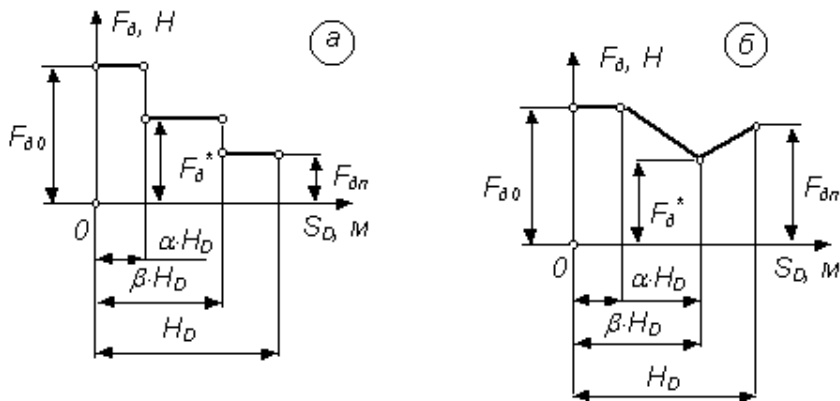


Рис. 1.49 – Типові діаграми рушійної сили

Визначення величин сил на цих діаграмах здійснюється з розглянутих вище умов.

Виведемо формули для розрахунку сил, використовуючи як приклад механізм гідравлічного підйомника, схема якого наведено на рис. 1.50.

Гідропідйомник повертає платформу (ланка 1) на заданий кут $\Delta\varphi_1$, при цьому центр мас S_1 піднімається на висоту H_{S1} під дією сили тиску в гідроциліндрі F_{∂} , закон зміни якої за цикл визначається однією з діаграм, зображених на рис. 1.49.

1. Визначення величини сили $F_{\partial 0}$ за умови початку руху $\epsilon_{10} > 0$

$$k \cdot abs (M_{\partial 0}^{np}) = M_{\partial 0}^{np},$$

де $k = 1.05 \dots 2$ - коефіцієнт запасу за моментом для розгону системи.

Розкриваючи це рівняння, отримаємо:

$$k \cdot abs [G_1 \cdot Vq_{10} \cdot \cos (G_1, dS_{S10})] = F_{\partial 0} \cdot Vq_0 \cdot \cos (F_{\partial 0}, dS_{D0}),$$

звідки

$$F_{\partial 0} = \{ k \cdot \text{abs} [G_1 \cdot Vq_{10} \cdot \cos (G_1, dS_{S10})] \} / Vq_0 \cdot \cos (F_{\partial 0}, dS_{D0}).$$

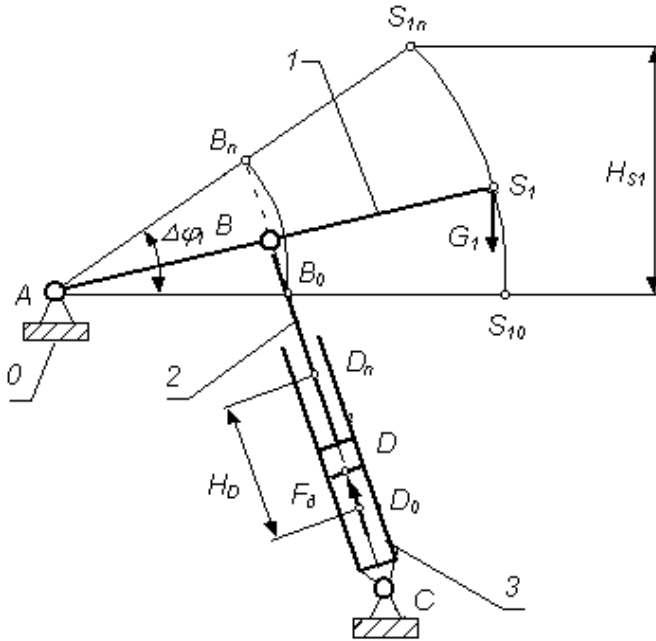


Рис. 1.50 – Гідропідйомник

2. Визначення величини сили $F_{\partial n}$ за умовою наприкінці циклу $\varepsilon_{1n} = 0$:

$$\text{abs} (M_{cn}^{np}) = M_{\partial n}^{np}.$$

Розкриваючи це рівняння, одержимо:

$$\text{abs} [G_1 \cdot Vq_{1n} \cdot \cos (G_1, dS_{S1n})] = F_{\partial n} \cdot Vq_{Dn} \cdot \cos (F_{\partial n}, dS_{Dn}),$$

звідки

$$F_{\partial n} = \{ \text{abs} [G_1 \cdot Vq_{1n} \cdot \cos (G_1, dS_{S1n})] \} / Vq_{Dn} \cdot \cos (F_{\partial n}, dS_{Dn}).$$

3. Визначення величини сили F_{δ}^* за умовою наприкінці циклу $\omega_{In} = 0$:

$$A_{\Sigma n} = 0, \quad A_{\delta n} = \text{abs}(A_{cn});$$

– для діаграми рушійної сили, зображеної на рис. 1.49, а:

$$F_{\delta 0} \cdot \alpha \cdot H_D + F_{\delta}^* \cdot (\beta - \alpha) \cdot H_D + F_{\delta n} \cdot (1 - \beta) \cdot H_D = G_1 \cdot H_{S1},$$

$$F_{\delta}^* = G_1 \cdot H_{S1} - [F_{\delta 0} \cdot \alpha + F_{\delta n} \cdot (1 - \beta)] \cdot H_D / [(\beta - \alpha) \cdot H_D];$$

– для діаграми рушійної сили, зображеної на рис. 1.49, б:

$$F_{\delta 0} \cdot \alpha \cdot H_D + 0.5(F_{\delta 0} + F_{\delta}^*) \cdot (\beta - \alpha) \cdot H_D +$$

$$+ 0.5(F_{\delta}^* + F_{\delta n}) \cdot (1 - \beta) \cdot H_D = G_1 \cdot H_{S1},$$

$$F_{\delta}^* = G_1 \cdot H_{S1} - [F_{\delta 0} \cdot \alpha + 0.5F_{\delta 0}(\beta - \alpha) +$$

$$+ 0.5 F_{\delta n} \cdot (1 - \beta)] / \{0.5[(\beta - \alpha) + (1 - \beta)] \cdot H_D\}.$$

1.6 Пряма задача динаміки машин

Пряма задача динаміки машин: визначення закону руху машини за заданих зовнішніх силових впливів (як сил і моментів опору, так і рушійних або керуючих сил).

1.6.1 Визначення закону руху при несталому (перехідному) режимі

На відміну від сталого режиму руху, режими розгону і гальмування називаються несталими. До цього режиму відносять і режим руху «пуск-останов».

Ця задача відноситься до задач аналізу, при яких параметри механізмів є заданими або можуть визначатись на попередніх етапах розрахунку. Для простоти і наочності розглянемо алгоритм рішення цієї задачі на прикладі конкретного механізму гідропідійомника.

За умовами функціонування гідропідійомник за цикл руху повинен перемістити платформу 1 (рис. 1.50) на кут $\Delta\varphi_1$ і зафіксувати її в кінцевому положенні. При цьому сили опору визначаються силами

ваги платформи і ланок гідроциліндра, рушійні сили - тиском рідини в циліндрі.

Алгоритм рішення прямої задачі динаміки при несталому режимі

а) Постановка задачі

Дано: кінематична схема механізму та його розміри:

$$l_{AB} = 1 \text{ м}, l_{BS1} = 2 \text{ м}, l_{BD} = 0.7 \text{ м},$$

$$l_{AC} = 1.45 \text{ м}, l_{BS2} = 0.35 \text{ м}, l_{BS3} = 0.4 \text{ м};$$

маси і моменти інерції ланок:

$$m_1 = 1000 \text{ кг}, I_{S1} = 800 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$m_2 = 50 \text{ кг}, I_{S2} = 2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$m_3 = 100 \text{ кг}, I_{S3} = 5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$\omega_{нач} = 0, \Delta\varphi_1 = 30^\circ, \varphi_{нач} = 0.$$

Визначити: $\omega_1 = f(\varphi_1)$, $t = f(\varphi_1)$, $\omega_1 = f(t)$, $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$.

б) Вибір динамічної моделі та визначення її параметрів

Як динамічну модель (рис. 1.51) приймаємо ланку 1, що робить обертальний рух навколо точки А з обертальною частотою ω_1 , положення якої визначається узагальненою координатою φ_1 .

Параметри динамічної моделі: сумарний приведений момент інерції ланок механізму I^{np}_Σ і сумарний приведений момент M^{np}_Σ від зовнішніх сил, що діють на нього, визначаються наступним чином.

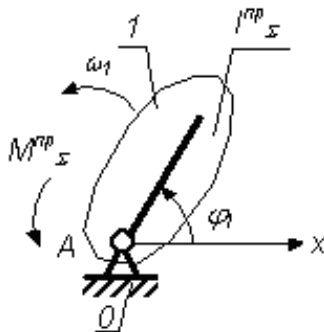


Рис. 1.51 – Динамічна модель

в) Визначення кінематичних передатних функцій для ланок механізму

Для визначення кінематичних передатних функцій $u_{21} = u_{31}$, центрів мас Vqs_1, Vqs_2 і Vqs_3 і точки прикладання рушійної сили Vq_D скористаємося методом проекцій векторного контуру механізму.

Розглянемо наступні векторні контури (рис. 1.52):

$$\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB}; \quad \vec{l}_{AD} = \vec{l}_{AB} + \vec{l}_{BD}; \quad \vec{l}_{AS2} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS2};$$

$$\vec{l}_{AS3} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS3}; \quad \vec{l}_{AS1} = \vec{x}_{S1} + \vec{y}_{S1}.$$

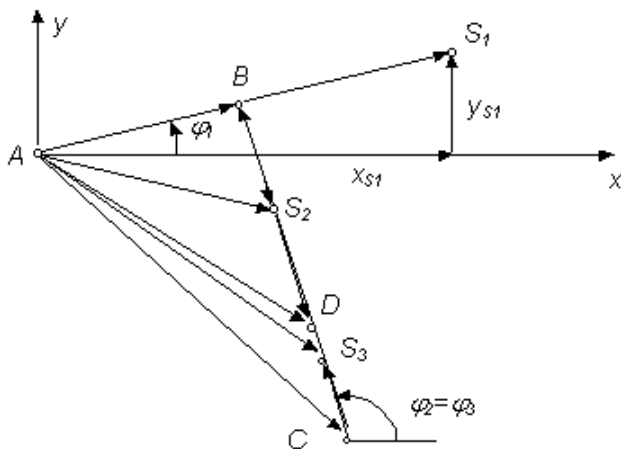


Рис. 1.52 – Векторний контур механізму

Для першого векторного контуру $\vec{l}_{AB} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB}$ проєкції на осі координат:

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 = x_C + l_{CB} \cdot \cos \varphi_2,$$

$$l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 = y_C + l_{CB} \cdot \sin \varphi_2,$$

$$\varphi_2 = \arctg [(l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - y_C) / (l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 - x_C)].$$

Похідні від цих виразів за φ_1 :

$$-l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 = V_{qCB} \cdot \cos \varphi_2 - l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2,$$

$$l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 = V_{qCB} \cdot \sin \varphi_2 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2$$

дозволяють визначити перші передатні функції:

$$u_{21} = l_{AB} \cdot (\sin \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \cos \varphi_1) / [l_{CB} \cdot (\sin \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \cos \varphi_2)],$$

$$V_{qCB} = -l_{AB} \cdot (\sin \varphi_1 - \cos \varphi_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2) / (\sin \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \cos \varphi_2).$$

Для другого векторного контуру $\vec{l}_{AD} = \vec{l}_{AB} + \vec{l}_{BD}$ проєкції на осі координат:

$$x = x + l_{BD} \cdot \cos(\varphi_2 + \pi), \quad y = y + l_{BD} \cdot \sin(\varphi_2 + \pi).$$

Похідні від цих виразів за φ_1 :

$$V_{qDx} = V_{qBx} - l_{BD} \cdot u_{21} \cdot \sin(\varphi_2 + \pi),$$

$$V_{qDy} = V_{qBy} + l_{BD} \cdot u_{21} \cdot \cos(\varphi_2 + \pi)$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qD} = \sqrt{V_{qDx}^2 + V_{qDy}^2}.$$

Для третього векторного контуру $\vec{l}_{AS2} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS2}$ проєкції на осі координат:

$$x_{S2} = x_B + l_{BS2} \cdot \cos(\varphi_2 + \pi), \quad y_{S2} = y_B + l_{BS2} \cdot \sin(\varphi_2 + \pi).$$

Похідні від цих виразів:

$$V_{q2x} = V_{qBx} - l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \sin(\varphi_2 + \pi),$$

$$V_{q2y} = V_{qBy} + l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \cos(\varphi_2 + \pi)$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS2} = \sqrt{V_{qS2x}^2 + V_{qS2y}^2}.$$

Для четвертого векторного контуру $\vec{l}_{AS3} = \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CS3}$ проєкції на осі координат:

$$x_3 = x_C + l_{BS3} \cdot \cos \varphi_2, \quad y_3 = y_C + l_{BS3} \cdot \sin \varphi_2.$$

Похідні від цих виразів:

$$V_{q3x} = -l_{c3} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2, \quad V_{q3y} = l_{CS3} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS3} = \sqrt{V_{qS3x}^2 + V_{qS3y}^2}.$$

Для останнього п'ятого векторного контуру $\vec{l}_{AS1} = \vec{x}_{S1} + \vec{y}_{S1}$ проєкції на осі координат:

$$x_l = l_{AS1} \cdot \cos \varphi_l, \quad y_l = l_{AS1} \cdot \sin \varphi_l.$$

Похідні від цих виразів за φ_l :

$$V_{q1x} = l_{AS1} \cdot \sin \varphi_l, \quad V_{q1y} = l_{AS1} \cdot \cos \varphi_l$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS1} = \sqrt{V_{qS1x}^2 + V_{qS1y}^2}.$$

Побудуємо графіки передатних функцій і передатних відношень, що необхідні для визначення параметрів динамічної моделі в нашому прикладі.

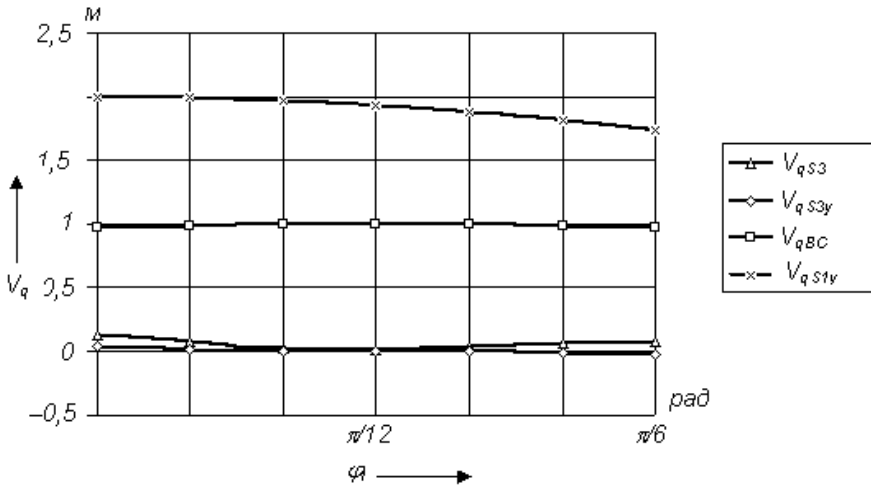


Рис. 1.53 – Діаграма лінійних передатних функцій

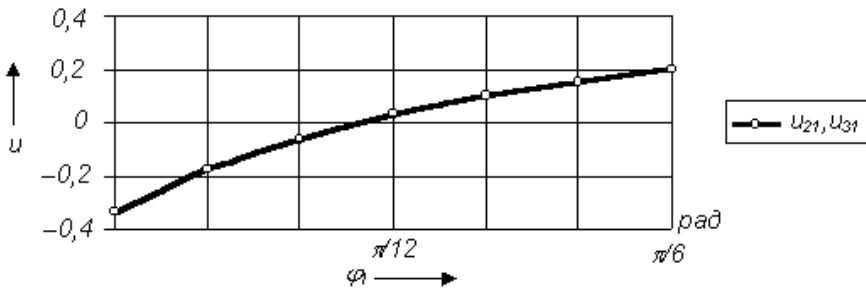


Рис. 1.54 – Діаграма передатних відношень

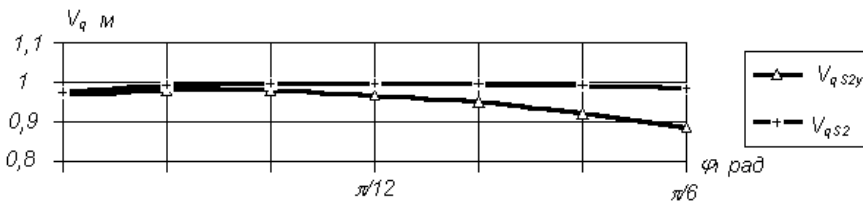


Рис. 1.55 – Діаграма передатних функцій

г) Визначення рушійної сили за умовами на початку і наприкінці циклу

Розрахунок проведемо для закону зміни рушійної сили, зображеному на рис. 1.49. Величина рушійної сили в початковому положенні механізму розраховується за формулою:

$$\begin{aligned}
 F_{00} &= \{ k \cdot \text{abs} [G_1 \cdot V_{qS10} \cdot \cos(G_1, dS_{S10}) + G_2 \cdot V_{qS20} \cdot \cos(G_2, dS_{S20}) + \\
 &+ G_3 \cdot V_{qS30} \cdot \cos(G_3, dS_{S30})] \} / V_{qD0} \cdot \cos(F_{00}, dS_{D0}) = \\
 &= [k \cdot \text{abs} (G_1 \cdot V_{qS1y0} + G_2 \cdot V_{qS2y0} + G_3 \cdot V_{qS3y0})] / V_{qBC0} \cdot
 \end{aligned}$$

Приймаємо $k=1.1$ і одержуємо:

$$F_{00} = 1,1 \cdot \text{abs}(10000 \cdot 2 + 500 \cdot 0,97 + 1000 \cdot 0,034) / 0,967 = 23341,3 \text{ Н.}$$

У кінцевому положенні величина рушійної сили розраховується за формулою:

$$F_{\partial n} = abs [G_1 \cdot V_{qS1n} \cdot \cos (G_1, dS_{S1n}) + G_2 \cdot V_{qS2n} \cdot \cos (G_2, dS_{S2n}) + G_3 \cdot V_{qS3n} \cdot \cos (G_3, dS_{S3n})] / V_{qDn} \cdot \cos (F_{\partial n}, dS_{Dn}) =$$

$$= abs (G_1 \cdot V_{qS1yn} + G_2 \cdot V_{qS2yn} + G_3 \cdot V_{qS3yn}) / V_{qBCn}.$$

$$F_{\partial n} = abs (10000 \cdot 1,732 + 500 \cdot 0,984 + 1000 \cdot 0,0207) / 0,9731 =$$

$$= 18325,7 \text{ H.}$$

Значення рушійної сили в інтервалі $(\beta - \alpha) \cdot H_D$ визначимо за формулою:

$$F_{\partial}^* = \{abs(G_1 H_{S1} + G_2 H_{S2} + G_3 H_{S3}) - [F_{\partial 0} \cdot \alpha + F_{\partial n} (1 - \beta)] H_D\} / [(\beta - \alpha) H_D].$$

Прийmemo $\alpha = 0,32$ і $\beta = 0,65$ і визначаємо переміщення центрів мас:

$$H_{S1} = y_{1n} - y_{10} = 1 - 0 = 1 \text{ м;}$$

$$H_{S2} = y_{2n} - y_{20} = 0,162 - (-0,338) = 0,5 \text{ м;}$$

$$H_{S3} = y_{3n} - y_{30} = -0,364 - (-0,364) = 0;$$

Після підстановки та розрахунку одержимо:

$$F_{\partial}^* = \{abs(10000 \cdot 1 + 500 \cdot 0,5 + 1000 \cdot 0) - [23341,3(0,32 + 18325,7(1 - 0,65))](0,518) / [(0,65 - 0,32)(0,518)]\} =$$

$$= (10250 - 7191) / 0,171 = 17889 \text{ H.}$$

д) Визначення приведенного сумарного моменту та приведенного сумарного моменту сил опору.

У нашому прикладі силами опору є сили ваги ланок механізму, тому розрахунок сумарного приведенного моменту сил опору проводимо за формулою визначення приведенного моменту рушійної сили:

$$M^{\text{пр}}_{\Sigma_3} = \sum_{i=1}^m G_i \cdot V_{qSi} \cdot \cos (F_i, dS_i) = \sum_{i=1}^m G_i \cdot V_{qSi}.$$

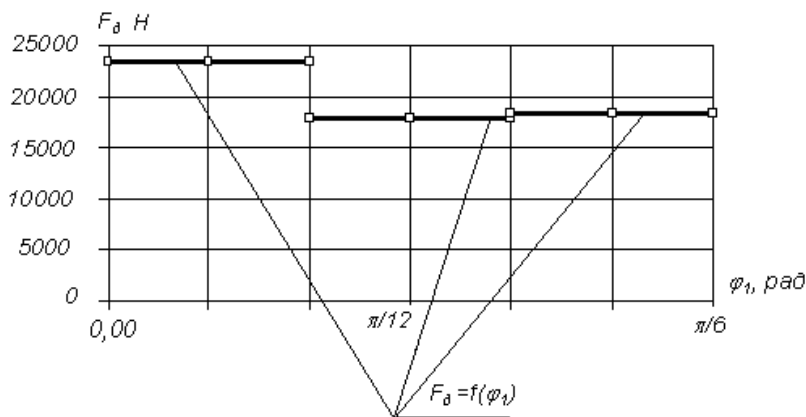


Рис. 1.56 – Діаграма рушійної сили

У нашому прикладі тільки одна рушійна сила, що створюється тиском рідини в гідроциліндрі. Приведений момент від цієї сили:

$$M^{np}_{F_{\partial i}} = F_{\partial i} \cdot V_{qDi} \cdot \cos(F_{\partial i}, V_{Di}) = F_{\partial i} \cdot V_{qBCi}$$

На рис. 1.57 приведено діаграми приведених моментів: того, що рухає $M^{np}_{F_{\partial i}}$, опору $M^{np}_{\Sigma_3}$ і сумарного $M^{np}_{\Sigma_3} = M^{np}_{\Sigma_3} + M^{np}_{F_{\partial i}}$.

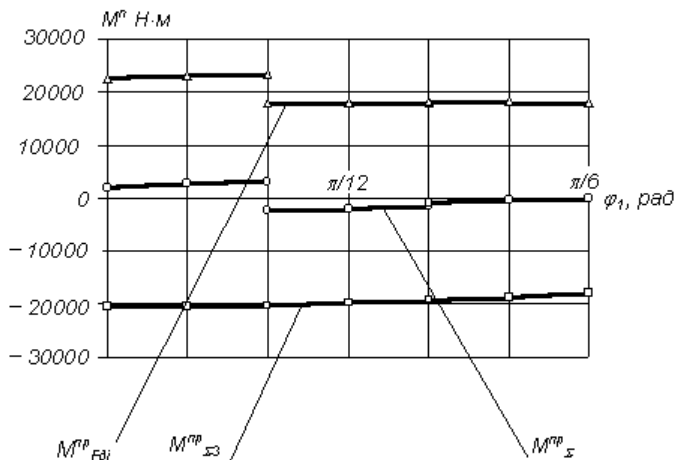


Рис. 1.57 – Діаграма приведених моментів

е) Визначення сумарного приведенного моменту інерції

У розглянутому механізмі приведений момент інерції складається з мас і моментів інерції ланок і може бути розрахований за наступним співвідношенням:

$$I_{\Sigma}^{np} = \sum_{i=1}^3 m_i \cdot (V_{qSi})^2 + \sum_{i=1}^3 I_{Si} \cdot (\omega_{qi})^2 = m_1 \cdot (V_{qS1})^2 + m_2 \cdot (V_{qS2})^2 + m_3 \cdot (V_{qS3})^2 + I_{S1} \cdot (\omega_{q1})^2 + I_{S2} \cdot (\omega_{q2})^2 + I_{S3} \cdot (\omega_{q3})^2.$$

Графіки перемінної частини сумарного приведенного моменту інерції подано на рис. 1.58 і 1.59. Крім того, є і постійна частина I_{Σ}^{np} , обумовлена масою і моментом інерції ланки 1:

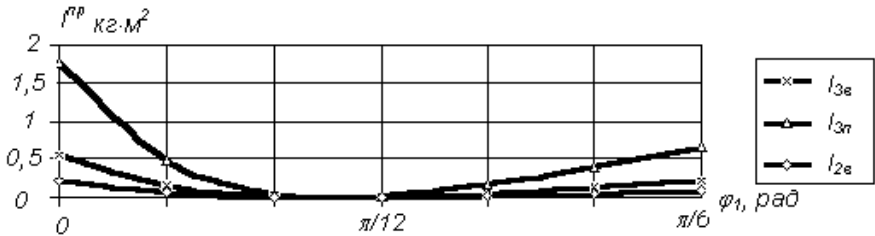


Рис. 1.58 – Діаграми приведених моментів інерції

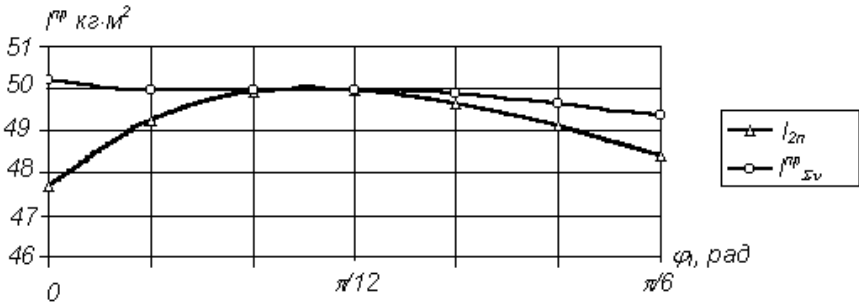


Рис. 1.59 – Діаграми приведених моментів інерції

$$I_{\Sigma}^{np} = m_1 \cdot (V_{q1})^2 + I_{S1} = 1000 \cdot (2)^2 + 800 = 4800 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сумарний приведений момент інерції дорівнює сумі постійної і перемінної частин:

$$I_{\Sigma}^{np} = I_{\Sigma_c}^{np} + I_{\Sigma_v}^{np}.$$

ж) Визначення сумарної роботи зовнішніх сил

Сумарну роботу зовнішніх сил одержимо інтегруванням сумарного приведеного моменту $M_{np\Sigma}$ за узагальненою координатою $d\varphi_1$:

$$A_{\Sigma M} = \int_0^{\pi/6} M_{np\Sigma} \cdot d\varphi_1.$$

Інтегрування можна проводити різними методами. Skorистаємося методом графічного інтегрування. За цим методом (рис.1.60) ділянка зміни узагальненої координати, на якій проводиться інтегрування, розбивається на декілька малих частин (у нашому прикладі - 6). У межах кожної i -ділянки крива $M_{np\Sigma} = f(\varphi_1)$ заміняється прямою, що відповідає середньоінтегральному значенню $M_{np\Sigma}$ на цій ділянці. На продовженні осі абсцис, вліво від початку координат відкладаємо відрізок інтегрування k_1 .

Ординати середньоінтегральних значень $M_{np\Sigma}$ проєціюємо на вісь ординат. Точки перетинання ліній, що проєціюють, з віссю ординат з'єднуємо прямими з кінцем відрізка інтегрування. На діаграмі роботи з початку першої ділянки (і до її кінця) під кутом ψ_1 до осі абсцис проводимо пряму. Для другої ділянки аналогічна пряма проводиться під кутом ψ_2 .

Її початок вибирається в точці перетинання попереднього відрізка прямої з вертикаллю, проведеною з початку другої ділянки. Провівши побудову для всього інтервалу інтегрування, одержимо графік роботи. Масштаб цього графіка визначимо з подоби трикутників:

$$\operatorname{tg} \psi_1 = y_{Mnp\Sigma \text{порівн}} / k_1 = y_{\Delta A\Sigma I} / x_{\Delta\varphi_1},$$

або

$$\mu_M \cdot M_{\Sigma \text{порівн}}^{in} / k_1 = \mu_A \cdot \Delta A_{\Sigma I} / \mu_{\varphi} \cdot \Delta\varphi_1,$$

тому що

$$M_{\Sigma \text{порівн}}^{in} = \Delta A_{\Sigma I} / \Delta\varphi_1, \text{ то } \mu_A = \mu_M \cdot \mu_{\varphi} / k_1.$$

Графіки, що ілюструють побудову діаграми роботи, приведені на рис. 1.60 і 1.61.

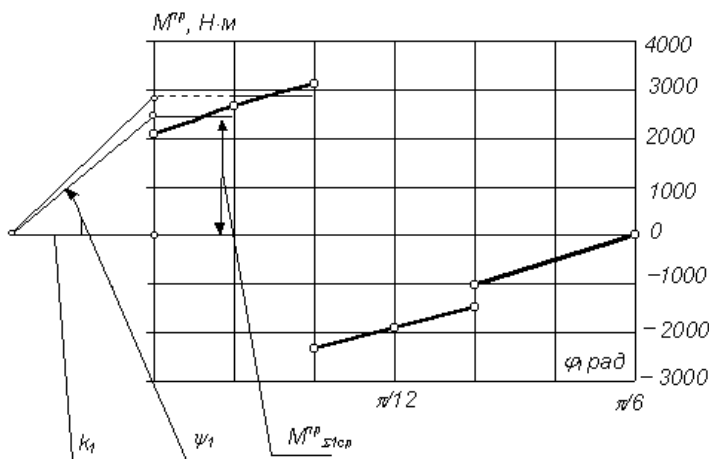


Рис. 1.60 – Діаграма приведенного сумарного моменту

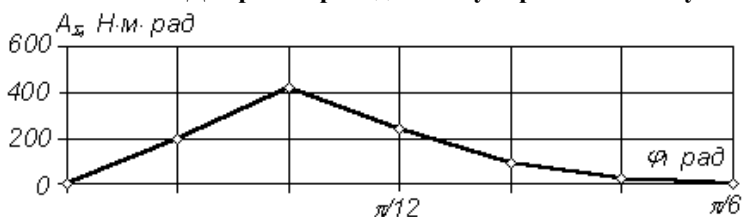


Рис. 1.61– Діаграма сумарної роботи

з) Визначення кутової швидкості ланки приведення

Визначення закону руху ланки приведення у вигляді діаграми зміни кутової швидкості у функції узагальненої координати $\omega_l = f(\varphi_l)$ проводиться за формулою:

$$\omega_{li} = \sqrt{\frac{2(A_{Mnp\Sigma i} + T_{ноч})}{I^{np}_{\Sigma i}}}$$

Для машин, що працюють у режимі «пуск-останов» $\omega_{lноч} = 0$ і $T_{ноч} = 0$, формула набуває вигляду:

$$\omega_{li} = \sqrt{2A_{Mnp\Sigma i} / I_{\Sigma i}^{np}}$$

Діаграму $\omega_l = f(\varphi_l)$ приведено на рис. 1.62.

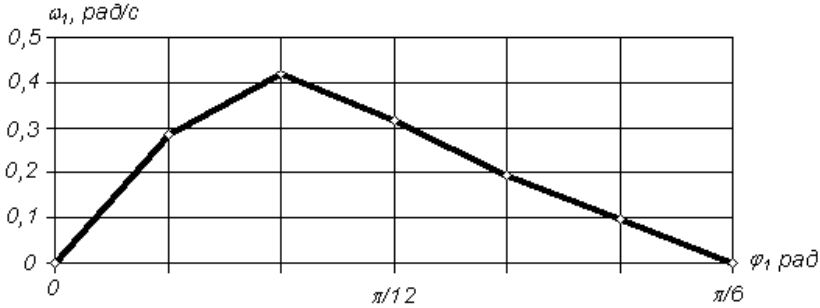


Рис. 1.62 – Діаграма кутової швидкості ланки приведення

і) Визначення часу циклу

Час циклу визначається за діаграмою $t = f(\varphi_1)$. Для побудови цієї діаграми проведемо інтегрування діаграми кутової швидкості:

$$d\varphi_1/dt = \omega_1 \Rightarrow dt = d\varphi_1/\omega_1, \quad t = \int_0^{\pi/6} \frac{1}{\omega_1} d\varphi_1.$$

Скористаємося методом графічного інтегрування зворотної величини. При цьому ділянка зміни узагальненої координати, на якій проводиться інтегрування, розбивається на кілька малих ділянок.

У межах кожної i -ї ділянки крива $\omega_1 = f(\varphi_1)$ заміняється прямою, що відповідає середньоінтегральному значенню $\omega_{1\text{порівн}}$ на цій ділянці. На осі ординат відкладаємо відрізок інтегрування k_2 (рис. 1.63).

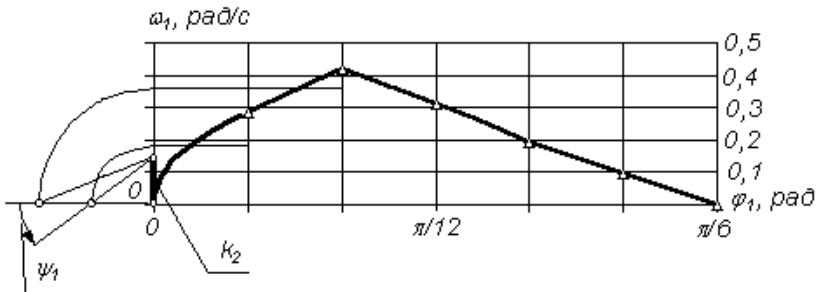


Рис. 1.63 – Діаграма кутової швидкості ланки приведення

Ординати середньо інтегральних значень ω_{Icp} проєціюємо на вісь ординат. Точки перетинання ліній, що проєціюють, з віссю ординат переносимо по дугах окружності на продовження осі абсцис.

Отримані на осі абсцис точки з'єднуємо прямими лініями з кінцем відрізка інтегрування. З початку першої ділянки (на діаграмі часу) і до її кінця під кутом ψ_1 до осі абсцис проводимо пряму лінію.

Для другої ділянки аналогічна пряма проводиться під кутом ψ_2 . Її початок вибирається в точці перетинання попереднього відрізка прямої з вертикаллю, проведеною з початку другої ділянки. Провівши побудову для всього інтервалу інтегрування, одержимо (рис. 1.64) графік часу. Масштаб графіка визначимо з подоби трикутників:

$$tg \psi_1 = k_2 / y_{\omega_{Icp}} = \Delta t_1 / X_{\Delta \varphi_1},$$

або:

$$k_1 / \mu_{\omega} \cdot \omega_{Icp} = \mu_1 \cdot \Delta t_1 / \mu_{\varphi} \cdot \Delta \varphi_1,$$

зважаючи що:

$$1 / \omega_{Icp} = \Delta t_1 / \Delta \varphi_1,$$

то:

$$\mu_{\omega} = k_2 \cdot \mu_{\varphi} / \mu_{\omega}.$$

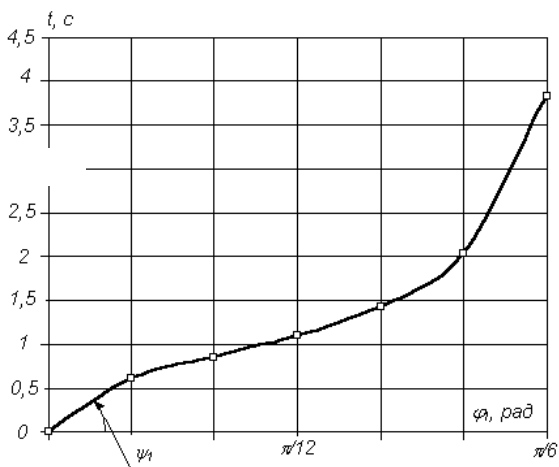


Рис. 1.64 – Діаграма часу

к) Побудова діаграми кутової швидкості у функції часу

Діаграма кутової швидкості $\omega_1 = f(t)$ в функції часу будується за діаграмами $\omega_1 = f(\varphi_1)$ і $t = f(\varphi_1)$, виключенням перемінної φ_1 (рис. 1.65).

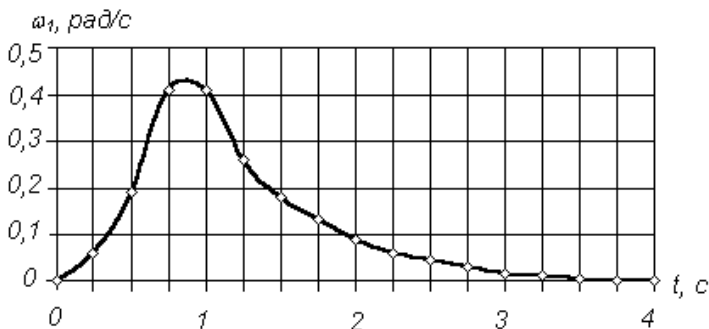


Рис. 1.65 – Діаграма кутової швидкості від часу

л) Визначення кутового прискорення ланки приведення

Для розрахунку кутового прискорення ланки приведення $\varepsilon_l = f(\varphi_l)$ можна скористатися двома різними залежностями:

$$1) \varepsilon_l = d\omega_l/dt = d\omega_l/d\varphi_l \cdot d\varphi_l/dt = \omega_l \cdot d\omega_l/d\varphi_l,$$

$$2) \varepsilon_l = d\omega_l/dt = M_{\Sigma}^{in} / I_{\Sigma}^{pp} - \omega_l^2 / (2 \cdot I_{\Sigma}^{pp}) \cdot (d I_{\Sigma}^{pp} / d\varphi_l).$$

Застосування першої формули призводить до великих похибок, тому що вона ґрунтується на використанні однієї з кінцевих залежностей розрахунку $\omega_l = f(\varphi_l)$.

Крім того, у точках з нульовими значеннями ω_l розрахунок за цією формулою дає невірний результат $\varepsilon_l = 0$.

Проведемо розрахунок залежності $\varepsilon_l = f(\varphi_l)$ за другою формулою (рис. 1.66). Діаграму функції $\varepsilon_l = f(\varphi_l)$ приведено на рис. 1.66.

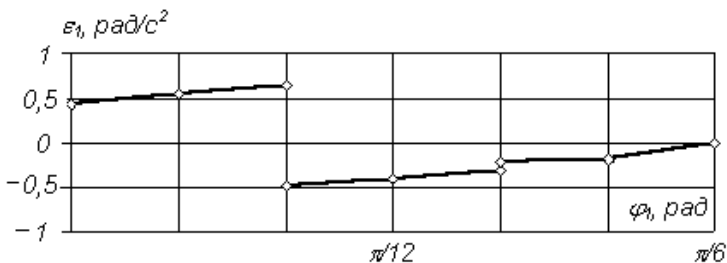


Рис. 1.66 – Діаграма кутового прискорення ланки приведення

1.6.2 Сталій режим руху машини

Сталій режим руху машини настає тоді, коли робота зовнішніх сил за цикл не змінює її енергії, тобто сумарна робота зовнішніх сил за цикл руху дорівнює нулю. Сталій рух $\Rightarrow A_{\delta}^y = A_c^y$, $A_{\Sigma}^y = \Delta T = 0$,

$$\text{де } A_{\delta\Sigma M}^y = \int_{\varphi_{10}}^{\varphi_{10}+\Delta\varphi_M} M_{\delta}^{np} \cdot d\varphi_1 \text{ і } A_c^y = \int_{\varphi_{10}}^{\varphi_{10}+\Delta\varphi_M} M_c^{np} \cdot d\varphi_1 \text{ - відповідно}$$

робота за цикл рушійних сил і сил опору;

φ_{10} – початкове значення узагальненої координати;

$\Delta\varphi_M$ – збільшення узагальненої координати за цикл.

В межах циклу поточне значення сумарної роботи не дорівнює нулю. Робота може бути додатною або від'ємною. За додатної величини роботи машина збільшує свою кінетичну енергію за рахунок збільшення швидкості, тобто розганяється.

На ділянках, де сумарна робота є від'ємною, кінетична енергія і швидкість машини зменшуються, машина пригальмовується.

У сталому режимі (рис. 1.67) величини збільшення швидкості на ділянках розгону і зниження на ділянках гальмування за цикл є рівними, тому середня швидкість руху $\omega_{1\text{норієн}} = \text{const}$ – постійна.

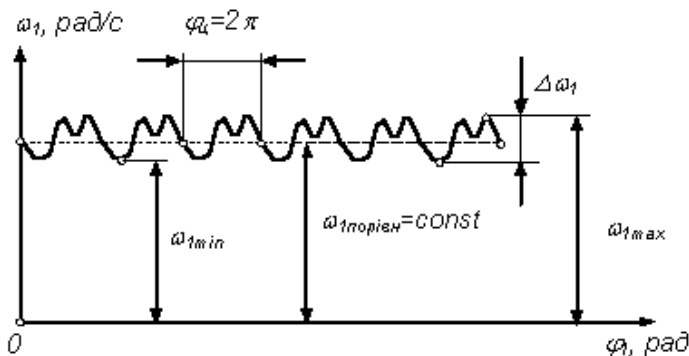


Рис. 1.67 – Сталій режим руху машини

У машинах, приведений момент інерції яких залежить від узагальненої координати, на нерівномірність руху впливає величина змі-

ни приведенного моменту інерції. Коливання швидкості зміни узагальненої координати машини не справляють прямого впливу на фундамент машини. Тому ці коливання й їхні причини визначають так звану внутрішню віброактивність машини.

Величина амплітуди коливань швидкості $\Delta\omega_l$ визначається різницею між максимальною ω_{lmax} і мінімальною ω_{lmin} швидкостями. За міру виміру коливань швидкості у сталому режимі прийнято відносну величину, яка називається коефіцієнтом зміни середньої швидкості:

$$\delta = \Delta\omega_l / \omega_{lпорівн} = (\omega_{lmax} - \omega_{lmin}) / \omega_{lпорівн},$$

де $\omega_{lпорівн} = (\omega_{lmax} + \omega_{lmin}) / 2$ – середня кутова швидкість машини.

Для різних машин, залежно від вимог нормального функціонування (обриви ниток у прядильних машинах, зниження чистоти поверхні в металорізальних верстатах, нагріву обмоток і зниження ККД в електрогенераторах і т.д.), допускаються різні максимальні значення коефіцієнта зміни середньої швидкості. Існуюча нормативна документація встановлює наступні припустимі значення коефіцієнта нерівномірності $[\delta]$:

- дробарки $[\delta] = 0,2... 0,1$;
- преси, кувальні машини $[\delta] = 0,15... 0,1$;
- насоси $[\delta] = 0,05... 0,03$;
- металорізальні верстати нормальної точності $[\delta] = 0,05... 0,01$;
- металорізальні верстати прецизійні $[\delta] = 0,005... 0,001$;
- двигуни внутрішнього згоряння $[\delta] = 0,015... 0,005$;
- електрогенератори $[\delta] = 0,01... 0,005$;
- прядильні машини $[\delta] = 0,02... 0,01$.

Щоб знизити внутрішню віброактивність і нерівномірність руху застосовуються різні методи:

– зменшення впливу нерівномірності зовнішніх сил (наприклад, застосування багаточиліндрових ДВЗ, насосів і компресорів з раціональним розподілом робочих процесів у циліндрах);

– зменшення впливу змінності приведенного моменту інерції (теж забезпечується збільшенням числа циліндрів у поршневих машинах, а також зменшенням мас і моментів інерції деталей, приведений момент інерції яких залежить від узагальненої координати);

– встановлення на валах машини відцентрових регуляторів або акумуляторів кінетичної енергії – маховиків;

– активне регулювання швидкості з використанням систем автоматичного керування, включаючи і комп'ютерне керування.

Розглянемо докладно найбільш простий спосіб регулювання нерівномірності обертання – установку додаткової махової маси або маховика.

Маховик у машині виконує роль акумулятора кінетичної енергії. При розгоні частина дотичної роботи зовнішніх сил витрачається на збільшення кінетичної енергії маховика і швидкість, до якої розганяється система, стає менше, при гальмуванні маховик віддає накопичену енергію назад у систему і величина зниження швидкості машини зменшується.

Сказане ілюструється графіками, зображеними на рис. 1.68.

На цьому рисунку: $\Delta\omega_I$ – зміна кутової швидкості до установки маховика; $\Delta\omega_I^*$ – після установки маховика. Звідси можна зробити висновок: чим більше додаткова махова маса, тим менше зміна $\Delta\omega_I^*$ і коефіцієнт нерівномірності δ .

З теореми про зміну кінетичної енергії можна записати:

$$\Delta T = T - T_{нач} = A_{\Sigma}, \text{ де } \Delta T = \Delta T_I + \Delta T_{II} = A_{\Sigma} \text{ і } T_I = I^{mp}_I \cdot \omega_I^2 / 2 .$$

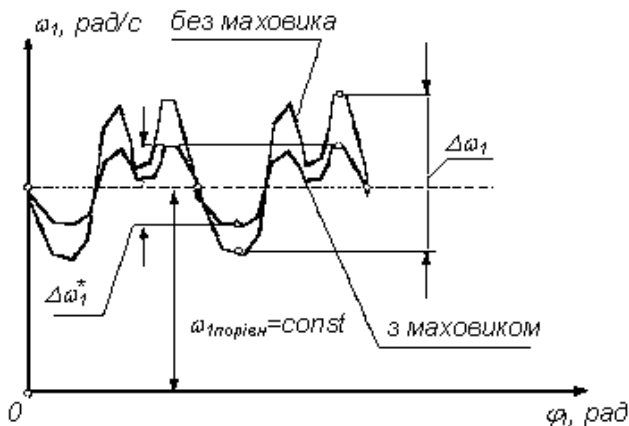


Рис. 1.68 – Визначення закону руху $\Delta\omega_I = f(\varphi)$ і приведенного моменту інерції I^{mp}_I

Якщо допустити, що $\Delta T_I \approx dT_I$, то $dT_I = I^{np}_I \cdot \omega_I \cdot d\omega_I$. Оскільки при усталеному русі $\Delta\omega_I \ll \omega_I$, то можна вважати, що $\omega_I \approx \omega_{I\text{норівн}}$.

Тоді, переходячи до кінцевих збільшень, одержимо:

$$\Delta T_I \approx I^{np}_I \cdot \omega_{I\text{норівн}} \cdot \Delta\omega_I,$$

відкіля:

$$\Delta\omega_I \approx \Delta T_I / I^{np}_I \cdot \omega_{I\text{норівн}}.$$

Оскільки:
$$I^{np}_I \cdot \omega_{I\text{норівн}} = const,$$

можна записати, що: $\Delta T_{I\text{max}} \approx I^{np}_I \cdot \omega_{I\text{норівн}} \cdot \Delta\omega_{I\text{max}}$

де $\Delta T_{I\text{max}}$ – зміна кінетичної енергії першої групи ланок за цикл;

$\Delta\omega_{I\text{max}}$ – зміна кутової швидкості за цикл.

Підставимо в цю формулу вираз для коефіцієнта нерівномірності $\delta = \Delta\omega_{I\text{max}} / \omega_{I\text{норівн}}$ і одержимо формулу для розрахунку приведенного моменту інерції першої групи, що забезпечує заданий коефіцієнт нерівномірності:

$$I^{np}_I = \Delta T_{I\text{max}} / (\delta \cdot \omega_{I\text{норівн}}^2).$$

Визначення моменту інерції додаткової махової маси маховика

Розглянемо визначення маховика для одноциліндрового поршневого насоса. У першу групу ланок у цьому прикладі входять: ротор електродвигуна $I_{\text{рот}}$, деталі редуктора $I^{np}_{\text{ред}}$, кривошипний вал I_{01} і маховик I_M :

$$I^{np}_I = I^{np}_{\text{рот}} + I^{np}_{\text{ред}} + I_{01} + I_M$$

звідки момент інерції маховика:

$$I_M = I^{np}_I - (I^{np}_{\text{ред}} + I_{01} + I_M).$$

Рішення задачі регулювання ходу машини за методом Н.І. Мерцалова.

При розрахунку маховика (або рішенні задачі регулювання ходу машини) за методом Н.І. Мерцалова задача вирішується в наступній послідовності:

– визначаються параметри динамічної моделі, наприклад, для ДВЗ M^{np}_o – приведений сумарний момент рушійних сил і I^{np}_{II} – приведений момент інерції другої групи ланок;

– визначається робота рушійних сил A_o інтегруванням функції $M^{np}_o = f(\varphi_I)$ за цикл руху машини (допустимо 2π);

– визначається робота рушійних сил за цикл і прирівнюється до роботи сил опору $A_o^y = A_c^y / \delta$. З цієї рівності визначається середньо інтегральне значення моменту сил опору $M^{np}_{csp} = A_c^y / (2\pi)$, і для нього будується діаграма роботи $A_c = f(\varphi_I)$.

– підсумовуванням цієї діаграми і діаграми $A_o = f(\varphi_I)$ одержуємо діаграму $A_\Sigma = f(\varphi_I)$;

– робиться припущення $\omega_I \approx \omega_{Iпорівн}$, при якому:

$$T_{II} \approx I^{np}_{II} \cdot \omega_{Iпорівн}^2 / 2 \text{ (перше припущення методу Мерцалова),}$$

і визначається $T_{II} = f(\varphi_I)$;

– визначається кінетична енергія першої групи ланок:

$$T_I = A_\Sigma - T_{II} + T_{нач} = A_\Sigma - T_{II} + T_{нач} + T_{IIнач}.$$

Оскільки початкові значення кінетичної енергії не відомі, то враховуючи, що

$$T_{нач} = T_{IIнач} + T_{Iнач}, \quad \Delta T_I = T_I - T_{Iнач}, \quad \Delta T_{II} = T_{II} - T_{IIнач},$$

одержимо $\Delta T_I = A_\Sigma - \Delta T_{II}$, тобто, віднімаючи із сумарної роботи збільшення кінетичної енергії другої групи, одержимо збільшення кінетичної енергії першої групи.

– за функцією $\Delta T_I = f(\varphi_I)$ визначається максимальна зміна кінетичної енергії за цикл ΔT_{Imax} . Другий раз робимо припущення що $\omega_I \approx \omega_{Iпорівн}$ на підставі якого, як було показано вище, можна записати:

$$I^{np}_I = \Delta T_{Imax} / (\delta \cdot \omega_{Iпорівн}^2).$$

З цього виразу, визначивши попередньо ΔT_{Imax} , можна вирішити дві задачі:

- задачу синтезу – за заданого $[\delta]$ визначити необхідний для його забезпечення приведений момент інерції $I^{np}_{Iнб}$;

- задачу аналізу – за заданого I^{np}_I визначити забезпечуваний ним коефіцієнт нерівномірності δ .

Алгоритм вирішення прямої задачі динаміки при сталому режимі руху машини

Вирішення цієї задачі розглянемо на конкретному прикладі машинного агрегату приводу бурової установки (рис. 1.69).

Дано:

$$\begin{aligned} \text{кінематична схема машини} - l_{AB} &= 0,12 \text{ м}, \\ l_{BC} &= 0,528 \text{ м}, \\ l_{BS_2} &= 0,169 \text{ м}; \end{aligned}$$

середня частота обертання кривошипа – $\omega_{\text{порівн}} = 47,124 \text{ рад/с}$;

маси ланок – $m_2 = 24,2 \text{ кг}$, $m_3 = 36,2 \text{ кг}$;

моменти інерції – $I_{2S} = 1,21 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $I_{10} = 2,72 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

максимальний тиск у циліндрі – $p_{\text{max}} = 4,4 \text{ МПа}$;

коефіцієнт нерівномірності обертання $[\delta] = 1/80$;

індикаторну діаграму наведено на рис. 1.70.

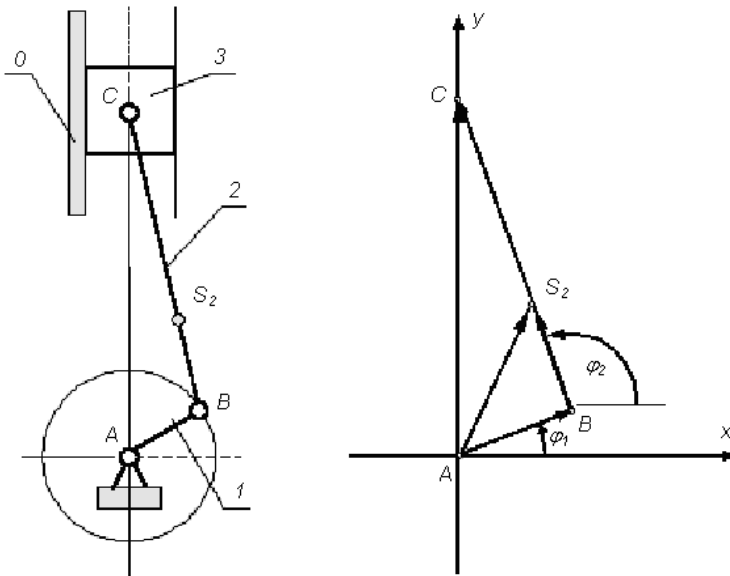


Рис. 1.69 – Схема механізму та векторні контури

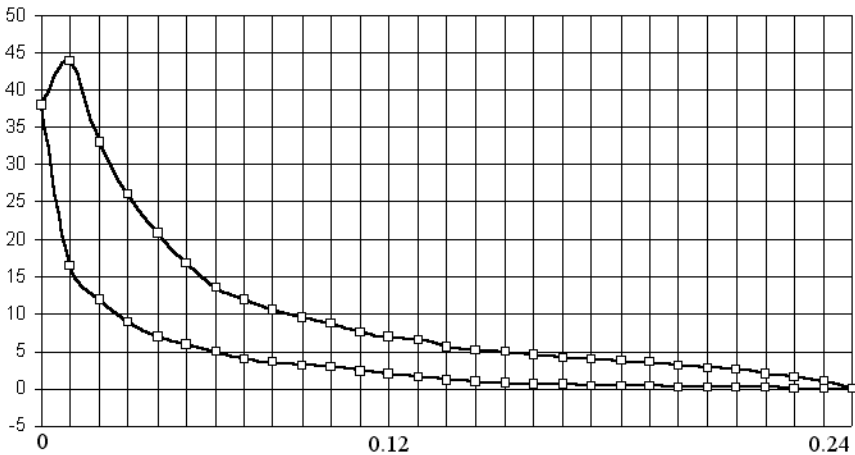


Рис.1.70 – Індикаторна діаграма

Визначити: закон руху машини $\omega_l = f(\varphi_1)$ і $\varepsilon_l = f(\varphi_1)$, момент інерції маховика $I_{дон}$, що забезпечує задану нерівномірність обертання $[\delta]$.

а) Визначення параметрів динамічної моделі: M^{np}_δ – приведенного сумарного моменту рушійних сил і I^{np}_{II} – приведенного моменту інерції другої групи ланок.

б) Визначення перших кінематичних передатних функцій. Визначення кінематичних передатних функцій для ланок механізму $u_{21} = u_{31}$, центрів мас Vq_1, Vq_2 і Vq_3 і точки прикладення рушійної сили Vq (рис 1.71).

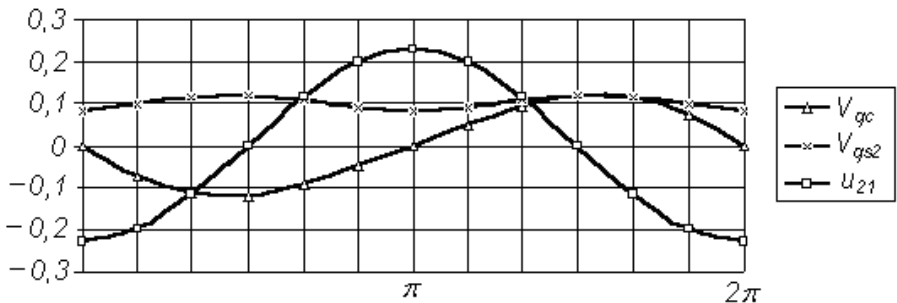


Рис. 1.71 – Діаграми передатних функцій

Для визначення цих функцій скористаємося методом проекцій векторного контуру механізму.

Розглянемо наступні векторні контури, зображені на рис. 1.69 поруч зі схемою механізму:

$$\begin{aligned}\vec{l}_{AB} &= \vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB}, \\ \vec{l}_{AS2} &= \vec{l}_{AB} + \vec{l}_{BS2}.\end{aligned}$$

Для першого векторного контуру $\vec{l}_{AB} + \vec{l}_{CB} = \vec{l}_{AC}$ проекції на осі координат:

$$\begin{aligned}l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot \cos \varphi_2 &= x_C = 0, \\ l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 + l_{CB} \cdot \sin \varphi_2 &= y_C = S_C, \\ \varphi_2 &= \arccos(-l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 / l_{CB}).\end{aligned}$$

Похідні від цих виразів:

$$\begin{aligned}-l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2 &= 0, \\ l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2 &= V_{qc}\end{aligned}$$

дозволяють визначити перші передатні функції:

$$\begin{aligned}u_{21} &= -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 / (l_{CB} \cdot \sin \varphi_2), \\ V_{qc} &= l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{CB} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2, \\ x_2 &= l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{BS2} \cdot \cos \varphi_2, \\ y_2 &= l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 + l_{BS2} \cdot \sin \varphi_2.\end{aligned}$$

Похідні від цих виразів:

$$\begin{aligned}V_{qs2x} &= -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 - l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \sin \varphi_2, \\ V_{qs2y} &= l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 + l_{BS2} \cdot u_{21} \cdot \cos \varphi_2\end{aligned}$$

дозволяють визначити першу передатну функцію:

$$V_{qS2} = \sqrt{V_{qS2x}^2 + V_{qS2y}^2}$$

в) Визначення приведенного моменту рушійних сил M^{np}_δ

Індикаторну діаграму (рис. 1.70) будемо за заданим значенням тиску в циліндрі двигуна. Відрізок ходу поршня $H_C \cdot \mu_i$ поділяємо на 10 інтервалів. У кожній точці розподілу будемо ординату діаграми, задаючи (при $p_i/p_{max} = 1$) максимальною ординатою y_{pmax} .

Тоді поточне значення ординати $y_{pi} = y_{pmax} \cdot (p_i/p_{max})$, де $p_{max} = 4.4 \text{ МПа}$.

Масштаб індикаторної діаграми $\mu_p = y_{pmax}/p_{max}$.

Площа поршня $S_n = (\pi \cdot d_n^2)/4$.

При побудові графіка сили, що діє на поршень, ординати графіка приймаємо рівними ординатам індикаторної діаграми. Масштаб сили $\mu_F = \mu_p/S_n$.

Для досліджуваного механізму приведений сумарний момент (рис. 1.72) складається з двох складових: рушійної сили і моменту сил опору

$$M^{np}_\Sigma = M^{np}_\delta + M^{np}_c.$$

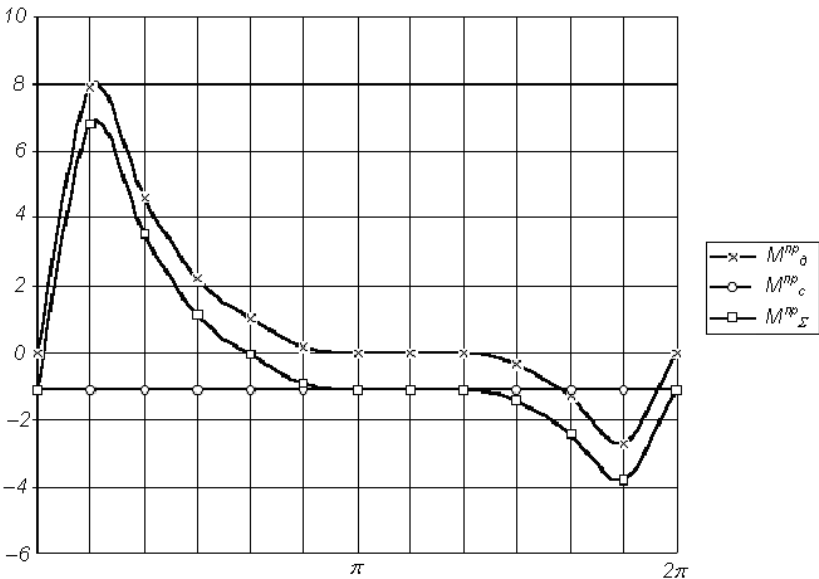


Рис.1.72 – Діаграма приведенного рушійного моменту

Приведений момент рушійної сили визначається в поточному положенні механізму за формулою:

$$M_{\delta}^{np} = F_{\delta i} \cdot V_{qCi} \cdot \cos(\angle F_{\delta i}, V_{qCi}),$$

де $F_{\delta i}$ – значення рушійної сили.

$$F_{\delta i} = y_{F\delta i} / \mu_F,$$

де $y_{F\delta i}$ – ордината сили опору;

μ_F – масштаб діаграми сил;

V_{qCi} – значення передатної функції в розглянутому положенні механізму;

$(\angle F_{\delta i}, V_{qCi})$ – кут між вектором сили і вектором швидкості точки її прикладання.

Масштаб діаграми по осі абсцис визначається за формулою $\mu_{\varphi} = b / 2 \cdot \pi$, де b – база діаграми (відрізок осі абсцис, що зображує цикл зміни узагальненої координати).

г) Побудова діаграми приведених моментів інерції (рис. 1.73)

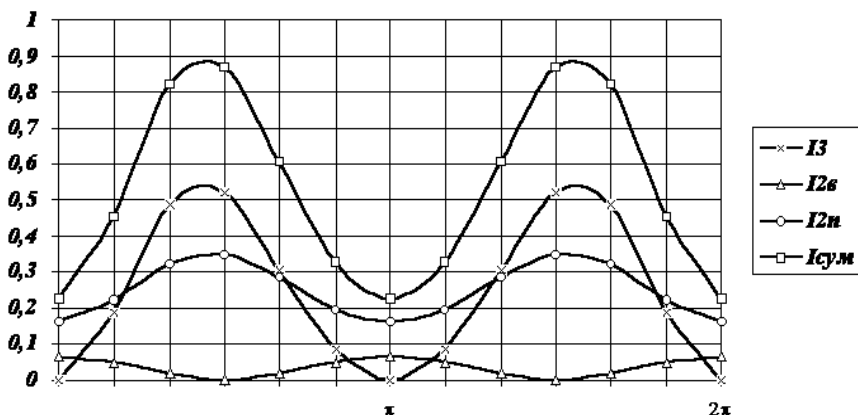


Рис. 1.73 – Діаграма приведених моментів інерції

Інерційні характеристики ланок механізму в його динамічній моделі представлені сумарним приведеним моментом інерції I_{Σ} .

При розрахунку ця характеристика динамічної моделі представляється у вигляді суми двох складових перемінної $I_v^{np} = I_{II}^{np}$ і постійної $I_c^{np} = I_I^{np}$.

Перша визначається масами і моментами інерції ланок, передатні функції яких є постійними, друга – масами і моментами інерції ланок, передатні функції яких є змінними.

Проведемо розрахунок перемінної частини приведенного моменту інерції $I_v^{np} = I_{II}^{np}$.

Для розглянутого механізму в другу групу ланок входять ланки 2 і 3. Ланка 3 виконує поступальний рух, ланка 2 – плоский.

Розрахунок перемінної частини приведенного моменту проводиться за наступними залежностями:

$$I_v^{np} = I_{II}^{np} = I_{2B}^{np} + I_{2II}^{np} + I_3^{in},$$

$$\text{де: } I_{2II}^{np} = m_2 \cdot Vq_2^2, \quad I_{2B}^{np} = I_{S2} \cdot u_{2I}^2, \quad I_3^{in} = m_3 \cdot Vq_C^2.$$

д) Побудова діаграм роботи рушійної сили, сил опору і сумарної роботи

Діаграму роботи рушійної сили одержимо, інтегруючи діаграму її приведенного моменту:

$$A_\partial = \int_0^{\pi/6} M_\partial^{in} \cdot d\varphi_1.$$

Інтегрування проведемо графічним методом (рис. 1.74), прийнявши при цьому відрізок інтегрування рівним k_1 . Тоді масштаб отриманої діаграми роботи рушійної сили дорівнюватиме:

$$\text{tg } \psi_1 = y_{\Delta A_\partial} / x_{\Delta \varphi_1} = y_{M_{np\partial I}} / k_1 \Rightarrow \Delta A_\partial \cdot \mu_A / (\Delta \varphi_1 \cdot \mu_\varphi) = M_{np\partial I}^{np} \cdot \mu_M / k_1;$$

оскільки $\Delta A_\partial / \Delta \varphi_1 = M_{np\partial I}^{np}$, то $\mu_A / \mu_\varphi = \mu_M / k_1$, відкіля $\mu_A = \mu_M \cdot \mu_\varphi / k_1$.

Величина середнього інтегрального моменту сил опору визначається за формулою:

$$M_{cp}^{np} = A_c^u / (2\pi).$$

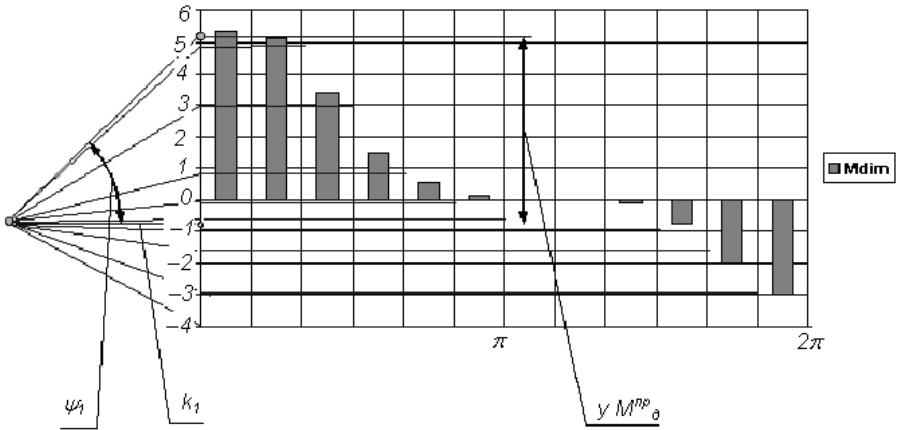


Рис. 1.74 – Діаграма середніх значень приведенного крутного моменту за інтервалами

е) Побудова діаграм кінетичних енергій.

Діаграми кінетичних енергій для першої і другої груп ланок одержуємо на підставі теореми про зміну кінетичної енергії системи:

$$\Delta T = T - T_{поч}$$

$$A_{\Sigma} = \Delta T_I + \Delta T_{II}.$$

Графік кінетичної енергії другої групи ланок одержимо в залежності:

$$T_{II} = (I_{II}^{in} \cdot \omega_{I_{норівн}}^2) / 2,$$

приймаючи, що $\omega_I \approx \omega_{I_{норівн}}$.

Тоді діаграма приведенного моменту інерції другої групи ланок у масштабі, розрахованому за формулою:

$$I_{II}^{np} \cdot \mu_I = ((I_{II}^{np} \cdot \omega_{I_{норівн}}^2) / 2) \cdot \mu_T,$$

відкіля $\mu_T = 2 \cdot \mu_I / \omega_{I_{норівн}}^2$, відповідає діаграмі кінетичної енергії T_{II} .

Графік кінетичної енергії першої групи ланок приблизно будемо за рівнянням

$$T_I = T - T_{II}.$$

У кожному положенні механізму з ординат кривої $A_{\Sigma} = f(\varphi_I)$ віднімаємо ординати u_{TII} і одержуємо ординати шуканої діаграми $T_I = f(\varphi_I)$.

Для цього необхідно ординати діаграми $T_{II} = f(\varphi_I)$ з масштабу μ_T перевести в масштаб μ_A^* за формулою:

$$u_{TII}^* = u_{TII} \cdot \mu_A^* / \mu_T.$$

Діаграму кінетичної енергії першої групи ланок представлено на рис.1.75.

ж) Визначення необхідного моменту інерції махових мас першої групи.

Максимальну зміну кінетичної енергії ланок першої групи за цикл визначаємо за діаграмою:

$$\Delta T_{I_{max}} = (y_{\Delta T_{I_{max}}}) / \mu_A.$$

Тоді необхідний момент інерції махових мас першої групи ланок, що забезпечує заданий коефіцієнт нерівномірності, дорівнює:

$$I_I^{np} = \Delta T_{I_{max}} / (\omega_{I_{порівн}}^2 \cdot [\delta]).$$

з) Визначення моменту інерції додаткової махової маси

У нашому випадку момент інерції додаткової махової маси розраховується за наступною залежністю:

$$I_{доп} = I_I^{np} - I_{I0},$$

де I_{I0} – момент інерції колінчатого вала.

і) Побудова наближеної діаграми кутової швидкості.

Якщо вважати, що $\omega_I \approx \omega_{I_{порівн}}$, то $\Delta T_I = I_I^{np} \cdot \omega_{I_{порівн}} \cdot \Delta \omega_I$, тобто діаграма зміни кінетичної енергії першої групи ланок $\Delta T_I = f(\varphi_I)$ в іншому масштабі відповідає діаграмі зміни кутової швидкості $\Delta \omega_I = f(\varphi_I)$.

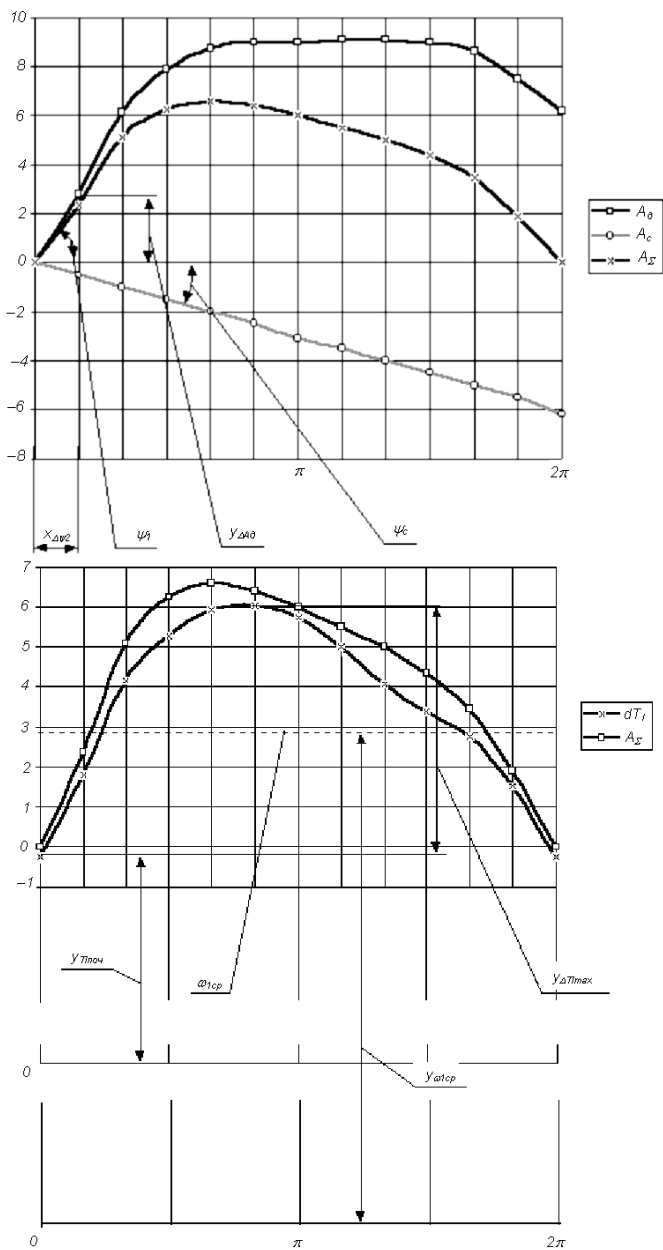


Рис. 1.75 – Діаграми роботи, кінетичної енергії T_1 та кутової швидкості ланки приведення

Якщо вважати, що ординати діаграм є рівними, то:

$$y_{\Delta\omega_1} = y_{\Delta T_1} \Rightarrow \mu_A \cdot \Delta T_1 = \mu_\omega \cdot \Delta\omega_1 \Rightarrow \mu_A \cdot I_1^{np} \cdot \omega_{1\text{порівн}} \cdot \Delta\omega_1 = \mu_\omega \cdot \Delta\omega_1,$$

звідки $\mu_\omega = \mu_A \cdot I_1^{np} \cdot \omega_{1\text{порівн}}$.

Ордината середньої кутової швидкості (для визначення положення початку координат на діаграмі кутової швидкості):

$$y_{\omega_{1\text{порівн}}} = \omega_{1\text{порівн}} \cdot \mu_\omega.$$

Після визначення положення осі абсцис на діаграмі кутової швидкості можна визначити початкове значення кутової швидкості:

$$\omega_{10} = y_{\omega_{10}} / \mu_\omega,$$

а з нього – кінетичну енергію механізму в початковому положенні:

$$T_{\text{почач}} = (I_1^{np} \cdot \omega_{1\text{порівн}}^2) / 2.$$

к) Визначення розмірів маховика

Приймаємо конструктивне виконання маховика – диск. Тоді його основні розміри і маса визначаються з наступних залежностей:

– зовнішній діаметр $D = 0,366 (I_{\text{дон}})^{0,2}$;

– ширина $b = \psi_b \cdot D$;

– маса $m = 1230 \cdot D^3$,

де $\rho = 7,8 \text{ кг/дм}^3$ – щільність матеріалу маховика;

ψ_b – коефіцієнт ширини.

л) Визначення кутового прискорення ланки приведення

Як вказано раніше, для розрахунку кутового прискорення ланки приведення $\varepsilon_1 = f(\varphi_1)$ краще користуватися формулою:

$$\varepsilon_1 = d\omega_1/dt = M_{\Sigma}^{in} / I_{\Sigma}^{np} - \omega_1^2 / (2 \cdot I_{\Sigma}^{np}) \cdot (d I_{\Sigma}^{np} / d\varphi_1).$$

Необхідні для розрахунку значення величин визначаємо за раніше побудованими діаграмами. Діаграму функції $\varepsilon_l = f(\varphi_l)$ приведено на рис. 1.76.

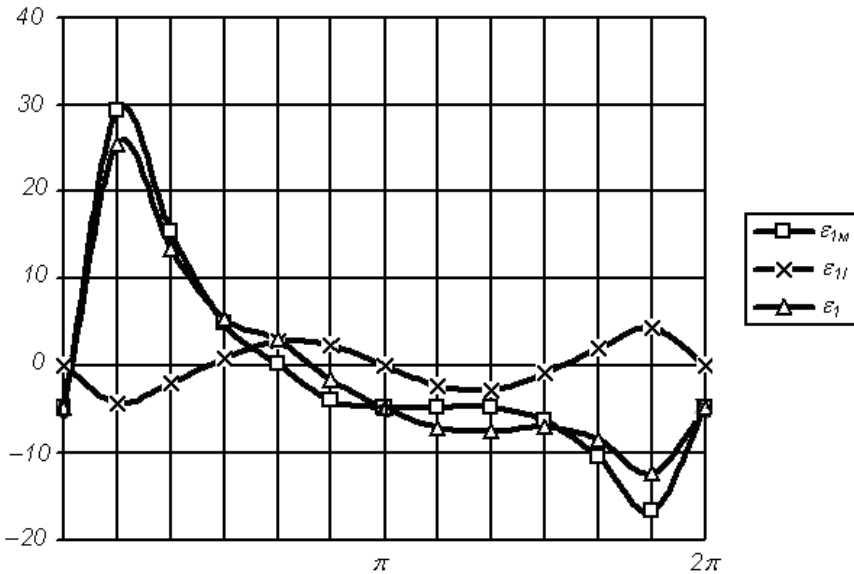


Рис. 1.76 – Діаграма кутового прискорення ланки приведення

1.6.3 Поняття про стійкість роботи машини

Як відзначалося раніше, сили, що діють на механізми, залежать не тільки від положення або узагальненої координати, а й від часу або швидкості. Ці залежності звичайно визначаються експериментально і називаються механічними характеристиками машини.

Механічна характеристика, приведена до узагальненої координати або швидкості, називається приведеною механічною характеристикою. Як приклад розглянемо приведену статичну характеристику асинхронного електродвигуна (рис. 1.77).

На діаграмі позначено: $M^{np}_{\text{дн}}$ – приведений пусковий момент; $M^{np}_{\text{дн}}$ – приведений номінальний крутний момент; $M^{np}_{\text{дк}}$ або $M^{np}_{\text{дmax}}$ – приведений критичний або максимальний момент; ω_l – номінальна обертальна частота обертання ланки приведення; ω_{ln} або ω_{lc} – ча-

стота обертання ланки приведення на неробочому ходу або синхронна.

Рівняння приведеної статичної характеристики асинхронного електродвигуна на лінеаризованій ділянці стійкої частини:

$$M^{np}_\delta = b_1^* + k_1^* \cdot \omega_1,$$

де M^{np}_δ – приведений рушійний момент на ланці приведення;
 ω_1 – обертальна частота ланки приведення.

$$b_1^* = M^{np}_{\delta n} \cdot \omega_1 / (\omega_{1c} - \omega_{1n}), \quad k_1^* = -M^{np}_{\delta n} / (\omega_{1c} - \omega_{1n}).$$

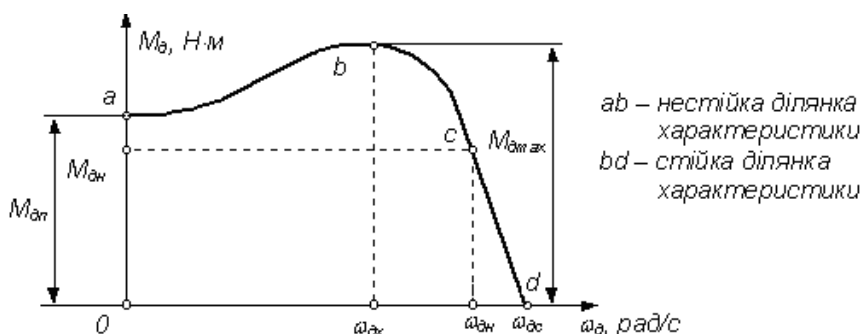


Рис. 1.77 – Характеристика асинхронного електродвигуна

Як на вихідній статичній характеристиці двигуна, так і на приведеній можна виділити дві ділянки:

- стійку – bd
- нестійку – ab .

На стійкій ділянці за збільшення моменту опору на валу двигуна частота обертання зменшується, забезпечуючи збереження потужності приблизно на постійному рівні; на нестійкій ділянці робота двигуна не можлива, тому що в будь-якій точці цієї ділянки збільшення моменту опору на валу двигуна повинно супроводжуватися збільшенням частоти обертання і збільшенням потужності двигуна; при цьому моменти опору більше за пусковий момент двигуна.

За збільшення моменту опору на валу ланки приведення до величини, більшої за M^{np}_{dmax} , двигун потрапляє в зону нестійкої характеристики і зупиняється.

Для усталеної роботи машини необхідно, щоб коливання моменту опору на валу ланки приведення не виходили за межі лінійної частини стійкої ділянки приведеної статичної характеристики.

1.6.4 Урахування приведеної статичної характеристики при аналізі динамічних процесів у машині

Урахування впливу статичної характеристики двигуна на закон руху машини можна проводити різними методами:

– спільним рішенням рівняння руху з рівнянням статичної характеристики;

– послідовним наближенням (на першому етапі вирішується задача для сил, залежних тільки від положення, на другому і наступних враховується статична характеристика двигуна).

Розглянемо рішення задачі методом послідовних наближень для машинного агрегату з приводом від асинхронного електродвигуна.

При першому наближенні вирішується задача визначення закону руху без урахування статичної характеристики, за алгоритмом, який наведено в попередньому розділі.

Потім визначається приведена статична характеристика, і за нею визначаються значення рушійного моменту при кожній значенні кутової швидкості, розрахованої на першому етапі (при першому наближенні).

За цими значеннями моменту будується діаграма рушійного моменту другого наближення $M^{np}_{\text{d}(2)}$, потім визначається сумарна робота, кінетична енергія першої групи ланок і кутова швидкість ланки приведення при другому наближенні.

Далі ці дії повторюються, поки розходження між результатами розрахунку на наступному етапі будуть відрізнятися від результатів попереднього на величину, меншу за задану похибку. На рис. 1.78 показане графічне вирішення задачі при другому наближенні.

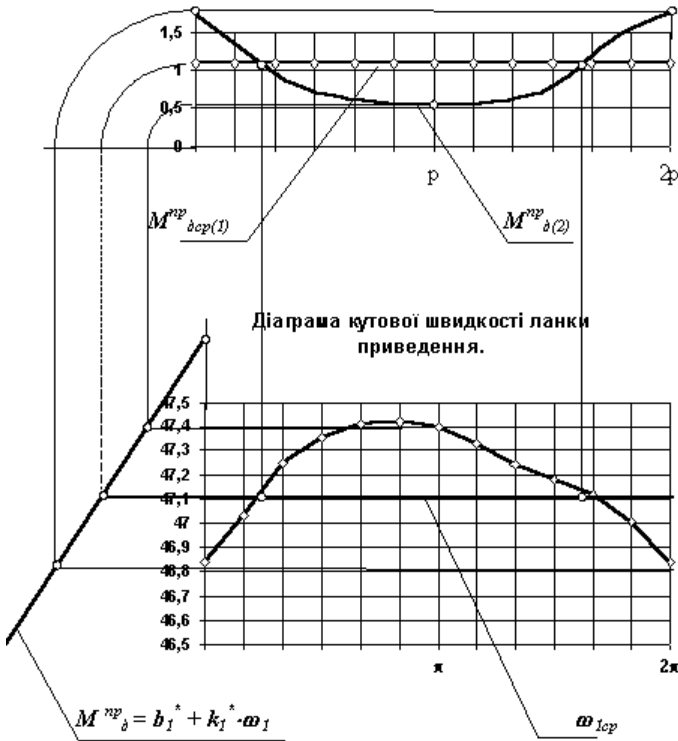


Рис. 1.78 – Діаграма приведенного моменту рушійних сил

1.7 Захист машин та механізмів від вібрації

Як відзначалося раніше, при русі механічної системи під дією зовнішніх сил у ній виникають механічні коливання або вібрації. Ці вібрації впливають на функціонування механізму і часто погіршують його експлуатаційні характеристики: знижують точність, зменшують ККД і довговічність машини, збільшують нагрівання деталей, знижують їхню міцність, впливають на людину-оператора.

Для зниження впливу вібрацій використовують різні методи боротьби з вібрацією. З одного боку, при проектуванні машини вживають заходів для зниження її віброактивності (зрівноважування і балансування механізмів), з іншого боку - передбачаються засоби захисту як машини від вібрацій, що виходять від інших машин (для

розглянутої машини – від середовища), так середовища й операторів від вібрацій даної машини.

Існуючі віброзахисні методи зі зниження рівня вібрацій поділяються на:

- динамічні гасителі або антивібратори, в яких небезпечні резонансні коливання усуваються зміною співвідношення між власними частотами системи і частотами збурюючих сил;
- віброізолятори, в яких за рахунок їх пружних демпфіруючих властивостей зменшується амплітуда коливань як на резонансних, так і на нерезонансних режимах.

Розглянемо механічну систему (рис. 1.79), що складається з двох рухомих ланок, що утворюють між собою кінематичну пару.

Для спрощення припустимо, що рух ланок можливий тільки по одній координаті X . Маса першої ланки m_1 , другої - m_2 . На ланку 2 діє періодична зовнішня сила $F_2 = F_{20} \cdot \sin \omega t$; дією сил ваги нехтуємо. Рівняння руху ланок:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + F_{12} = 0;$$

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 + F_{21} + F_2 = 0.$$

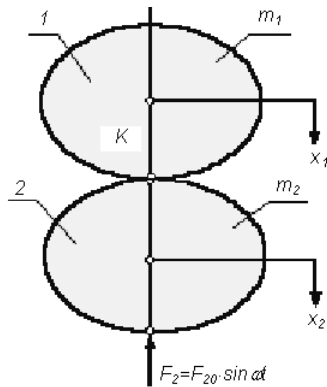


Рис. 1.79 – Механічна система

Якщо вважати, що контакт між ланками в процесі руху не порушується і тіла є абсолютно жорсткими, то

$$x = x_1 = x_2 \Rightarrow \ddot{x} = \ddot{x}_1 = \ddot{x}_2.$$

З урахуванням $F_{21} = -F_{12}$ визначимо реакцію в точці контакту між ланками:

$$F_{12} = -m \cdot \ddot{x} - F_2 = m_1 \cdot \ddot{x}.$$

Звідки:

$$\ddot{x} = -F_{12}/m_1 = -(F_{21} + F_2)/m_2,$$

і після перетворень

$$F_{21}(m_1 + m_2)/(m_1 \cdot m_2) = -F_2/m_2,$$

$$F_{21} = -F_2 \cdot m_1 / (m_1 + m_2).$$

Проаналізуємо цю залежність:

якщо $m_1 \Rightarrow 0$, то $F_{21} \Rightarrow 0$;

якщо $m_2 \Rightarrow 0$, то $F_{21} \Rightarrow -F_2$;

якщо $m_2 = m_1 = m$, то $F_{21} \Rightarrow -0,5 \cdot F_2$;

якщо $m_2 \Rightarrow \infty$, то $F_{21} \Rightarrow 0$;

якщо $m_1 \Rightarrow \infty$, то $F_{21} \Rightarrow -F_2$.

Аналіз показує, що реакція взаємодії між ланками залежить від співвідношення їхніх мас і величини зовнішньої сили. При цьому кінетична енергія системи:

$$T = (m_1 + m_2) \cdot ((dx/dt)^2)/2,$$

а потенційна дорівнює нулю.

При віброізоляції між розглянутими ланками встановлюють лінійний або нелінійний віброізолятор, що звичайно складається з пружного й демпфіруючого елементів (рис. 1.80).

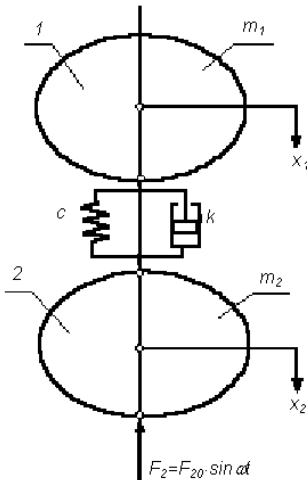


Рис. 1.80 – Механічна система з лінійним або нелінійним віброізолятором

У цій механічній системі $x_2 \neq x_1$ (припустимо, що $x_2 > x_1$), а $\Delta x = x_2 - x_1$, тоді кінетична енергія системи становить:

$$T = m_1 \cdot \dot{x}_1^2 / 2 + m_2 \cdot \dot{x}_2^2 / 2,$$

а потенційна: $U = c \cdot \Delta x^2 / 2$.

Тобто в системі з віброізолятором тільки частина роботи зовнішньої сили витрачається на зміну кінетичної енергії. Частина цієї роботи переходить у потенційну енергію пружного елемента і частина розсіюється демпфером (переходить у тепло і розсіюється в навколишнім середовищі).

Рівняння руху:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + k \cdot \Delta \dot{x} + c \cdot \Delta x = 0,$$

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 - k \cdot \Delta \dot{x} - c \cdot \Delta x + F_2 = 0.$$

Рішення цієї системи рівнянь докладно розглядається в курсі теорії коливань, тому обмежимося тільки наведенням амплітудно-частотної характеристики (рис. 1.81) за різних значень k .

Характеристику побудуємо у відносних координатах $\Delta x_{\text{відн}} = x/x_{\text{ст}}$, де $x_{\text{ст}}$ - статична деформація пружного елемента.

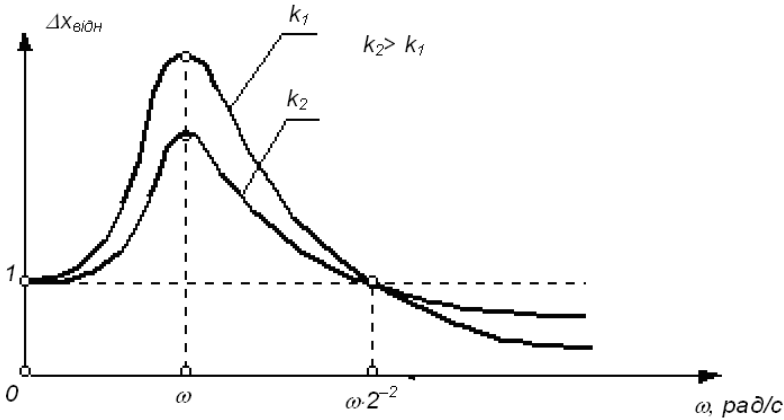
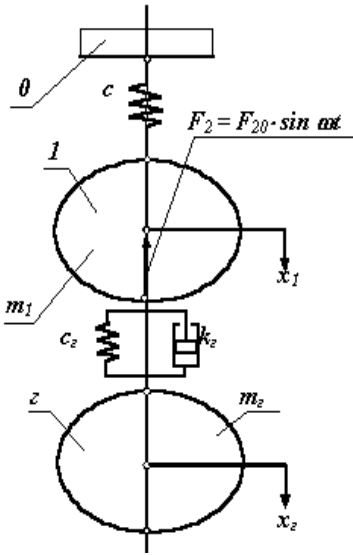


Рис. 1.81 – Динамічне гасіння коливань

Динамічні гасителі або антивібратори широко застосовуються в машинах, що працюють у сталих режимах для відстроювання від резонансних частот (наприклад, у судових двигунах внутрішнього згорання). Динамічні гасителі можуть виконуватись у виді пружного або фізичного маятника.

Розглянемо найпростіший лінійний пружний динамічний гаситель (рис. 1.82).

Принцип дії динамічного гасителя полягає у створенні сили, спрямованої протилежно до силі збурення. Настроювання динамічного гасителя полягає в підборі його власної частоти: власна частота гасителя повинна дорівнювати частоті тих коливань, амплітуду яких необхідно зменшити («погасити»):



$$\omega_{0,m} = \sqrt{c_{22} / m_{22}},$$

де $\omega_{0,m}$ - власна частота гасителя;

m_{22} - маса гасителя;

c_2 - жорсткість пружини гасителя.

Рівняння руху системи з динамічним гасителем, схему якого зображено на рис. 1.82.

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + c \cdot x_1 + c_2 \Delta x + k_2 \cdot \Delta \dot{x} = F_2,$$

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 - c_2 \cdot \Delta x - k_2 \cdot \Delta \dot{x} = 0,$$

де $\Delta x = x_1 - x_2$ - деформація пружини гасителя.

Рис. 1.82 – Найпростіший лінійний пружний динамічний гаситель коливаль

На рис. 1.83 приведено амплітудно-частотні характеристики цієї системи:

- без динамічного гасителя - 1,
- з динамічним гасителем - 2, 3.

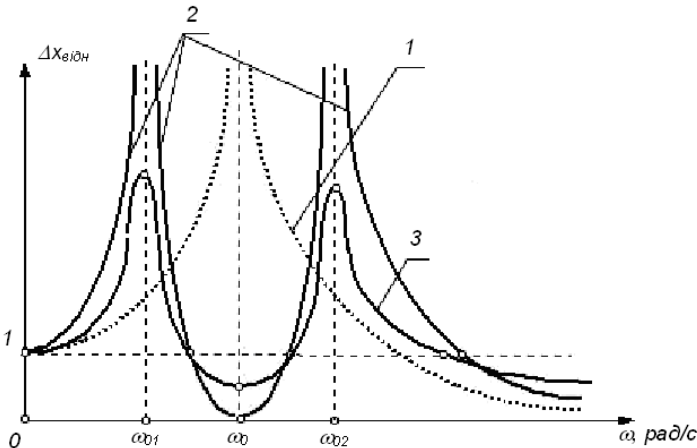


Рис. 1.83 – Амплітудно-частотні характеристики системи без динамічного гасителя і з динамічним гасителем

Як видно з цих характеристик, при установці динамічного гасителя амплітуда на частоті настроювання різко знижується, однак у системі замість однієї власної частоти ω_0 виникають дві ω_{01} та ω_{02} .

Тому динамічні гасителі ефективні тільки у вузькому діапазоні частот поблизу частоти настроювання гасителя.

Зображені на рисунку криві 1 і 2 відносяться до динамічних процесів без демпфірування.

За наявності в системі демпферів форма кривої змінюється (крива 3): амплітуди в зонах гасіння збільшуються, а в зонах резонансу - зменшуються.

Докладніше з питаннями віброзахисту машин можна познайомитися у спеціальній літературі.

1.8 Тертя в механізмах. Види тертя

Здатність контактуючих поверхонь ланок опиратися відносному рухові називається зовнішнім тертям.

Тертя обумовлене неідеальним станом контактуючих поверхонь (мікронерівності, забруднення, окисні плівки і т.ін.) і силами міжмолекулярного зчеплення. Тертя в кінематичних парах характеризується силами тертя і моментами сил тертя.

Силою тертя називається дотична складової реакції в КП (складова спрямована по дотичній до контактуючих поверхонь), що завжди спрямована проти вектора швидкості відносного руху ланок.

Розрізняють наступні види тертя:

– тертя спокою – виявляється в момент, коли два тіла, що знаходяться у стані відносного спокою, починають відносний рух (дотичну складову, виникаючу в зоні контакту до виникнення відносного руху, в умовах, коли вона менше сили тертя спокою, будемо називати "силою зчеплення"; максимальна величина сили зчеплення дорівнює силі тертя спокою);

– тертя ковзання – з'являється в КП, за якщо є відносний рух ланок; для більшості матеріалів тертя ковзання є меншим за тертя спокою;

– тертя кочення – з'являється у вищих КП, якщо є відносний обертальний рух ланок навколо осі або точки контакту;

– тертя обертання виникає при взаємодії торцевих поверхонь ланок обертальних КП (підп'ятники).

Різновиди тертя за наявністю і видом застосовуваних мастильних матеріалів наведено на рис. 1.84.

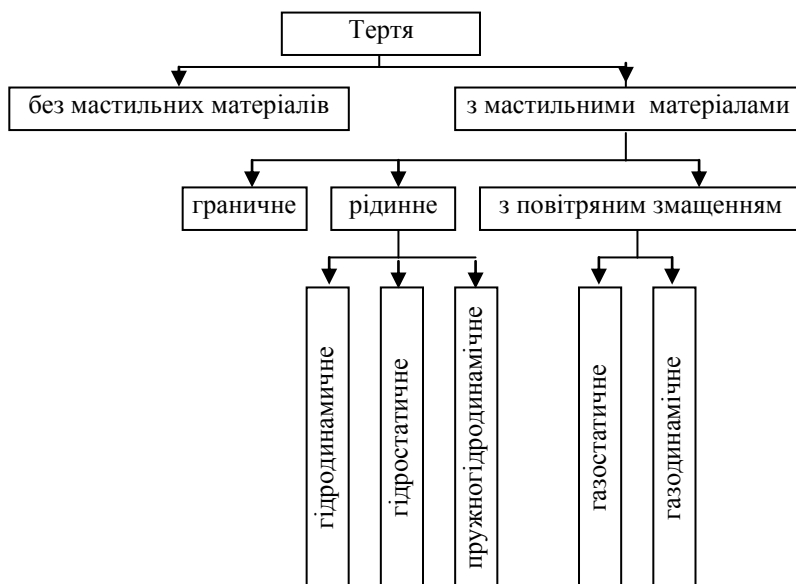


Рис. 1.84 – Різновиди тертя

Сила тертя спокою залежить від стану контактних поверхонь ланок, а сила тертя ковзання - також і від швидкості ковзання.

Визначення залежності тертя ковзання від швидкості можливо тільки в деяких найбільш простих випадках.

Приклад діаграми такої залежності наведено на рис. 1.85.

Тертя ковзання, відповідно до закону Кулона-Амонтона, пропорційне нормальній складовій реакції в КП:

$$F_{тр\ ij} = f \cdot F_{ij}^n,$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання.

Розглянемо сили, які діють в кінематичних парах, з урахуванням тертя.

а) Поступальна КП (рис. 1.86).

При силовому розрахунку з урахуванням тертя в поступальній КП визначаються:

- реактивний момент M_{ij} ,
- величина реакції F_{ij} ,
- напрям вектора F_{ij} .

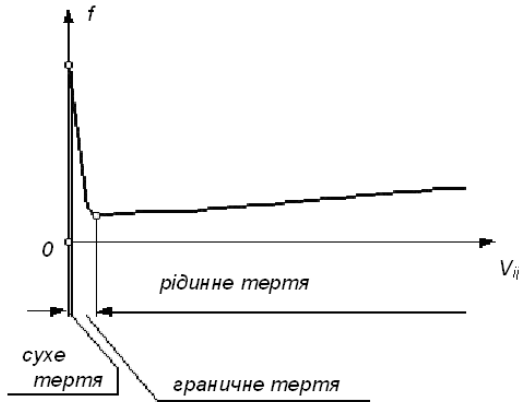


Рис. 1.85 – Діаграма тертя

Відомі: точка прикладення сили - геометричний центр кінематичної пари A_{In} і коефіцієнт тертя ковзання f .

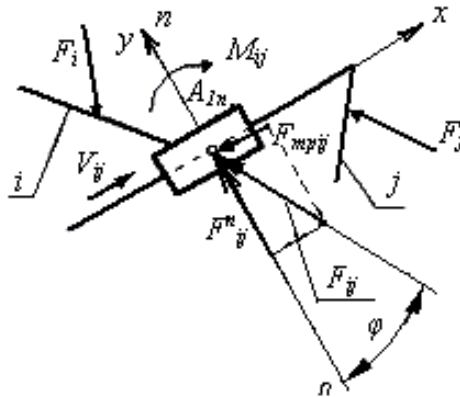


Рис. 1.86 – Сили в кінематичних парах з урахуванням тертя для поступальної КП

Повна величина реакції в КП дорівнює векторній сумі:

$$F_{ij} = F_{ij}^n + F_{mp\ ij} \quad \text{або} \quad F_{ij}^n = F_{ji}^n \cdot \sqrt{1 + f^2},$$

де $F_{mp\ ij} = F_{ij}^n \cdot \operatorname{tg} \varphi = F_{ij}^n \cdot f$ - сила тертя ковзання;
 φ - кут тертя;

f - коефіцієнт тертя ковзання ($\operatorname{tg} \varphi \approx f$, тому що φ – мале).

Якщо $\operatorname{tg} \varphi \approx f \Rightarrow 0$, то $F_{ij} \Rightarrow F_{ij}^n$, тобто це рішення без урахування тертя.

Число невідомих в поступальній КП при силовому розрахунку з урахуванням тертя збільшилося і дорівнює $n_s = 3$.

б) Обертальна КП (рис. 1.87).

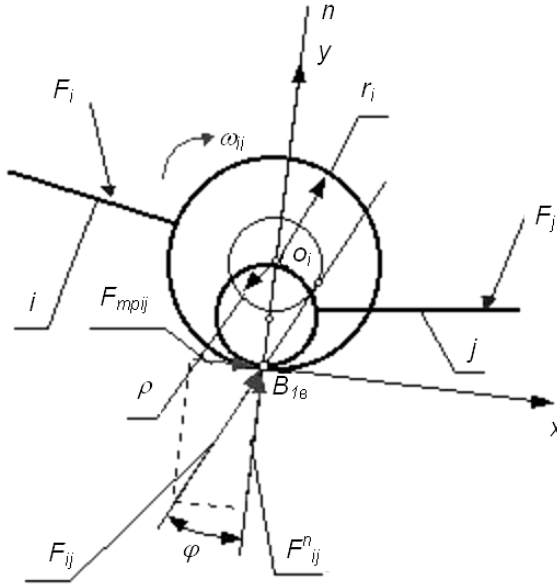


Рис. 1.87 – Сили в кінематичних парах з урахуванням тертя для обертальної КП

Силовий розрахунок з урахуванням тертя є моделлю КП більш високого рівня, з більшим ступенем наближення моделі до реальної КП.

При цьому відомі геометричні розміри елементів КП (радіуси цапф) і коефіцієнт тертя ковзання.

Оскільки в реальних парах є зазори, то на розрахунковій схемі (рис. 1.87) пари представляють як вищу.

При силовому розрахунку з урахуванням тертя в обертальній КП визначаються:

- напрямок реакції F_{ij} ,

- величина реакції F_{ij} ,
- величина сили тертя F_{mpij} .

Відомі: лінія дії нормальної складової, яка проходить через центр КП точку B_{1B} , коефіцієнт тертя ковзання, радіус цапфи $r_i \approx r_j$.

Момент тертя в КП:

$$M_{mpij} = F_{mpij} \cdot r_i = F_{ij}^n \cdot r_i \cdot f = F_{ij} \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot r_i = F_{ij} \cdot r_i \cdot \sin \varphi = F_{ij} \cdot \rho,$$

де $\rho = r_i \cdot \sin \varphi \approx r_i \cdot \operatorname{tg} \varphi \approx r_i \cdot f$ - радіус кола тертя;

Число невідомих в обертальній КП при силовому розрахунку з урахуванням тертя збільшилося й дорівнює $n_s = 3$.

в) вища КП. У вищій парі два відносних рухи - ковзання й перекочування. Тому тут мають місце два види тертя - тертя ковзання й тертя кочення (рис.1.88).

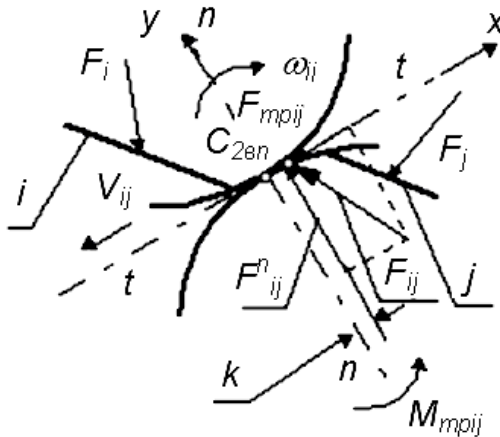


Рис. 1.88 – Сили в кінематичних парах з урахуванням тертя для вищої КП

При силовому розрахунку для вищої КП визначаються:

- величина реакції F_{ij} ,
- напрямок реакції F_{ij} ,
- момент сил тертя M_{mpij} .

Відомі: точка прикладення сили - точка контакту робочих профілів кінематичної пари $C_{2вп}$, напрямок нормальної складової F_{ij}^n - контактна нормаль до профілів (розміри й форма профілів задані); на-

прямок тангенціальної складової F_{mpij} - дотична до профілів у точці контакту, коефіцієнти тертя катання k і ковзання f .

Повна величина реакції в КП дорівнює векторній сумі:

$$\vec{F}_{ij} = \vec{F}_{ij}^n + \vec{F}_{mpij} \quad \text{або} \quad F_{ij} = F_{ji}^n \cdot \sqrt{1 + f^2}.$$

Момент тертя в КП:

$$M_{mpij} = F_{ij}^n \cdot k = F_{ij} \cdot k / \sqrt{1 + f^2}.$$

Число невідомих для вищої КП при силовому розрахунку з урахуванням тертя збільшилося з $n_s = 1$ до $n_s = 3$ (оскільки в парі є два види тертя).

При силовому розрахунку механізмів з урахуванням сил тертя постановка задачі силового розрахунку полягає у наступному: для досліджуваного механізму за відомих кінематичних характеристик і зовнішніх сил, а також розмірів елементів КП і величин коефіцієнтів тертя в них визначити силу, що врівноважує, момент (керуючий силовий вплив) і реакції в кінематичних парах механізму.

Для вирішення задач силового розрахунку з урахуванням тертя застосовують наступні методи:

– складання загальної системи рівнянь кінетостатики з рівняннями для розрахунку сил і моментів сил тертя із числом рівнянь, відповідним числу невідомих;

– метод послідовних наближень: на першому етапі вирішується задача кінетостатичного розрахунку без урахування тертя й визначаються нормальні складові реакцій; по них розраховуються сили тертя й визначаються реакції з урахуванням тертя.

Зауважимо, що силовий розрахунок з урахуванням сил тертя можна проводити на тих етапах проектування, коли вже визначені розміри елементів КП, матеріали ланок, що утворюють пари, класи чистоти робочих поверхонь КП, вид змащення й швидкості відносних рухів, тобто параметри, по яких можна визначити коефіцієнти тертя. Докладніше із силовим розрахунком механізмів з урахуванням тертя можна познайомитися у відповідній літературі.

1.9 Поняття про ККД механічної системи

Коефіцієнтом корисної дії (ККД) механічної системи (рис.1.89) називають відношення роботи сил корисного опору до ро-

боти рушійних сил за цикл (або ціле число циклів) сталого режиму роботи.

ККД механізму характеризує його ефективність при перетворенні енергії, визначає співвідношення отриманої на виході корисної енергії й енергетичних втрат у механізмі на тертя, перемішування мастила, вентиляцію, деформацію ланок й ін. Величину ККД можна розраховувати з наступної залежності:

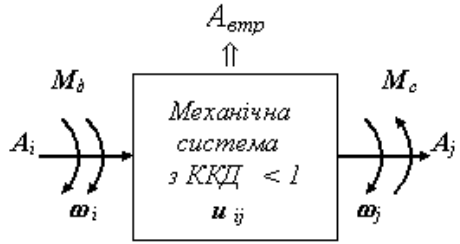


Рис. 1.89 – Механічна система

$$\eta = A_j/A_i = (A_i - A_{emp}) / A_i ,$$

$$\eta = 1 - A_{emp} / A_i = 1 - \psi ,$$

- де η - коефіцієнт корисної дії;
 A_i - робота рушійних сил;
 A_j - робота сил корисного опору;
 A_{emp} - робота втрат;
 ψ - коефіцієнт втрат.

Робота рушійних сил за цикл:

$$A_i = \int_{\varphi_{i0}}^{\varphi_{in}} M_d \cdot d\varphi_i = M_{d,cp} \cdot (\varphi_{in} - \varphi_{i0}) \approx M_{d,cp} \cdot \Delta\varphi_i ;$$

робота сил корисного опору за цикл:

$$A_j = \int_{\varphi_{j0}}^{\varphi_{jn}} M_c \cdot d\varphi_j = M_{c,cp} \cdot (\varphi_{jn} - \varphi_{j0}) \approx M_{c,cp} \cdot \Delta\varphi_j ;$$

де $M_{d,cp}$ і $M_{c,cp}$ - середньоінтегральні значення рушійного моменту і моменту сил опору;

$\varphi_{in}, \varphi_{jn}$ і $\varphi_{i0}, \varphi_{j0}$ - значення кутових координат ланок i і j відповідно на початку і наприкінці циклу.

Підставимо ці вирази у формулу для ККД і одержимо:

$$\eta = A_j/A_i = M_{c.c.p.} \cdot \Delta\varphi_j / M_{d.c.p.} \cdot \Delta\varphi_i = M_{c.c.p.} \cdot u_{ij} / M_{d.c.p.},$$

де u_{ji} - передатне відношення механізму.

При послідовному з'єднанні (рис. 1.90) весь потік механічної енергії проходить послідовно через кожний з механізмів.

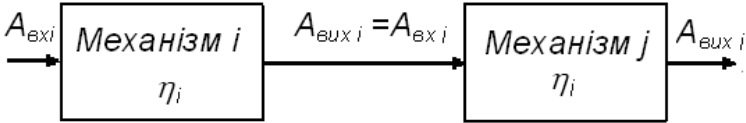


Рис. 1.90 – ККД механічної системи при послідовному і паралельному з'єднанні механізмів

$$\eta = A_j/A_i = A_{вихj}/A_{вхi}$$

$$\left. \begin{aligned} A_{вихj} &= A_{вхj} \cdot \eta_j = A_{вихi} \cdot \eta_j \\ A_{вихi} &= A_{вхi} \cdot \eta_i \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_{вихj} = A_{вих} \eta_i = A_{вхi} \cdot \eta_i \cdot \eta_j,$$

При паралельному з'єднанні механізмів i та j (рис. 1.91) потік механічної енергії поділяється на дві частини: на частину, яка проходить через механізм i (позначимо α), та на частину, що проходить через механізм $j \Rightarrow \beta$, причому $\alpha + \beta = 1$.

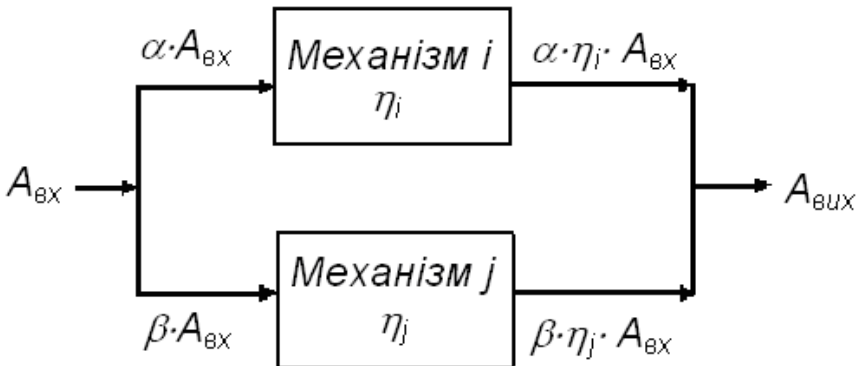


Рис. 1.91 – ККД механічної системи при паралельному з'єднанні механізмів

$$\eta = | A_{вих} / A_{вх} |,$$

де $A_{вих} = \alpha \cdot \eta_i \cdot A_{вх} + \beta \cdot \eta_j \cdot A_{вх} = (\alpha \cdot \eta_i + \beta \cdot \eta_j) \cdot A_{вх} \Rightarrow \eta = (\alpha \cdot \eta_i + \beta \cdot \eta_j)$

1.10 Складні зубчасті механізми. Багатопоточні й планетарні механізми

Складними зубчастими механізмами називаються механізми із зубчастими передачами та числом зубчастих коліс більше двох.

Це можуть бути механізми з оригінальними структурними схемами або механізми, утворені послідовним й (або) паралельним з'єднанням найпростіших типових зубчастих механізмів.

Механізми, в яких кінематичні ланцюги утворюють один або кілька замкнутих контурів та в яких вхідний потік механічної потужності в процесі передачі й перетворення поділяється на кілька потоків, а потім підсумовується на вихідній ланці, називаються **багатопоточними механізмами**.

Розподіл переданих зусиль по декількох кінематичних парах зменшує навантаження на елементи пар і дозволяє істотно зменшувати габаритні розміри й масу механізмів.

Багатозонний контакт ланок механізму істотно збільшує жорсткість механізму, а за рахунок осереднення помилок і зазорів, зменшує мертвий хід і кінематичну похибку механізму.

Однак за рахунок утворення у структурі механізму внутрішніх контурів число надлишкових або пасивних зв'язків у механізмі збільшується. Тому при виготовленні й зборці механізму необхідно або підвищувати точність деталей, або збільшувати зазори в кінематичних парах.

Складні зубчасті механізми, в яких вісь хоча б одного колеса є рухомою, називаються **планетарними механізмами**. До типових планетарних механізмів відносяться:

- однорядний планетарний механізм;
- дворядний планетарний механізм із одним зовнішнім й одним внутрішнім зачепленням;
- дворядний планетарний механізм із двома зовнішніми зачепленнями;
- дворядний планетарний механізм із двома внутрішніми зачепленнями.

У таблиці 1.2 наведено структурні схеми типових планетарних механізмів, а також діапазони рекомендованих передатних відношень і орієнтовні значення ККД при цих передатних відношеннях.

Таблиця 1.2 – Типові планетарні механізми

№	Структурна схема механізму	$P_{ед.}$	η
1.		$3 \dots 10$ $u_{1h}^{(3)} = 1 + z_3/z_1$	$0.97 \dots 0.99$
2.		$7 \dots 16$ $u_{1h}^{(3)} = 1 + z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3)$	$0.96 \dots 0.98$
3.		$25 \dots 300$ $u_{1h}^{(3)} = 1 - z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3)$	$0.9 \dots 0.3$
4.		$30 \dots 300$ $u_{1h}^{(3)} = 1 - z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3)$	$0.9 \dots 0.3$

Елементи планетарного механізму мають спеціальні назви:

- зубчасте колесо із зовнішніми зубами, розташоване в центрі механізму, називається «сонячним»;
- колесо із внутрішніми зубами називають «короною» або «епіциклом»;
- колеса, осі яких є рухомими, називають «сателітами»;
- рухому ланку, на якій встановлені сателіти, називають «водилом». Ланку водила прийнято позначати не цифрою, а латинською буквою h .

1.10.1 Кінематика рядного зубчастого механізму

Рядним зубчастим механізмом називається складний зубчастий механізм із нерухомими осями коліс, утворений послідовним з'єднанням декількох простих зубчастих механізмів.

Розглянемо кінематику рядного механізму, складеного із двох зубчастих передач: одного зовнішнього зачеплення й одного внутрішнього зачеплення.

Схему механізму зображено на рис. 1.92.

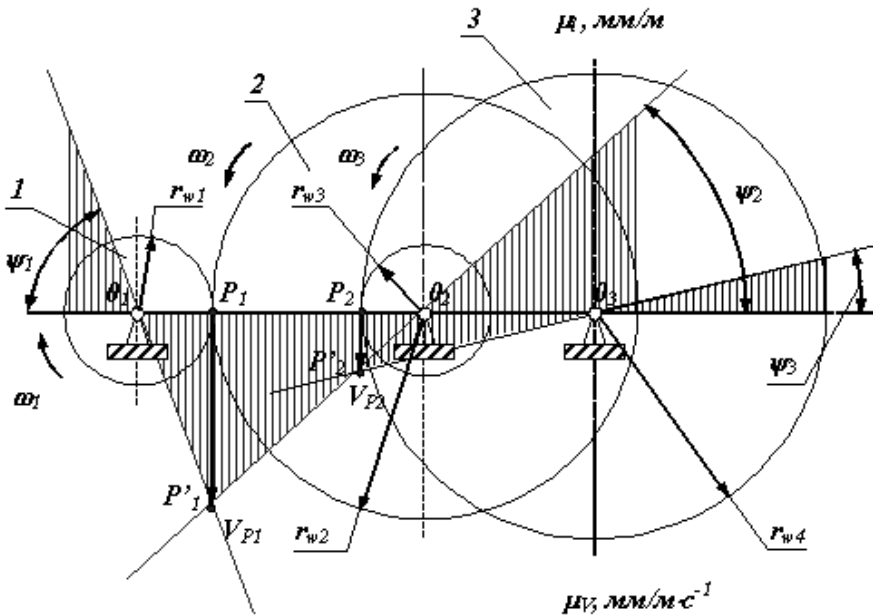


Рис. 1.92 – Кінематика рядного механізму

Прийmemo масштаби:

- для розмірів – μ_l , мм/м,
 - для лінійних швидкостей – μ_v , мм/м·с⁻¹.
- Кутова швидкість ланки i дорівнює:

$$\omega_i = (\mu_l/\mu_v) \cdot \operatorname{tg}(\psi_i) = c \cdot \operatorname{tg}(\psi_i).$$

У такий спосіб при графічному кінематичному аналізі кутова швидкість ланки дорівнює добутку тангенса кута нахилу прямої розподілу лінійних швидкостей (ψ_i) на відношення масштабів довжин і швидкостей (c).

1.10.2 Аналітичне дослідження кінематики рядного механізму

З основної теореми зачеплення для першої пари зубчастих коліс із зовнішнім зачепленням можна записати:

$$\omega_1/\omega_2 = -r_{w2}/r_{w1} = -z_2/z_1;$$

для другої пари зубчастих коліс із внутрішнім зачепленням:

$$\omega_2/\omega_3 = r_{w4}/r_{w3} = z_4/z_3.$$

Передатне відношення механізму в цілому буде дорівнювати:

$$u_{13} = \omega_1/\omega_3 = (\omega_1/\omega_2) \cdot (\omega_2/\omega_3) = u_{12} \cdot u_{23} = -(z_2 \cdot z_4)/(z_1 \cdot z_3).$$

Передатне відношення складного рядного зубчастого механізму, утвореного з декількох з'єднаних послідовно простих зубчастих механізмів, дорівнює добутку передатних відношень цих механізмів.

1.10.3 Графічне дослідження кінематики рядного механізму

Зобразимо в масштабі μ_l , мм/м, кінематичну схему рядного зубчастого механізму. Нанесемо на цю схему лінійну швидкість точки P_1 , зобразивши її в довільному масштабі μ_v , мм/м·с⁻¹, відрізком $P_1P'_1$. З'єднаємо кінець цього відрізка точку P'_1 із центрами обертання коліс 1 й 2 точками O_1 й O_2 й одержимо прями, що визначають розподіл лінійних швидкостей цих ланок для точок, що лежать на лінії центрів.

Ці прямі утворюють із лінією центрів відповідно кути ψ_1 й ψ_2 . Точка P_2 є точкою торкання початкових окружностей коліс 3 й 4.

Оскільки в точці дотику початкових окружностей лінійні швидкості ланок 2 й 3 є рівними, а розподіл лінійних швидкостей по лінії центрів для ланки 2 відомий, то можна визначити відрізок $P_2P'_2$, що зображує швидкість точки P_2 , у масштабі μ_V , мм/м·с⁻¹.

З'єднавши прямою точку P'_2 із центром обертання ланки 3, одержимо пряму розподілу лінійних швидкостей для точок ланки 3, що лежать на лінії центрів.

Кут, що утвориться прямою з лінією центрів, позначимо ψ_3 . Кутові швидкості ланок визначаються із цієї схеми за формулами:

$$\omega_1 = (\mu_1/\mu_V) \cdot \text{tg } \psi_1 = c \cdot \text{tg } \psi_1, \quad c = \mu_1 / \mu_V,$$

$$\omega_3 = (\mu_1/\mu_V) \cdot \text{tg } \psi_3 = c \cdot \text{tg } \psi_3.$$

Передатне відношення розглянутого рядного зубчастого механізму дорівнює:

$$u_{13} = \omega_1/\omega_3 = \text{tg } \psi_1/\text{tg } \psi_3.$$

1.10.4 Формула Віліса

Формула Віліса виводиться на підставі основної теореми зачеплення й установлює співвідношення між кутковими швидкостями зубчастих коліс у планетарному механізмі.

Розглянемо найпростіший планетарний механізм із одним зовнішнім зачепленням (рис. 1.93). Число рухомостей у цьому механізмі дорівнює:

$$W^{nl} = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - 1 \cdot p_2 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 \cdot 1 = 2,$$

тобто для одержання визначеності руху ланок механізму необхідно надати незалежних рухів двом його ланкам.

Розглянемо рух ланок механізму відносно стійки й водила. Кутові швидкості ланок у кожному з розглянутих рухів наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Кутові швидкості ланок

Рух механізму	Ланка 1	Ланка 2	Ланка h	Ланка 0
відносно стійки	ω_1	ω_2	ω_h	$\omega_0=0$
відносно водила	$\omega_1^* = \omega_1 - \omega_h$	$\omega_2^* = \omega_2 - \omega_h$	$\omega_h - \omega_h = 0$	$-\omega_h$

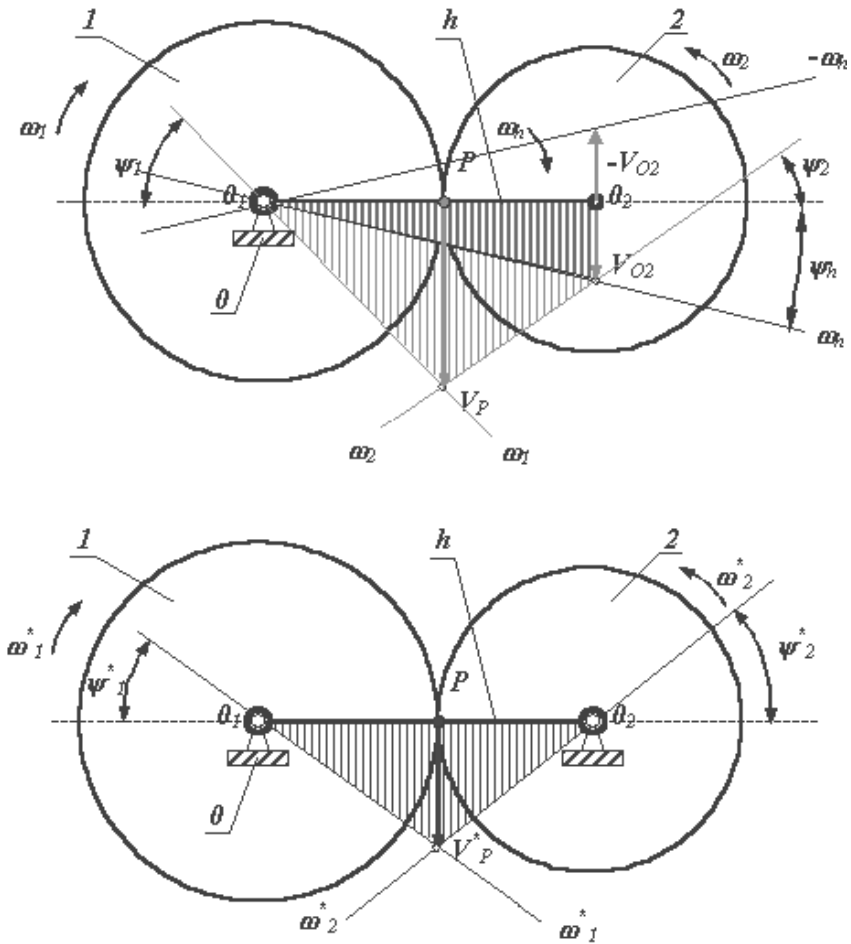


Рис. 1.93 – Рух механізму відносно стійки та відносно водила

У русі ланок відносно водила кутові швидкості ланок дорівнюють кутовим швидкостям у русі відносно стійки мінус кутова швидкість водила.

Якщо в русі відносно стійки вісь зубчастого колеса 2 є рухливою, то в русі відносно водила осі обох зубчастих коліс є нерухомою. Тому до руху відносно водила можна застосувати основну теорему зачеплення.

Тобто можна записати вираз, що називається **формулою Віліса** для планетарних механізмів:

$$\omega_2^* / \omega_1^* = (\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h) = -z_1 / z_2.$$

1.10.5 Кінематичне дослідження типових планетарних механізмів графічним й аналітичним методами

а) Дворядний механізм із одним внутрішнім й одним зовнішнім зачепленням

Дано: кінематична схема механізму (рис.1.94) та числа зубів коліс (z_i).

Треба визначити передатне відношення механізму.

Аналітичне визначення передатного відношення

У планетарному редукторі, зображеному на рис. 1.94, на ланці 2 нарізані два зубчасті вінці – z_2 , що входить у зачеплення із зубчастим вінцем z_1 ланки 1, та z_3 , що входить у зачеплення із внутрішнім зубчастим вінцем z_4 ланки 3.

За формулою Віліса відношення кутових швидкостей ланок розраховуються:

– для зовнішнього зачеплення коліс z_2 й z_1 :

$$(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h) = -z_2 / z_1;$$

– для внутрішнього зачеплення коліс z_4 й z_3 :

$$(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h) = z_4 / z_3.$$

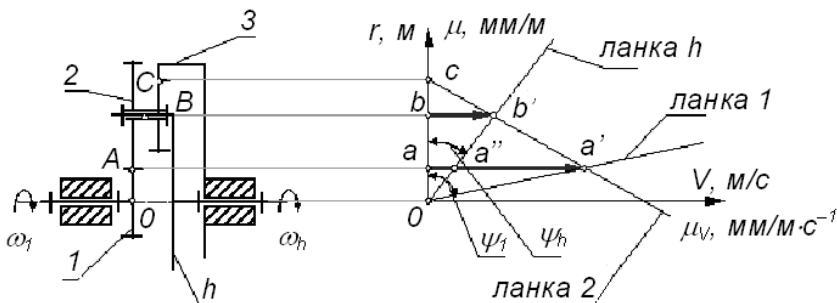


Рис. 1.94 – Дворядний механізм із одним внутрішнім й одним зовнішнім зачепленням

Перемножимо праві й ліві частини цих рівнянь і одержимо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h)] \cdot [(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h)] = -z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3).$$

Після перетворень та з урахуванням, що $\omega_3 = 0$, отримаємо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (-\omega_h)] = -z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3),$$

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = 1 + z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3).$$

Графічне визначення передатного відношення

У системі координат $r_i O V$ побудуємо трикутники розподілу лінійних швидкостей ланок. Для цього із точки A з ординатою r_1 в обраному довільному масштабі μ_V , мм/м·с⁻¹, відкладемо відрізок aa' .

Через кінець цього відрізка й початок координат проведемо пряму, що визначить розподіл швидкостей для точок ланки 1, що лежать на осі r_i . Ця пряма утворює із віссю r_i кут ψ_1 .

Оскільки в точці C швидкості ланок 2 й 3 є рівними між собою й дорівнюють нулю, з'єднаючи точку C прямою із точкою a' , одержимо лінію розподілу швидкостей для ланки 2. Оскільки точка B належить ланкам 2 й h , то її швидкість визначається за променем ca' до радіуса, рівного $r = (r_1 + r_2)$, що в масштабі μ_V , мм/м·с⁻¹, відповідає відрізку bb' .

З'єднаючи точку b' з початком координат прямою, знайдемо лінію розподілу швидкостей для водила. Ця лінія утворює із віссю r_i кут ψ_h . Передатне відношення планетарного механізму за даними графічними побудовами можна записати так:

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = \text{tg } \psi_1 / \text{tg } \psi_h = aa' / aa''.$$

б) Однорядний механізм із одним внутрішнім й одним зовнішнім зачепленням (рис. 1.95).

Аналітичне визначення передатного відношення за формулою Віліса через відношення кутових швидкостей ланок маємо:

– для зовнішнього зачеплення коліс z_2 й z_1 :

$$(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h) = -z_2 / z_1;$$

– для внутрішнього зачеплення коліс z_2 й z_3 :

$$(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h) = z_3 / z_2.$$

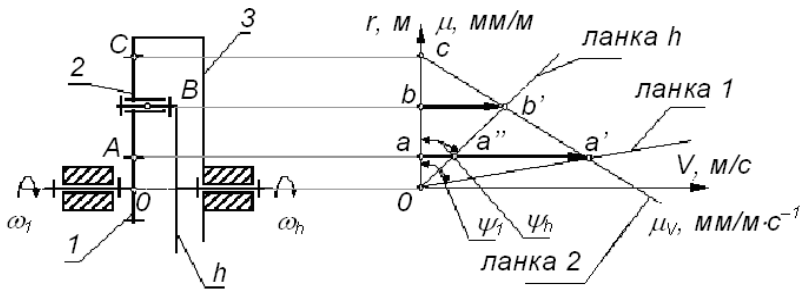


Рис. 1.95 – Однорядний механізм із одним внутрішнім й одним зовнішнім зачепленням

Перемножимо праві й ліві частини цих рівнянь і одержимо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h)] \cdot [(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h)] = -z_3 / z_1.$$

Після перетворень з урахуванням, що $\omega_3 = 0$, бо ланка 3 нерухомою, отримаємо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (-\omega_h)] = -z_3 / z_1,$$

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = 1 + z_3 / z_1.$$

Графічне визначення передатного відношення:

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = \operatorname{tg} \psi_1 / \operatorname{tg} \psi_h = aa' / aa''.$$

в) Дворядний механізм із двома зовнішніми зачепленнями

Схему планетарного дворядного механізму із двома зовнішніми зачепленнями наведено на рис. 1.96.

Аналітичне визначення передатного відношення. На ланці 2 нарізані два зубчасті вінці: z_2 , що входять у зачеплення із зубчастим вінцем z_1 ланки 1, та z_3 , що зачіпається із внутрішнім зубчастим вінцем z_4 ланки 3.

За формулою Віліса відношення кутових швидкостей ланок:

– для зовнішнього зачеплення коліс z_2 й z_1 :

$$(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h) = -z_2 / z_1;$$

– для зовнішнього зачеплення коліс z_4 й z_3 :

$$(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h) = -z_4 / z_3.$$

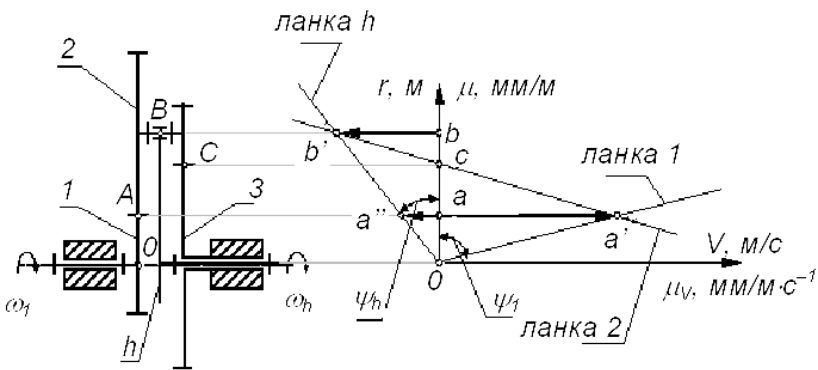


Рис. 1.96 – Дворядний механізм із двома зовнішніми зачепленнями

Перемножимо праві й ліві частини цих рівнянь і одержимо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h)] \cdot [(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h)] = z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3).$$

Після перетворень і беручи до уваги, що $\omega_3 = 0$, бо ланка 3 є нерухомою отримаємо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (-\omega_h)] = z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3),$$

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = 1 - z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3).$$

Графічне визначення передатного відношення:

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = \operatorname{tg} \psi_1 / \operatorname{tg} \psi_h = aa' / aa''.$$

г) Дворядний механізм із двома внутрішніми зачепленнями

Аналітичне визначення передатного відношення.

У планетарному редукторі, який зображено на рис.1.97, на ланці 2 якого нарізані два зубчасті вінці – z_2 , що зачіпається із зубчастим вінцем z_1 ланки 1, та z_3 , що зачіпається із внутрішнім зубчастим вінцем z_4 ланки 3.

За формулою Віліса відношення кутових швидкостей ланок:

– для внутрішнього зачеплення коліс z_2 й z_1 :

$$(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h) = z_2 / z_1;$$

– для внутрішнього зачеплення коліс z_4 й z_3 :

$$(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h) = z_4 / z_3.$$

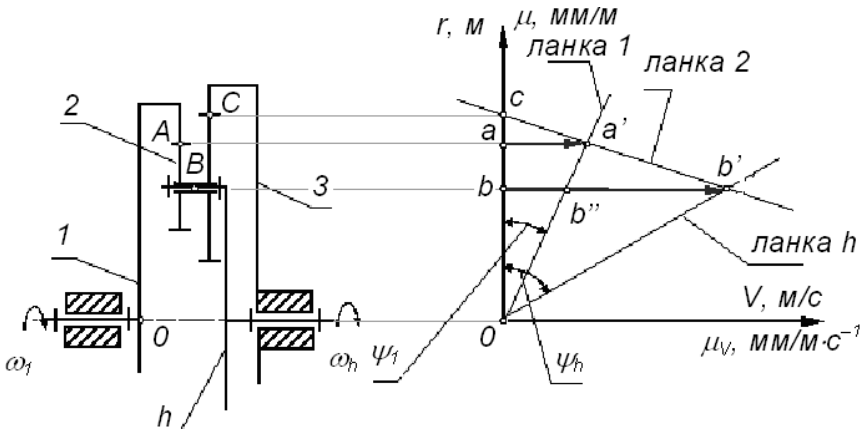


Рис.1.97 – Дворядний механізм із двома внутрішніми зачепленнями

Перемножимо праві й ліві частини цих рівнянь і одержимо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (\omega_2 - \omega_h)] \cdot [(\omega_2 - \omega_h) / (\omega_3 - \omega_h)] = z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3),$$

зважаючи на те, що $\omega_3 = 0$, бо ланка 3 є нерухомою; після перетворень отримаємо:

$$[(\omega_1 - \omega_h) / (-\omega_h)] = z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3),$$

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = 1 - z_2 \cdot z_4 / (z_1 \cdot z_3).$$

Графічне визначення передатного відношення:

$$u_{1h}^{(3)} = \omega_1 / \omega_h = \operatorname{tg} \psi_1 / \operatorname{tg} \psi_h = bb' / bb''.$$

1.10.6 Кінематичне дослідження просторових планетарних механізмів методом планів кутових швидкостей

Розглянемо цей метод дослідження на прикладі планетарного механізму кінцевого диференціала заднього моста автомобіля. На рис.1.98 зображено схему механізму й плани кутових швидкостей.

Плани кутових швидкостей будуються відповідно до векторних рівнянь:

$$\omega_2 = \omega_1 + \omega_{21}; \omega_3 = \omega_2 + \omega_{32}; \omega_4 = \omega_3 + \omega_{43}; \omega_5 = \omega_3 + \omega_{53}.$$

Вектори відносних кутових швидкостей спрямовані по осях миттєвого відносного обертання:

- ω_{21} – по лінії контакту початкових конусів ланок 2 й 1;
- ω_{32} – по осі шарніра 3;
- ω_{43} – по лінії контакту початкових конусів ланок 4 й 3;
- ω_{53} – по лінії контакту початкових конусів ланок 5 й 3.

Вектори абсолютних кутових швидкостей спрямовані по осях кінематичних пар, які утворюють ланки зі стійкою:

- ω_2 – по осі пари B ;
- ω_1 – по осі пари A ;
- ω_4 – по осі пари E ;
- ω_5 – по осі пари D .

Напрямок кутової швидкості сателіта 3 визначається співвідношенням величин кутових швидкостей ω_2 й ω_{32} .

Розглянемо три режими руху автомобіля.

При прямолінійному русі $\omega_4 = \omega_5$ (векторна діаграма на рис. 1.98, а).

У цьому режимі руху корпус диференціала 2 і півосі 4 й 5 обертуються з однаковими кутовими швидкостями $\omega_4 = \omega_5 = \omega_2$, а відносна кутова швидкість сателіта $\omega_{32} = 0$.

Поворот автомобіля праворуч $\omega_4 < \omega_5$ (векторна діаграма на рис. 1.98, б).

При повороті праворуч кутові швидкості півосей не рівні й зв'язані нерівністю $\omega_4 < \omega_5$, тому сателіт буде обертатися з такою кутовою швидкістю ω_{32} , що забезпечує сталість кутової швидкості корпусу диференціала ω_2 .

Буксування лівого колеса $\omega_4 = 0$ (векторна діаграма на рис. 1.98, в).

При буксуванні лівого колеса праве колесо зупиняється $\omega_4 = 0$, а ліве буде обертатися з кутовою швидкістю $\omega_5 = 2 \cdot \omega_2$.

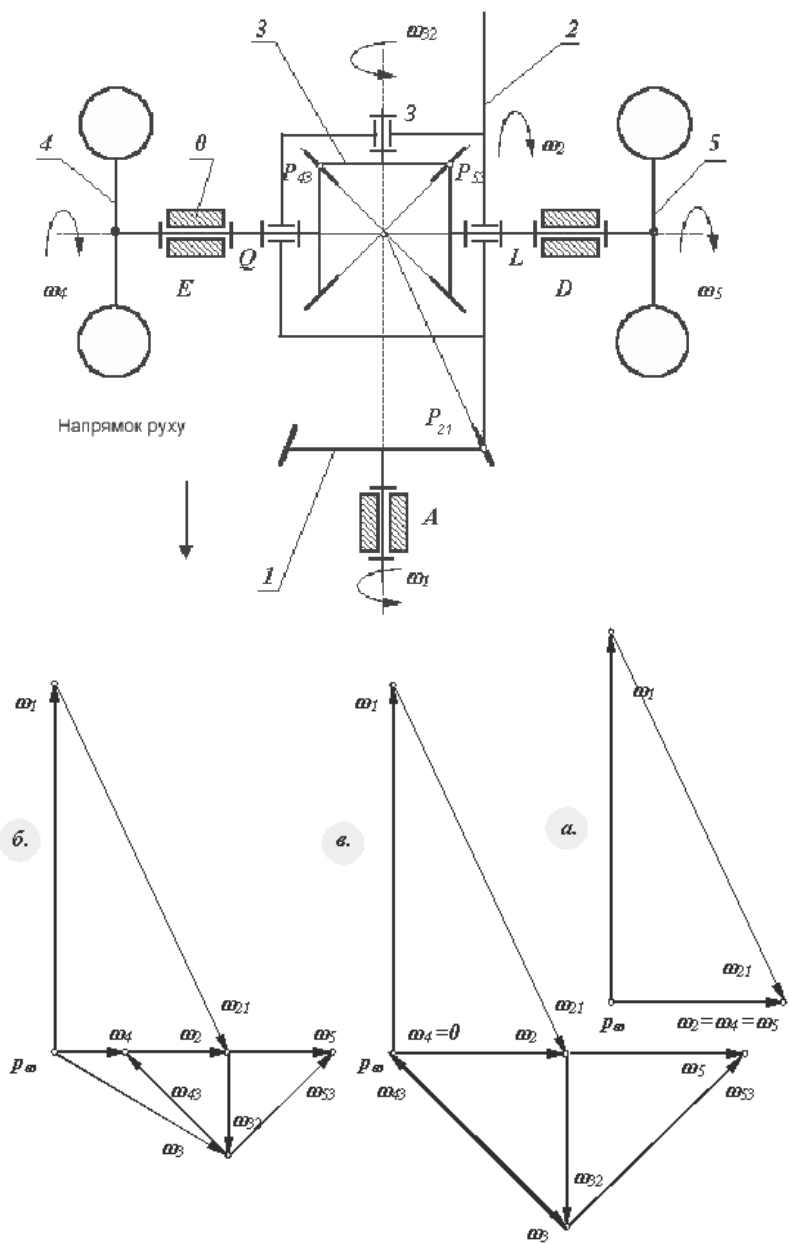


Рис. 1.98 – Просторовий планетарний механізм

Для того, щоб в умовах низького зчеплення коліс із ґрунтом зменшити небезпеку їхнього пробуксовування, в диференціали автомобілів високої прохідності включають елементи тертя або блокування.

1.11 Кулачкові механізми

Кулачковим називається триланковий механізм із вищою кінематичною парою, вхідна ланка якого називається **кулачком**, а вихідна - **штовхальником** (або коромислом).

Часто для заміни у вищій парі тертя ковзання тертям кочення й зменшення зношування як кулачка, так і штовхальника, у схему механізму включають додаткову ланку - ролик й обертальну кінематичну пару.

Рухомість у цій кінематичній парі не змінює передатних функцій механізму і є місцевою рухомістю.

Кулачкові механізми призначені для перетворення обертального або поступального руху кулачка у зворотно-обертальний або зворотно-поступальний рух штовхальника. При цьому в механізмі із двома рухомими ланками можна реалізувати перетворення руху за складним законом.

Важливою перевагою кулачкових механізмів є можливість забезпечення точних вистой вихідної ланки. Ця перевага визначила їхнє широке застосування в найпростіших пристроях циклової автоматики й у механічних лічильних та вимірювальних пристроях (арифмометрах, календарних механізмах).

Кулачкові механізми можна розділити на дві групи. Механізми першої забезпечують переміщення штовхальника за заданим законом руху. Механізми другої групи забезпечують тільки задане максимальне переміщення вихідної ланки - хід штовхальника. При цьому закон, за яким здійснюється це переміщення, вибирається з набору типових законів руху залежно від умов експлуатації й технології виготовлення.

Кулачкові механізми класифікуються за наступними ознаками:

- за розташуванням ланок у просторі:
 - просторові;
 - плоскі;
- за рухом кулачка:

- обертальний;
- поступальний;
- гвинтовий;
- за рухом вихідної ланки:
 - зворотно-поступальний (зі штовхальником);
 - зворотно-обертальний (з коромислом);
- за наявності ролика:
 - з роликом;
 - без ролика;
- за видом кулачка:
 - дисковий (плоский);
 - циліндричний;
 - коноїд (складний просторовий);
- за формою робочої поверхні вихідної ланки:
 - плоска;
 - загострена;
 - циліндрична;
 - сферична;
 - евольвентна;
- за способом замикання елементів вищої пари:
 - силове;
 - геометричне.

При силовому замиканні (рис.1.99) рух віддалення штовхальника здійснюється впливом на нього контактної поверхні кулачка (тягова ланка - кулачок, тяжна - штовхальник).

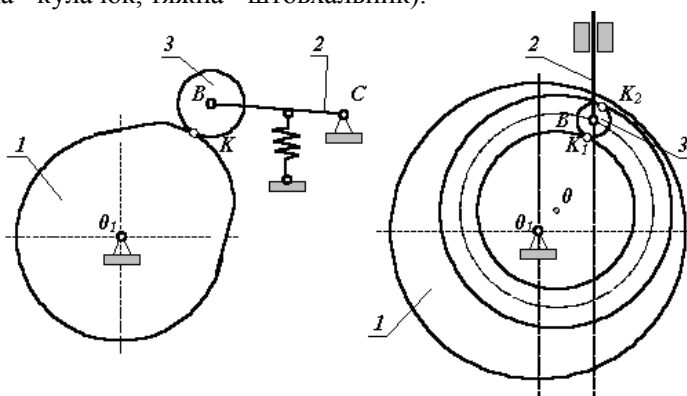


Рис. 1.99 а) кулачковий механізм із силовим замиканням;
б) кулачковий механізм із геометричним замиканням

Рух штовхальника при зближенні здійснюється за рахунок сили пружності пружини або сили ваги штовхальника, при цьому кулачок не є тяговою ланкою. При геометричному замиканні рух штовхальника при віддаленні здійснюється впливом зовнішньої робочої поверхні кулачка на штовхальник, при зближенні - впливом внутрішньої робочої поверхні кулачка на штовхальник. На обох фазах руху кулачок – ведуча ланка, штовхальник - тяжна.

На рис.1.100 зображена структура плоского кулачкового механізму із двома видами вихідної ланки: позаосьовою (з поступальним рухом) і хитною (зі зворотно-обертальним рухом).

Більшість кулачкових механізмів відноситься до циклових механізмів з періодом циклу, рівним 2π . У циклі руху штовхальника в загальному випадку можна виділити чотири фази: віддалення, далекого стояння (або вистою), зближення й ближнього стояння. Відповідно до цього, кути повороту кулачка або фазові кути поділяються на: кут віддалення φ_e , кут далекого вистою φ_{oe} , кут зближення φ_3 та кут ближнього вистою φ_{ob} .

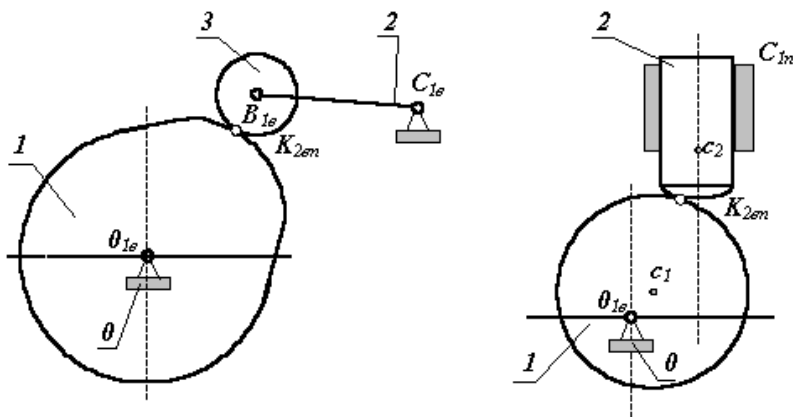


Рис. 1. 100 – Структура кулачкових механізмів

Сума трьох кутів утворює кут $\varphi_{роб} = \delta_{роб}$, що називається **робочим кутом**:

$$\varphi_{роб} = \delta_{роб} = \varphi_e + \varphi_{oe} + \varphi_3.$$

Кулачок механізму характеризується двома профілями: центровим (або теоретичним) і конструктивним.

φ_{40} - початкова кутова координата коромисла; φ_4 - поточне кутове переміщення коромисла; h_{Amax} - максимальне переміщення центра ролика; r_0 - радіус початкової шайби центрального профілю кулачка; r - радіус початкової шайби конструктивного профілю кулачка; r_p - радіус ролика (закруглення робочої ділянки штовхальника); \mathcal{G}_i - поточне значення кута тиску; a_w - міжосьова (міжцентрова) відстань; e - позаосність (ексцентриситет).

Теоретичний профіль кулачка звичайно представляється в полярних координатах залежністю

$$\rho_i = f(\delta_i),$$

де ρ_i - радіус-вектор поточної точки теоретичного або центрального профілю кулачка.

У кулачковому механізмі з роликом є дві рухомості різного функціонального призначення: $W_0 = I$ – основна рухомість механізму, за якою здійснюється перетворення руху за заданим законом; $W_m = I$ – місцева рухомість, введена в механізм для заміни у вищій парі тертя ковзання тертям кочення.

Кінематичний аналіз кулачкового механізму може бути проведений кожним з описаних вище методів. При дослідженні кулачкових механізмів з типовим законом руху вихідної ланки найбільш часто застосовується **метод кінематичних діаграм**. Для застосування цього методу необхідно визначити одну з кінематичних діаграм. Оскільки при кінематичному аналізі кулачковий механізм заданий, то відомі його кінематична схема й форма конструктивного профілю кулачка.

Побудова діаграми переміщень проводиться в наступній послідовності (для механізму із позаосьовим поступальним штовхальником):

- будується відносно конструктивного профілю кулачка сімейство окружностей з радіусом, який дорівнює радіусу ролика; з'єднуються центри окружностей цього сімейства плавною кривою й виходить центровий або теоретичний профіль кулачка;

- в отриманий центровий профіль вписуються окружності радіусів r_0 й $r_0 + h_{Amax}$, визначається величина ексцентриситету e ;

- за величиною ділянок, що не збігаються з дугами окружностей радіусів r й $r + h_{Amax}$, визначаються фазові кути $\varphi_{роб}$, $\varphi_в$, $\varphi_{дв}$ й $\varphi_з$;

- дуга окружності r , що відповідає робочому фазовому куту, розбивається на декілька дискретних ділянок; через точки розбивки проводяться відносно до окружності радіуса ексцентриситету прямі

лінії (ці лінії відповідають положенням осі штовхальника в його русі відносно кулачка);

- на цих прямих виміряються відрізки, розташовані між центровим профілем й окружністю радіуса r_0 ; ці відрізки відповідають переміщенням центра ролика штовхальника S_{Bi} ;

- за отриманими переміщеннями S_{Bi} будується діаграма функції положення центра ролика штовхальника $S_{Bi} = f(\varphi_1)$.

На рис.1.102 показано схему побудови функції положення для кулачкового механізму із центральним ($e=0$) роликівим штовхальником, що рухається поступально.

При синтезі кулачкового механізму, як і при синтезі будь-якого механізму, вирішується ряд завдань, із яких розглядаються два: **вибір структурної схеми й визначення основних розмірів ланок механізму** (включаючи профіль кулачка).

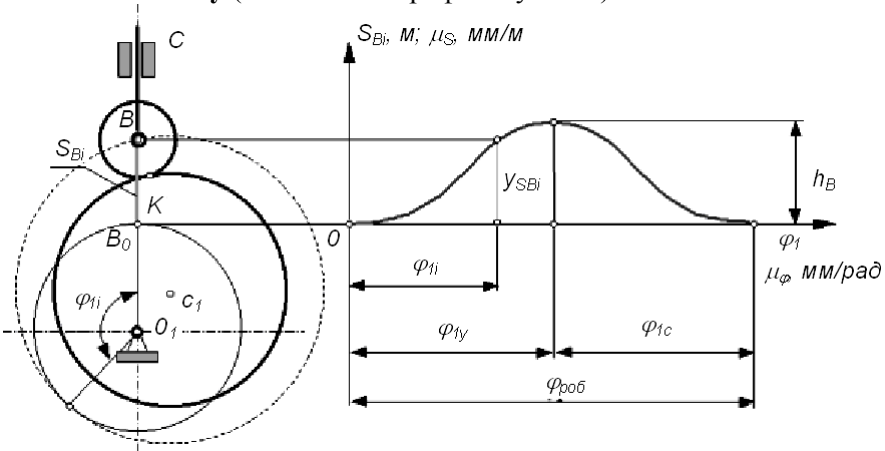


Рис.1.102 – Схема побудови функції положення для кулачкового механізму із центральним ($e=0$) роликівим штовхальником

Перший етап синтезу - **структурний**. Структурна схема визначає число ланок механізму, число, вид і рухомість кінематичних пар, число надлишкових зв'язків і місцевих рухомостей.

При структурному синтезі необхідно обґрунтувати введення в схему механізму кожного надлишкового зв'язку й місцевої рухомості. Визначальними умовами при виборі структурної схеми є: заданий вид перетворення руху та розташування осей вхідної й вихідної ланок.

Вхідний рух у механізмі перетворюється у вихідний, наприклад, обертальний в обертальний, обертальний в поступальний і т.

ін. Якщо осі є паралельними, то вибирається плоска схема механізму. При пересічних або перехресних осях необхідно використовувати просторову схему.

У кінематичних механізмах навантаження є малими, тому можна використати штовхальники із загостреним наконечником. У силових механізмах для підвищення довговічності й зменшення зношування у схему механізму вводять ролик або збільшують наведений радіус кривизни контактуючих поверхонь вищої пари.

Другий етап синтезу – **метричний**. На цьому етапі визначаються основні розміри ланок механізму, які забезпечують заданий закон перетворення руху в механізмі або задану передатну функцію.

Як відзначалося вище, передатна функція є чисто геометричною характеристикою механізму, а отже, завдання метричного синтезу – чисто геометричне завдання, що не залежить від часу або швидкостей.

Основні критерії, якими керується проектувальник при рішенні завдань метричного синтезу: мінімізація габаритів, а отже, і маси, мінімізація кута тиску у вищій парі, одержання технологічної форми профілю кулачка.

Розглянемо алгоритм проектування кулачкового механізму за припустимим кутом тиску.

Визначення закону руху. Якщо в завданні на проектування не дано закону руху, то конструктор повинен вибрати його з набору типових (табл. 1.4) законів руху. Типові закони руху поділяються на закони із твердими й м'якими ударами й закони безударні. З погляду динамічних навантажень, бажаними є безударні закони. Однак кулачки з такими законами руху є технологічно більш складними, оскільки вимагають більш точного й складного устаткування, тому їхнє виготовлення істотно дорожче.

Закони із жорсткими ударами мають досить обмежене застосування й використовуються в невідповідальних механізмах за низьких швидкостей руху й невисокої довговічності. Кулачки з безударними законами доцільно застосовувати в механізмах з високими швидкостями руху при високих вимогах до точності й довговічності.

Найбільшого поширення набули закони руху з м'якими ударами, за допомогою яких можна забезпечити раціональне поєднання вартості виготовлення й експлуатаційних характеристик механізму.

Таблиця 1.4 – Типові закони руху

№ з/п	Типовий закон руху	Параметри закону руху
1.		<p>із жорсткими ударами</p> <p>при $\varphi_1=0$ при $\varphi_1 = \varphi_{yp}$ $a_{qB} \Rightarrow \infty$ при $\varphi_1 = \varphi_y$</p>
2.		<p>із м'якими ударами</p> <p>$a_{q1} \neq a_{q2}$; $\varphi_{yp} \neq \varphi_{ym}$; $a_{q1} \cdot \varphi_{yp} = a_{q2} \cdot \varphi_{ym}$ або $a_{q1} = a_{q2}$; $\varphi_{yp} = \varphi_{ym}$; $a_{q1} \cdot \varphi_{yp} = a_{q2} \cdot \varphi_{ym}$</p>
3.		<p>із м'якими ударами</p> <p>$a_{q1} \neq a_{q2}$; $\varphi_{yp} \neq \varphi_{ym}$; $a_{q3} \neq a_{q4}$; $(a_{q1} + a_{q2}) \cdot \varphi_{yp} =$ $= (a_{q3} + a_{q4}) \cdot \varphi_{ym}$</p>
4.		<p>із м'якими ударами</p> <p>$a_{q1} \neq a_{q2}$; $\varphi_{yp} \neq \varphi_{ym}$; $0.5 \cdot a_{q1} \cdot \varphi_{yp} =$ $= 0.5 \cdot a_{q2} \cdot \varphi_{ym}$</p>

<p>5.</p>		<p>безударний</p> <p>$a_{q1} \neq a_{q2}$; $\varphi_{yp} \neq \varphi_{ym}$;</p> <p>$0.5 \cdot a_{q1} \cdot \varphi_{yp} =$ $= 0.5 \cdot a_{q2} \cdot \varphi_{ym}$</p>
<p>6.</p>		<p>безударний</p> <p>$a_{q1} \neq a_{q2}$; $\varphi_{yp} \neq \varphi_{ym}$;</p> <p>$\int_0^{\varphi_{yp}} a_{qB} \cdot d\varphi_1 =$ $= \int_{\varphi_{yp}}^{\varphi_y} a_{qB} \cdot d\varphi_1$</p>

Після вибору виду закону руху, звичайно методом кінематичних діаграм, проводять геометро-кінематичне дослідження механізму й визначають закон переміщення штовхальника й закон зміни за цикл першої передатної функції.

Другий етап - визначення основних розмірів кулачкового механізму. Розміри кулачкового механізму визначаються з урахуванням припустимого кута тиску у вищій парі.

Формулювання синтезу (рис.1.103). Якщо на продовженні променя, проведеного із точки O_2 через точку K , відкласти від точки K відрізок довжиною:

$$l_{KD} = V_{K2} / \omega_1 = V_{q2}$$

і через кінець цього відрізка провести пряму, паралельну контактній нормалі, то ця пряма пройде через центр обертання тягової ланки - точку O_1 .

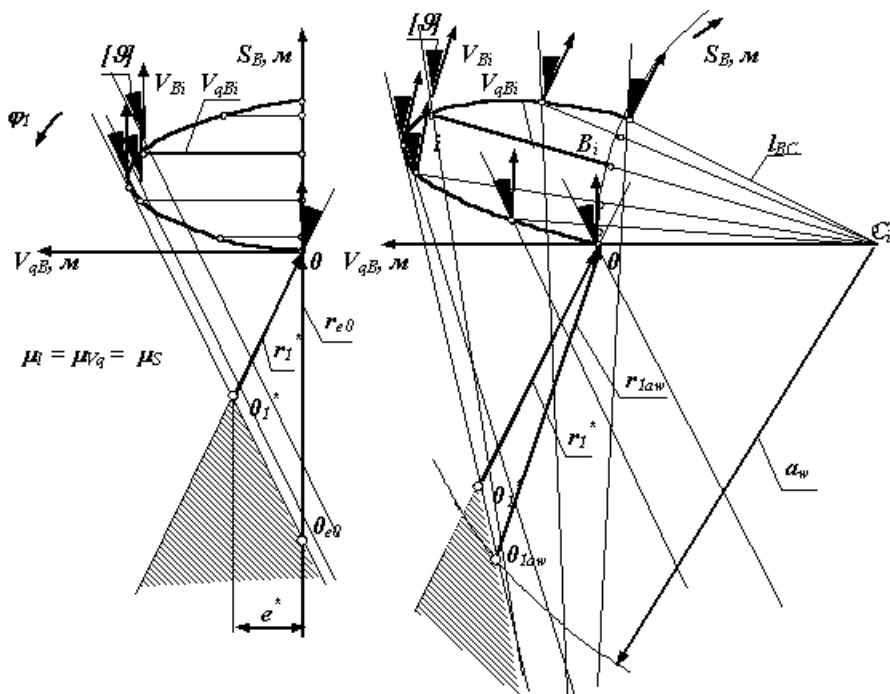


Рис. 1.103 – Механізм зі штовхачем. Механізм із коромислом

Умова, якій повинно задовольняти положення центра обертання кулачка O_1 : кути тиску на фазі віддалення у всіх точках профілю повинні бути менше припустимого значення.

Тому графічно область розташування точки O_1 може бути визначена сімейством прямих, проведених під припустимим кутом тиску до вектора можливої швидкості точки центрального профілю, що належить штовхальнику.

Графічну інтерпретацію вищесказаного для штовхальника й коромисла приведено на рис. 1.103.

На фазі віддалення будується діаграма залежності $S_B = f(\varphi_1)$. Оскільки при коромислі точка B рухається по дузі окружності радіуса l_{BC} , то для механізму з коромислом діаграма будується у криволінійних координатах. Всі побудови на схемі проводяться в одному масштабі, тобто $\mu_l = \mu_{Vq} = \mu_s$. Вибір центра можливий у заштрихова-

них областях. Причому вибирати потрібно так, щоб забезпечити мінімальні розміри механізму.

Мінімальний радіус r_l^* одержимо, якщо з'єднаємо вершину отриманої області точку O_l^* з початком координат. При такому виборі радіуса в будь-якій точці профілю на фазі віддалення кут тиску буде менше або дорівнюватиме припустимому. Однак кулачок необхідно при цьому виконати з ексцентриситетом e^* .

При нульовому ексцентриситеті радіус початкової шайби визначається точкою O_{e0} . Величина радіуса при цьому дорівнює r_{e0} , тобто є значно більше мінімального. Для вихідної ланки – коромисла – мінімальний радіус визначається аналогічно.

Радіус початкової шайби кулачка r_{law} за заданої міжосьової відстані a_w визначається точкою O_{law} перетинання дуги радіуса a_w з відповідною границею області.

Звичайно кулачок обертається тільки в одному напрямку, але при проведенні ремонтних робіт бажано мати можливість обертання кулачка у протилежному напрямку, тобто забезпечити можливість реверсивного руху кулачкового вала. За зміни напрямку руху фази віддалення й зближення міняються місцями. Тому для вибору радіуса кулачка, що рухається реверсивно, необхідно враховувати дві можливі фази віддалення, тобто будувати дві діаграми $S_B = f(\varphi_l)$ для кожного з можливих напрямків руху.

Вибір радіуса й пов'язаних з ним розмірів реверсивного кулачкового механізму проілюстрований схемами на рис. 1.104.

На цьому рисунку позначено: r_l - мінімальний радіус початкової шайби кулачка; r_{le} - радіус початкової шайби за заданого ексцентриситету; r_{law} - радіус початкової шайби за заданої міжосьової відстані; a_{w0} - міжосьова відстань при мінімальному радіусі.

При виборі радіуса ролика керуються наступними міркуваннями.

1. Ролик є простою деталлю, процес обробки якої є нескладним (виточується, потім термообробляється й шліфується). Тому на його поверхні можна забезпечити високу контактну міцність.

У кулачку через складну конфігурацію робочої поверхні це забезпечити складніше. Тому звичайно радіус ролика r_p менше радіуса початкової шайби конструктивного профілю і задовольняє співвідношенню $r_p < 0,4 \cdot r_0$, де r_0 - радіус початкової шайби теоретичного профілю кулачка. Виконання цього співвідношення забезпечує приблизно рівну контактну міцність як для кулачка, так і для ролика.

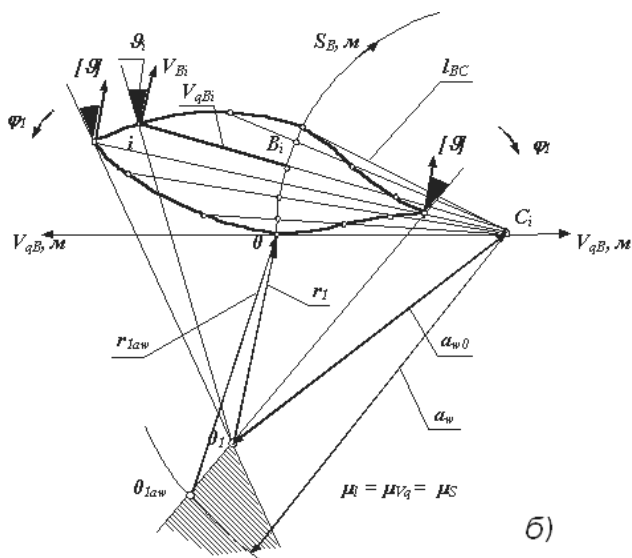
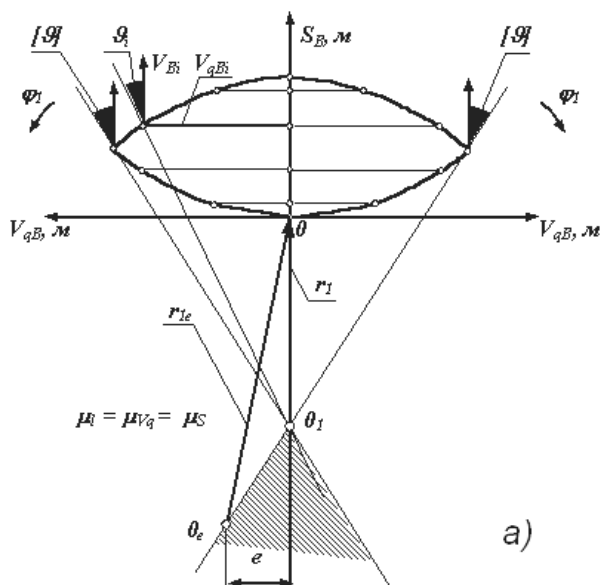


Рис. 1.104 - а) - механізм зі штовхачем;
б) - механізм із коромислом

Ролик має більшу контактну міцність, але оскільки його радіус менше, він обертається з більшою швидкістю й робочі точки його поверхні беруть участь у більшому числі контактів.

2. Конструктивний профіль кулачка не повинен бути загостреним або зрізаним. Тому на вибір радіуса ролика накладається обмеження $r_p < 0,7\rho_{min}$, де ρ_{min} – мінімальний радіус кривизни теоретичного профілю кулачка (рис. 1.105).

Рекомендовано вибирати радіус ролика зі стандартного ряду діаметрів у діапазоні $r_p = (0,2 \div 0,35) \cdot r_{0,35}$. При цьому необхідно враховувати, що збільшення радіуса ролика збільшує габарити й масу штовхальника, погіршує динамічні характеристики механізму (зменшує його власну частоту). Зменшення радіуса ролика збільшує габарити кулачка і його масу, частота обертання ролика збільшується, його довговічність знижується.

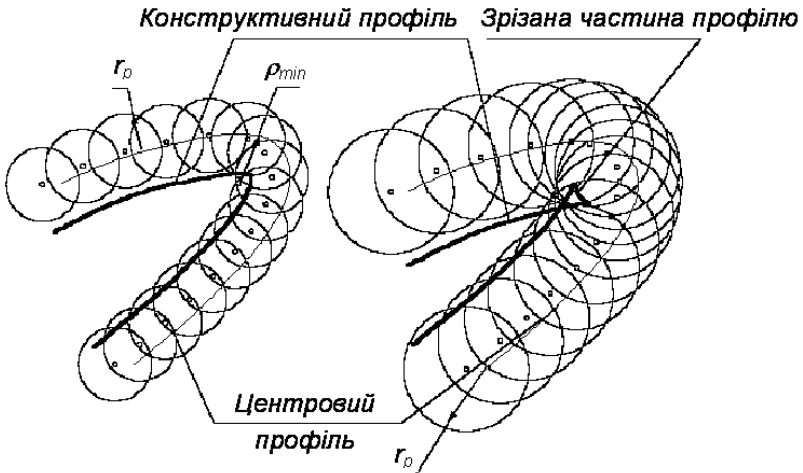


Рис. 1.105 - Профіль кулачка

При виборі радіуса закруглення робочої ділянки штовхальника підхід до рішення завдання трохи інший. Оскільки в цьому випадку немає місцевої рухливості, що заміняє ковзання коченням, то на штовхальнику є дуже невелика робоча ділянка, точки якої ковзають відносно робочої поверхні кулачка, тобто зношування поверхні штовхальника є більш інтенсивним.

Збільшення радіуса закруглення не збільшує габаритів і маси штовхальника, а розміри конструктивного профілю кулачка зменшуються. Тому цей радіус можна вибирати досить великим. Часто застосовуються штовхальники із плоскою робочою поверхнею кулачка (радіус закруглення дорівнює ∞). У цьому випадку кут тиску у вищій парі при поступальному русі штовхальника є величиною постійною й дорівнює куту між нормаллю до площини штовхальника й вектором швидкості його руху на фазі віддалення. Визначення розмірів за кутом тиску при цьому не можливе. Радіус кулачка при цьому визначають за контактними напруженнями, а форму профілю перевіряють за умовою опуклості.

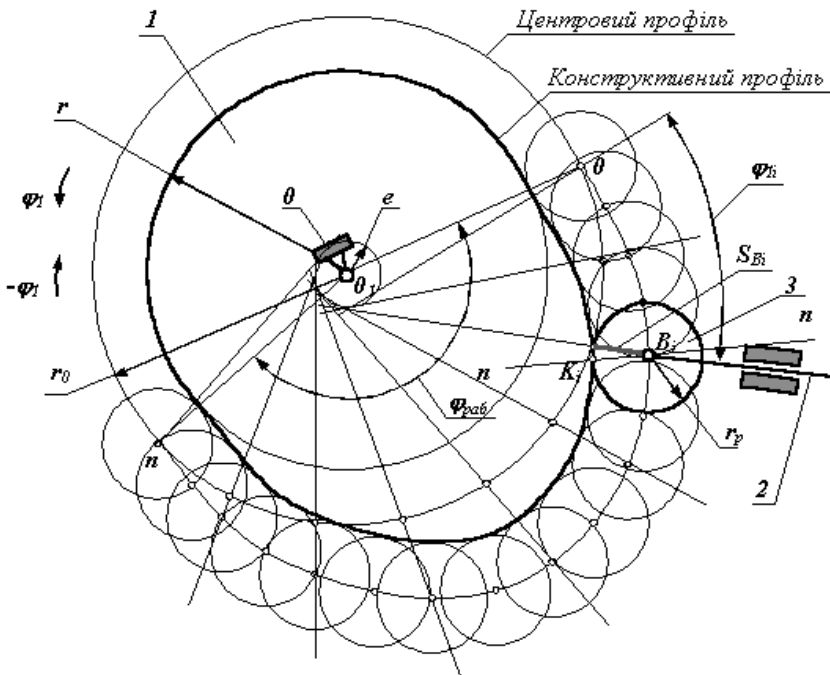


Рис. 1. 106 - Побудова профілів кулачка. Механізм із позаосьовим штовхальником

Для кулачкового механізму із позаосьовим штовхальником побудова профілів кулачка проводиться в наступній послідовності (рис. 1.106):

- вибирається масштаб побудови μ_b , мм/м;
- з довільного центра проводяться в масштабі окружності з радіусами r_0 й e ;
- з довільної точки на окружності r_0 у напрямку - φ_1 відкладається робочий кут, який ділиться на n інтервалів;
- з кожної точки розподілу відносно до окружності радіусом e проводяться прямі;
- на цих прямих від точки перетинання з окружністю r_0 відкладаються в масштабі μ_1 відповідні переміщення штовхальника S_{B_i} ;
- отримані точки з'єднуються плавною кривою, створюючи центровий профіль кулачка;
- проводяться з довільних точок, обраних рівномірно по центровому профілю кулачка, дуги окружностей радіуса r_p ;
- конструктивний профіль кулачка одержуємо як лінію, що обгинає безліч положень ролика штовхальника.

Для кулачкового механізму з коромислом (рис. 1.107) побудова профілів кулачка проводиться в наступній послідовності:

- вибирається масштаб побудови μ_c , мм/м;
- з довільного центра проводяться в масштабі окружності з радіусами r_0 й a_w ; з довільної точки на окружності a_w у напрямку - φ_1 відкладається робочий кут, який ділиться на n інтервалів; з кожної точки розподілу радіусом l_{BC} проводяться дуги;
- на цих дугах від точки перетинання з окружністю r_0 відкладаються в масштабі μ_2 відповідні переміщення штовхача S_{B_i} ;
- отримані точки з'єднуються плавною кривою, створюючи центровий профіль кулачка;
- проводяться з довільних точок, обраних рівномірно по центровому профілю кулачка, дуги окружностей радіуса r_p ;
- конструктивний профіль кулачка одержуємо як лінію, що обгинає безліч положень ролика штовхача.

Перевірка результатів синтезу за діаграмою кутів тиску виконується наступним чином. Як відзначено вище, тягова ланка протягом усього циклу кулачка є тільки в механізмі з геометричним замиканням. Причому на фазі віддалення робочим є або другий профіль кулачка, або інша ділянка поверхні штовхача, або другий ролик. Тому на діаграмі кута тиску необхідно чітко розрізнити фази віддалення й зближення.

На рис. 1.108 дано приклад діаграми кута тиску для механізму з коромислом при геометричному замиканні. При синтезі ця діаграма дозволяє перевірити, які кути тиску забезпечують обрані розміри механізму й отриманий профіль кулачка.

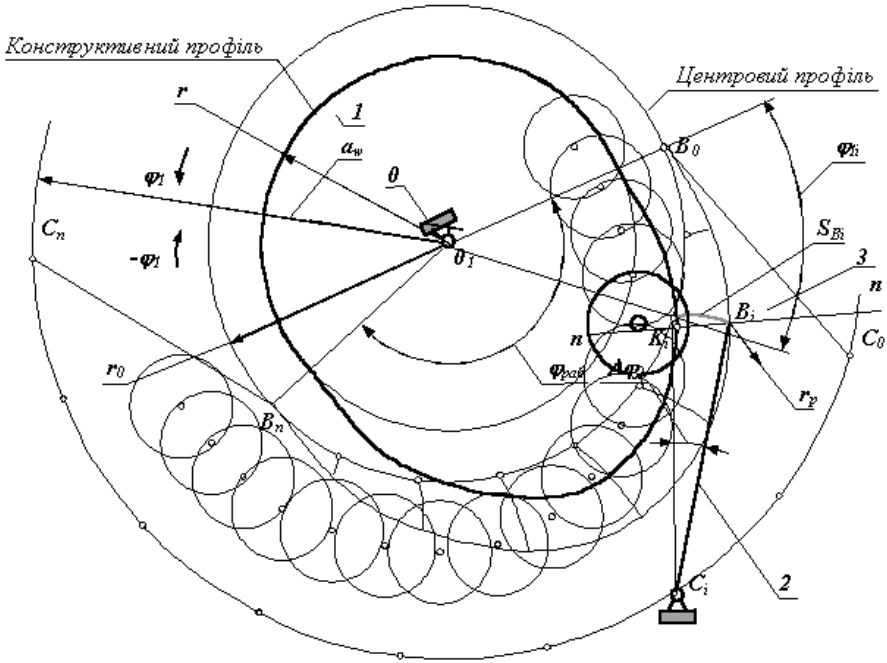


Рис. 1.107 - Побудова профілів кулачка. Механізм із коромислом

Кут тиску визначаємо як гострий кут між нормаллю до профілю (пряма з'єднує точку контакту із центром ролика) і напрямком переміщення точки B штовхача.

При побудові діаграми кута тиску для механізму із силовим замкненням необхідно враховувати, що розглянутий при проектуванні кут тиску у вищій парі має сенс тільки (рис. 1.109) на фазі віддалення.

На фазі зближення штовхач рухається під дією сили пружності пружини або сил ваги; тут кут тиску - це кут між вектором цієї сили й вектором швидкості точки її контакту зі штовхачем.

Тому для механізмів із силовим замиканням діаграма будується тільки на фазі віддалення.

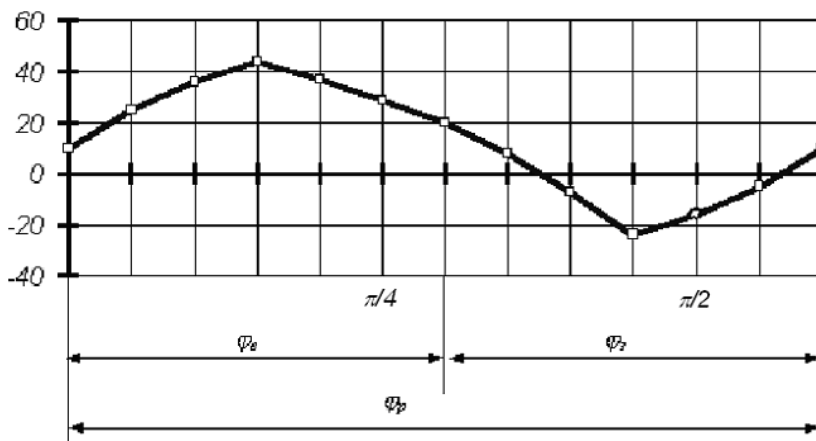


Рис. 1.108 - Діаграма кута тиску при геометричному замиканні. Механізм із коромислом

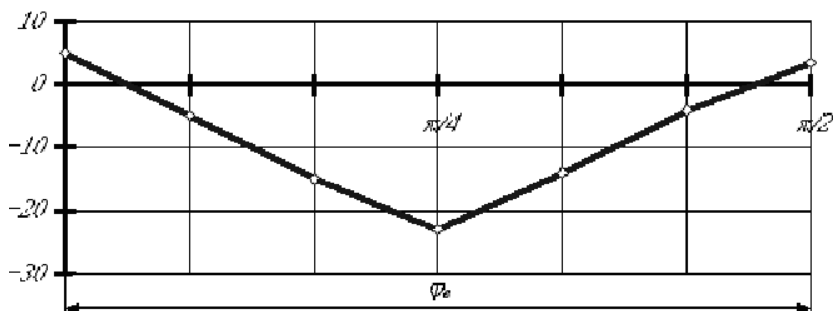


Рис. 1.109 – Діаграма кута тиску при силовому замиканні

Для механізму з реверсивним обертанням кулачка необхідно побудувати дві діаграми кута тиску. За зміни напрямку руху фази віддалення й зближення міняються місцями. Тому діаграми кута тиску будуються для фази віддалення при кожному напрямку руху.

Профіль кулачка буде задовольняти заданим умовам, якщо значення кута тиску на фазах віддалення за модулем будуть меншими або дорівнюватимуть припустимій величині кута тиску $\vartheta_i \leq [\vartheta]$.

1.12 Хвильові передачі. Призначення й сфери застосування

Хвильовою передачею називається зубчастий або фрикційний механізм, призначений для передачі й перетворення руху (звичайно обертового), в якому рух перетворюється за рахунок хвильової деформації вінця гнучкого колеса спеціальною ланкою (вузлом) - **генератором хвиль**. Основними елементами диференціального хвильового механізму є (рис. 1.110): вхідний або швидкохідний вал з генератором хвиль, гнучке колесо з муфтою, що з'єднує його з першим тихохідним валом, тверде колесо, з'єднане із другим тихохідним валом, корпус.

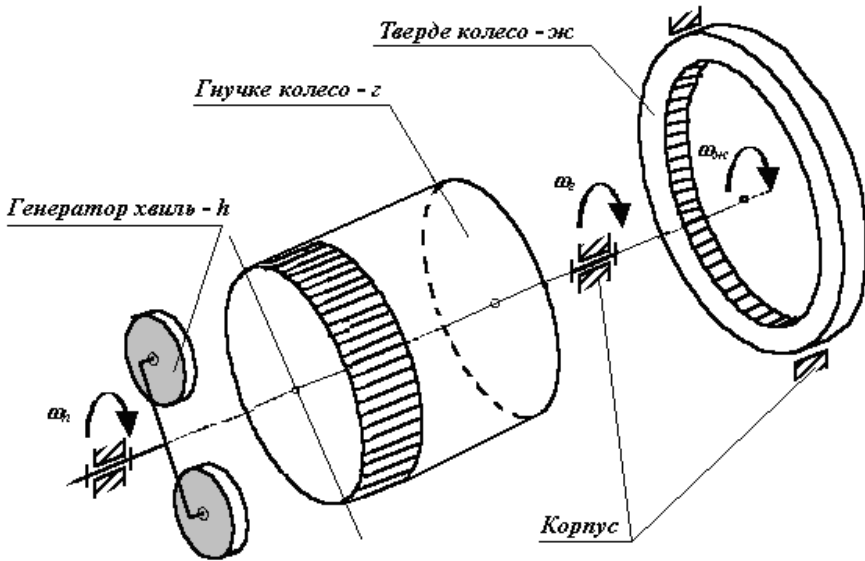


Рис.1.110 – Хвильова передача

Існує велика кількість конструкцій хвильових механізмів. Звичайно ці механізми перетворюють вхідний обертовий рух у вихідний обертовий або поступальний. Хвильові механізми можна розглядати як один з різновидів багатопоточних планетарних механізмів.

мів, тому що вони характеризуються багатозонним, а у випадку зубчастого механізму – і багатопарним контактом вихідної ланки із гнучким колесом.

Багатозонний контакт забезпечується за рахунок форми генератора хвиль (кулачок частіше із двома, рідко – із трьома виступами), багатопарний - за рахунок піддатливості зубчастого вінця гнучкого колеса. Таке сполучення дозволяє хвильовим механізмам передавати значні навантаження за малих габаритів.

Піддатливість зубчастого вінця забезпечує достатньо рівномірний розподіл навантаження по зубах, що перебувають в зоні зачеплення. За номінальних навантажень відсоток зубів, розташованих в зачепленні, становить 15-25% від загальної їхньої кількості. Тому у хвильових передачах застосовується дрібномодульне зачеплення, а числа зубів коліс знаходяться у межах від 100 до 600.

Зона зачеплення у хвильовій зубчастій передачі збігається з вершиною хвилі деформації. За числом зон або хвиль передачі діляться на **однохвильові**, **двохвильові** й так далі. Передачі із числом хвиль більше трьох застосовуються рідко. Розподіл переданих зусиль по декількох зонах зменшує навантаження на елементи пар і дозволяє істотно зменшувати габаритні розміри й масу механізмів.

Багатозонний і багатопарний контакт ланок істотно збільшує жорсткість механізму, а за рахунок осереднення помилок і зазорів зменшує його мертвий хід і кінематичну похибку. Тому хвильові механізми мають високу кінематичну точність й, незважаючи на наявність гнучкого елемента, досить високу жорсткість.

Внутрішні контури, що утворюються у структурі хвильового механізму, збільшують теоретичне число надлишкових або пасивних пов'язів у механізмі. Однак гнучке колесо за рахунок піддатливості компенсує ряд виникаючих перекосів. Тому при виготовленні й зборці хвильових механізмів число необхідних компенсаційних розв'язок є меншим ніж в аналогічних механізмах із жорсткими ланками.

Гнучке колесо забезпечує хвильовим передачам можливість передачі руху через герметичну стінку, що розділяє два середовища (наприклад, космічний апарат і відкритий космос). При цьому гнучке колесо виконується як елемент герметичної стінки, вхідний вал і генератор хвиль розташовуються по одну сторону стінки (усередині космічного апарата), а вихідна ланка - по іншу (у космічному просторі).

Схему герметичної хвильової передачі наведена на рис. 1.111.

Переваги хвильових передач: можливість реалізації в одному ступені при двоххвильовому генераторі хвиль великих передатних відношень у діапазоні від 40 до 300, висока навантажувальна здатність за відносно малих габаритів і маси, малий мертвий хід і висока кінематична точність, можливість передачі руху через герметичну перегородку, малий приведений до вхідного вала момент інерції (для механізмів з дисковими генераторами хвиль).

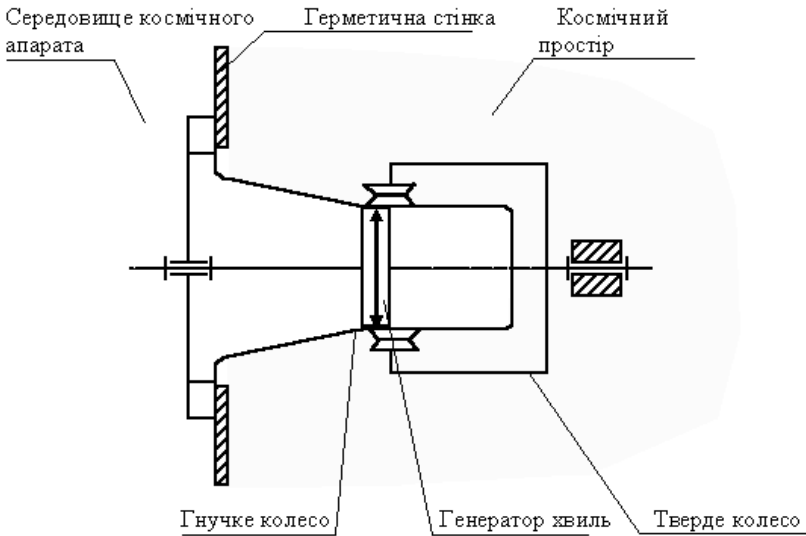


Рис. 1.111 – Схема герметичної хвильової передачі

Недоліки хвильових передач: менша приведена до вихідного вала обертальна жорсткість, складна технологія виготовлення гнучких зубчастих коліс.

1.12.1 Структура хвильової зубчастої передачі

Розглянемо однохвильову зубчасту передачу (ХЗП) з генератором хвиль, що утворює із гнучким колесом пари ковзання. Хвильова передача не може розглядатися в рамках раніше прийнятих допусків, тому що в ній утримується гнучка ланка і необхідно визначити функцію гнучкого елемента у структурі механізму.

Гнучкий зв'язок звичайно допускає певні відносні переміщення ланок під дією силових впливів. Тому його віднесемо до пружної кінематичної пари.

Зубчасте колесо являє собою замкнену систему зуб'їв. У кожен розглянутий момент у контакті у вищій парі можуть перебувати один або декілька зуб'їв. Оскільки зубчасті колеса - ланки, то зуб'я - елементи вищої кінематичної пари. Відповідно багатопарний контакт між зубчастими колесами є контактом між елементами однієї кінематичної пари.

Пасивні або надлишкові пов'язі, що виникають у цьому контакті, відносяться до внутрішніх пов'язів кінематичної пари й у структурному аналізі на рівні ланок не враховуються. Тому вважаємо, що в зачепленні перебуває один зуб. Структурна схема механізму із зупиненим жорстким колесом при гнучкому з'єднанні зуба з валом гнучкого колеса може бути представлена наступним чином (рис. 1.112).

На рис. 1.113 зображено хвильову зубчасту передачу із хвильовою зубчастою муфтою. Відповідні елементи передачі: 0 - корпус із закріпленим на ньому твердим колесом; 1 - швидкохідний вал з генератором хвиль; 2 - зуб гнучкого колеса; 3 - вал гнучкого колеса; кінематичні пари $A_{1\varepsilon}$ та $E_{1\varepsilon}$ - однорухливі обертальні пари (підшипники).

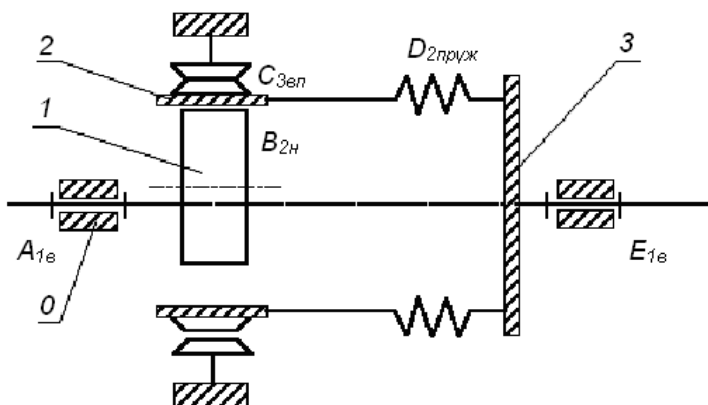


Рис. 1.112 – Хвильова зубчаста передача із пружною муфтою – стаканом

Роботу вказаних механізмів забезпечують наступні кінематичні з'єднання:

– дворухлива нижча пара B_{2H} (рис. 1.114), утворена зубом гнучкого колеса й кулачком генератора хвиль.

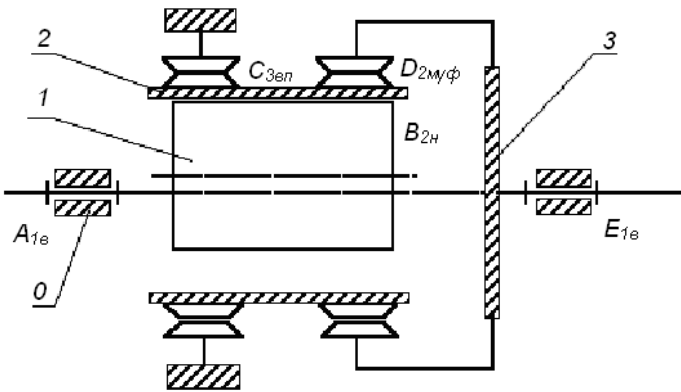


Рис. 1.113 – Хвильова зубчаста передача із хвильовою зубчастою муфтою

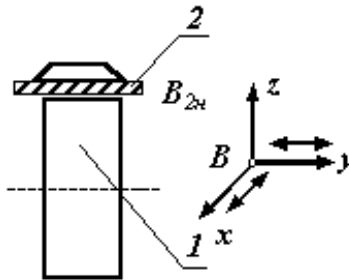


Рис. 1. 114 – Дворухлива нижча пара - B_{2H}

Пара B_{2H} допускає два незалежних рухи зуба відносно кулачка: по дотичній до профілю кулачка (по осі X) і в осьовому напрямку (по осі Y). Обертання зуба навколо осі Y і переміщення його по осі Z не є незалежними й визначаються формою профілю кулачка.

– дворухливий пружний шарнір $D_{3упр}$ (рис. 1.115). Ця кінематична пара повинна забезпечувати зубу гнучкого колеса 2 можливість виконувати рух деформації відносно вала 3, але відносні рухи в тангенціальному напрямку (по осі X) заборонені.

Аналогічні рухи забезпечують (рис. 1.116) пари $D_{3муф}$ у зубчастому з'єднанні хвильової зубчастої муфти й пари $C_{3вп}$ - у хвильовому

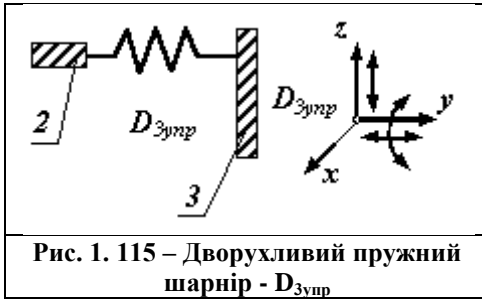


Рис. 1. 115 – Дворухливий пружний шарнір - $D_{зупр}$

зубчастому зачепленні. Осі координат у зубчастій парі направляються так: вісь Z - по дотичній до профілів у точці контакту, вісь X - по нормалі до профілів і вісь Y - по лінії контакту зуб'їв.

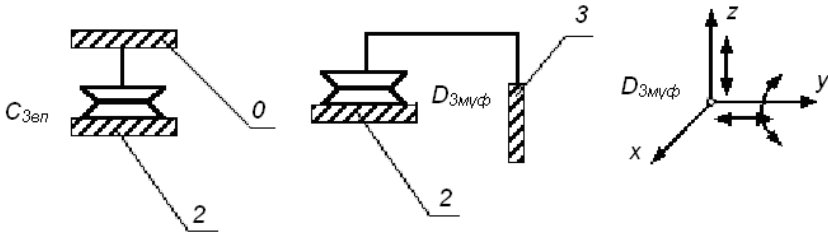


Рис. 1.116 – Хвильова зубчата муфта

Рухомість механізму підраховується в такий спосіб:

$$n = 3; p_1 = 2; p_2 = 1; p_3 = 2;$$

$$W^{np} = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 2 = 18 - 20 = -2.$$

У механізмі є одна місцева рухливість $W_m = 1$ – рухомість зуба гнучкого колеса в осьовому напрямку (по осі Y). Задана (основна) рухомість механізму $W_0 = 1$. Число надлишкових пов'язів у механізмі дорівнює:

$$q^{np} = W_0 + W_m + W^{np} = 1 + 1 - (-2) = 4.$$

Ці надлишкові або пасивні пов'язі визначають вимогу паралельності осей пари B, C, D й осі пари A .

Рух всіх ланок хвильового механізму здійснюється в паралельних площинах. Тому механізм хвильової зубчастої передачі можна розглядати як плоский. У цьому випадку

$$n = 3; p_1 = 3; p_2 = 2;$$

$$W^{nl} = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 \cdot 2 = 9 - 8 = 1;$$

$$W_M = 0; W_0 = 1; q^{nl} = W_0 + W_M + W^{nl} = 1 - 1 = 0.$$

У таблиці 1.5 наведені найпоширеніші структурні схеми типових хвильових зубчастих передач, а також діапазони рекомендованих передатних відношень і орієнтовні значення ККД при цих передатних відношеннях.

Таблиця 1.5 – Типові хвильові зубчасті передачі (ХЗП)

№	Структурна схема ХЗП	$u_{ред}$	η
1.		$50 \div 300$ $u_{h_1}^{z_c} = - \frac{z_2}{(z_{z_c} - z_2)}$	$0,95 \div 0,8$
2.		$50 \div 300$ $u_{h_1}^{z_c} = - \frac{z_2}{(z_{z_c} - z_2)}$	$0,9 \div 0,8$
3.		$2000 \div 10^5$ $u_{h_1}^{z_c} = - \frac{z_1 z_2}{(z_1 z_2 - z_M z_{z_c})}$ $40 \div 300$ $u_{h_1}^{z_c} = - \frac{z_2}{(z_{z_c} - z_2)}$	$0,2 \div 0,01$ $0,85 \div 0,7$

Основна відмінність однієї схеми від іншої полягає в конструкції муфти з'єднуючого гнучкого зубчастого вінця із корпусом або з вихідним тихохідним валом.

У таблиці показані тільки три найпоширеніші різновиди: гнучка оболонка у формі склянки, гнучка труба зі шліцевим з'єднанням і хвильовою зубчастою муфтою. Якщо в передачі із гнучким колесом - кільцем (у третій з розглянутих схем) друге хвильове зачеплення виконати як хвильову зубчасту передачу (ХЗП), то одержимо двоступінчасту ХЗП.

Для аналізу кінематики хвильового механізму розглянемо ідеальну фрикційну хвильову передачу. У цієї передачі контактуючі поверхні гнучкого й твердого коліс будуть відповідати початковим поверхням зубчастих коліс. Товщину гнучкого колеса приймаємо нескінченно малою (рис.1.117).

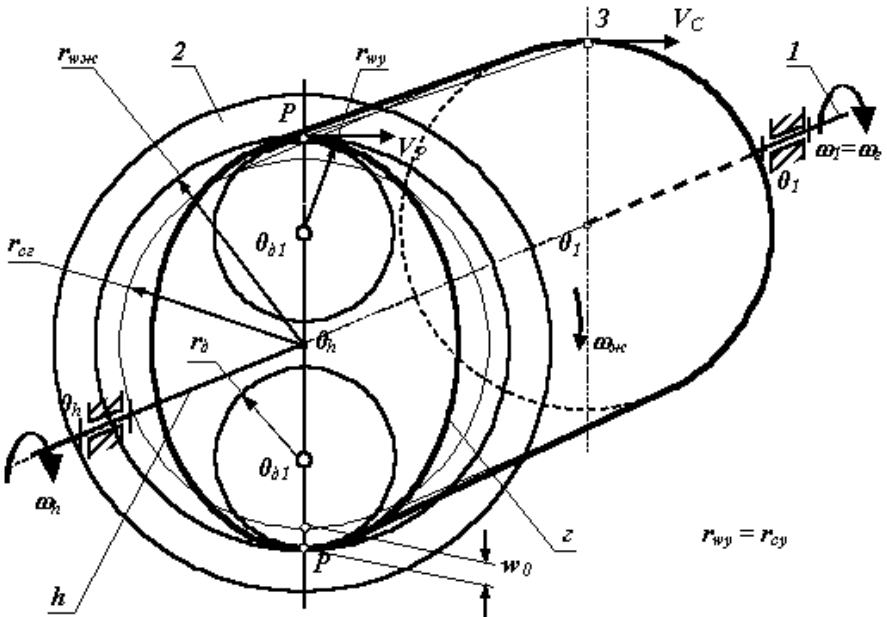


Рис. 1.117 – Ідеальна фрикційна хвильова передача:

r_{wy} - радіус початкової окружності умовного колеса; $r_{wж}$ - радіус початкової окружності твердого колеса; $r_δ$ - радіус деформуючого диска; r_{cz} - радіус середньої окружності гнучкого колеса; r_{cy} - радіус середньої окружності умовного колеса; $w_δ$ - радіальна деформація гнучкого колеса

Тоді серединна поверхня гнучкого колеса збігається з його початковою поверхнею. Вважаємо, що серединна поверхня гнучкого колеса є нерозтяжною, тобто довжина її до і після деформування колеса генератором хвиль залишається незмінною.

Розглянемо рух ланок диференціального хвильового механізму відносно генератора хвиль. Тоді кутові швидкості ланок зміняться в такий спосіб, як показано у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Кутові швидкості ланок

Рух механізму	Ланка г	Ланка ж	Ланка h	Ланка 0
відносно стійки	ω_z	$\omega_{жс}$	ω_h	$\omega_0=0$
відносно генератора хвиль	$\omega_z^* = \omega_z - \omega_h$	$\omega_{жс}^* = \omega_{жс} - \omega_h$	$\omega_h - \omega_h = 0$	$-\omega_h$

В русі ланок відносно генератора хвиль швидкості ланок дорівнюють кутовим швидкостям у русі «відносно стійки» мінус кутова швидкість генератора. Швидкість точки твердого колеса, що збігається з полюсом зачеплення:

$$V_{P_{жс}} = (\omega_{жс} - \omega_h) \cdot r_{w_{жс}},$$

а швидкість точки, що збігається з полюсом на гнучкому колесі:

$$V_{P_z} = (\omega_z - \omega_h) \cdot r_{w_z}.$$

У полюсі зачеплення немає ковзання і $V_{P_{жс}} = V_{P_z}$; оскільки серединну поверхню оболонки вважаємо нерозтяжною, то $V_{P_z} = V_C$. Тоді для руху відносно генератора хвиль:

$$V_{P_{жс}} = (\omega_{жс} - \omega_h) \cdot r_{w_{жс}}, \quad V_C = (\omega_z - \omega_h) \cdot r_{w_z},$$

$$V_{P_{жс}} = V_C \Rightarrow (\omega_{жс} - \omega_h) \cdot r_{w_{жс}} = (\omega_z - \omega_h) \cdot r_{w_z},$$

$$(\omega_{жс} - \omega_h) / (\omega_z - \omega_h) = r_{w_z} / r_{w_{жс}} = z_z / z_{жс},$$

$$z_{жс} \cdot \omega_{жс} + (z_z - z_{жс}) \cdot \omega_h - z_z \cdot \omega_z = 0.$$

Для хвильового зубчастого редуктора при загальмованому жорсткому колесі $\omega_{жс} = 0$:

$$u_{h_z}^{жс} = \omega_h / \omega_z = -z_z / (z_{жс} - z_z),$$

а при загальмованому гнучкому колесі $\omega_z = 0$:

$$u_{h_{жс}}^2 = \omega_h / \omega_{жс} = z_{жс} / (z_{жс} - z_z).$$

У розрахунку геометрії хвильового зачеплення існує два основних підходи. У першому методі досліджується відносний рух зуб'їв, і, на основі цього розробляються рекомендації з вибору геометричних параметрів зачеплення.

Другий метод базується на використанні розрахункового внутрішнього зачеплення жорсткого колеса з умовним розрахунковим колесом. Це колесо вписується в деформоване гнучке колесо на ділянці можливого зачеплення.

Перевагою першого методу можна вважати відносну універсальність, що дозволяє в розрахунку геометрії враховувати деформації як гнучкого, так і жорсткого колеса під навантаженням. Однак розробити рекомендації навіть для невеликої кількості конструкцій ХЗП важко.

Другий метод дозволяє використовувати для розрахунку геометрії стандартний розрахунок внутрішнього евольвентного зачеплення для пари коліс $z_{жс}$ й z_y . Число зуб'їв умовного колеса розраховується за наступною формулою:

$$z_y = z_z / (1 \pm k_\beta \cdot \mu_w),$$

де $\mu_w = w_0 / r_{cz}$ - відносна деформація гнучкого колеса;

k_β - коефіцієнт, обумовлений кутом β ;

β - кутова координата ділянки постійної кривизни деформованої кривої гнучкого колеса.

Після визначення z_y визначаються:

- товщина гнучкого колеса під зубчастим вінцем h_c :

$$h_c = (60 + 0.2 \cdot z_z) \cdot m \cdot z_z \cdot 10^{-4};$$

- коефіцієнт зсуву гнучкого колеса:

$$x_z = (h_a^* + c^* + 0.5 \cdot h_c / m) \cdot \delta;$$

- відносна деформація:

$$\mu_w = w_0 / r_{cz} = \pm [(z_{жс} - z_z) / z_z] \cdot \gamma;$$

де за внутрішньої деформації: знак „+”, $\delta = 1$, $\gamma = 0,95...1,1$; за зовнішньої деформації: знак „-”, $\delta = 0,8.. 0,9$, $\gamma = 0,85...1,1$;
 – радіус серединної окружності умовного колеса:

$$r_{cy} = (z_c + x_c \pm h_a^* \pm c^* \pm 0.5 \cdot h_c/m) \cdot m;$$

– радіус серединної окружності гнучкого колеса:

$$r_{cz} = (z_c / z_y) \cdot r_{cy};$$

– міжосьова відстань:

$$a_w = \pm r_{cz} \cdot (1 + \mu_w) + r_{cy};$$

– кут зачеплення:

$$\alpha_w = \arccos [\pm(z_{oc} - z_y) \cdot m \cdot \cos \alpha] / (2 \cdot a_w).$$

Далі розрахунок ведеться за стандартним алгоритмом розрахунку внутрішнього евольвентного зачеплення.

1.13 Промислові роботи і маніпулятори

Промисловий робот (ПР) – автоматична машина, що складається з маніпулятора і пристрою програмного керування його рухом і призначена для заміни людини при виконанні основних та допоміжних операцій у виробничих процесах. **Маніпулятор** – сукупність просторового підйомного механізму і системи приводів, що здійснює під керуванням програмувального автоматичного пристрою або людини-оператора дії (маніпуляції), аналогічні діям руки людини.

Промислові роботи призначені для заміни людини при виконанні основних і допоміжних технологічних операцій у процесі промислового виробництва. При цьому вирішується важлива соціальна задача - звільнення людини від робіт, пов'язаних з небезпекою для здоров'я або з важкою фізичною працею, а також від простих монотонних операцій, що не вимагають високої кваліфікації.

Гнучкі автоматизовані виробництва, створювані на базі промислових роботів, дозволяють вирішувати задачі автоматизації на підприємствах із широкою номенклатурою продукції при дрібносерійному і штучному виробництві. Маніпулятори, що копіюють рухи людини, керовані людиною-оператором, необхідні при виконанні різних ро-

біт з радіоактивними матеріалами. Крім того, ці пристрої є незамінними при виконанні робіт у космосі, під водою, у хімічно активних середовищах.

Таким чином, промислові роботи і маніпулятори є важливими складовими частинами сучасного промислового виробництва.

Класифікація промислових робіт. Промислові роботи класифікуються за наступними ознаками:

- за характером виконуваних технологічних операцій:
 - основні;
 - допоміжні;
 - універсальні;
- за видом виробництва:
 - ливарні;
 - зварювальні;
 - ковальсько-пресові;
 - для механічної обробки;
 - складальні;
 - фарбувальні;
 - транспортно-складські;
- за системою координат руки маніпулятора:
 - прямокутна;
 - циліндрична;
 - сферична;
 - сферична кутова (ангулярна);
 - інші;
- за числом рухомостей маніпулятора;
- за вантажопідйомністю:
 - надлегкі (до 10 Н);
 - легкі (до 100 Н);
 - середні (до 2000 Н);
 - важкі (до 10000 Н);
 - надважкі (понад 10000 Н);
- за типом силового приводу:
 - електромеханічний;
 - пневматичний;
 - гідравлічний;
 - комбінований;
- за рухомістю основи:

- мобільні;
- стаціонарні;
- за видом програми:
 - з твердою програмою;
 - перепрограмовані;
 - адаптивні;
 - з елементами штучного інтелекту;
- за характером програмування:
 - позиційне;
 - контурне;
 - комбіноване.

Принципова будова промислового робота. Маніпулятор промислового робота за своїм функціональним призначенням повинен забезпечувати рух вихідної ланки і закріпленого в ній об'єкта маніпулювання у просторі за заданою траєкторією і з заданою орієнтацією.

Для повного виконання цієї вимоги основний підйомний механізм маніпулятора повинен мати не менше шести рухомостей, причому рух по кожній з них повинен бути керованим.

Промисловий робот із шістьма рухомостями є складною автоматичною системою. Ця система є складною як у виготовленні, так і в експлуатації. Тому в реальних конструкціях промислових роботів часто використовуються механізми з числом рухомостей менше шести.

Найбільш прості маніпулятори мають три, рідше – дві рухомості. Такі маніпулятори є значно дешевшими у виготовленні й експлуатації, але висувають специфічні вимоги до організації робочого середовища. Ці вимоги пов'язані з заданою орієнтацією об'єктів маніпулювання відносно механізму робота. Тому устаткування повинно розташовуватися відносно такого робота з необхідною орієнтацією.

Розглянемо для прикладу структурну і функціональну схеми промислового робота з три-рухливим маніпулятором. Основний механізм руки маніпулятора складається з нерухокої ланки 0 і трьох рухомих ланок 1 , 2 і 3 (рис. 1.118).

Механізм цього маніпулятора відповідає циліндричній системі координат. У цій системі ланка 1 може обертатися відносно ланки 0 (відносно кутового переміщення φ_{10}), ланка 2 переміщається по вертикалі відносно ланки 1 (відносно лінійне переміщення S_{21}), і ланка 3 переміщається в горизонтальній площині відносно ланки 2 (відносно лінійне переміщення S_{32}).

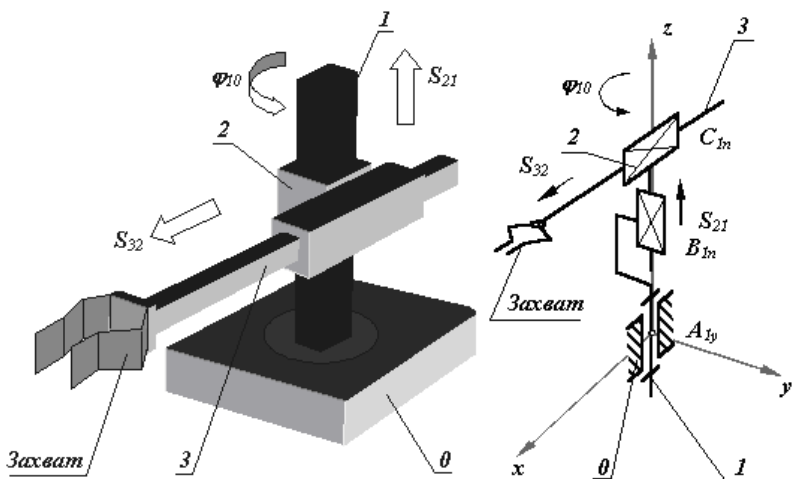


Рис. 1.118 - Структурна і функціональна схеми промислового робота

На кінці ланки 3 укріплено захоплювальний пристрій або захват, призначений для утримання об'єкта маніпулювання при роботі маніпулятора. Ланки основного підйомного механізму маніпулятора утворюють між собою три одно-рухливі кінематичні пари (одну обертальну A і дві поступальні B та C) і можуть забезпечити переміщення об'єкта у просторі без керування його орієнтацією.

Для виконання кожного з трьох відносних рухів маніпулятор повинен бути оснащений приводами, що складаються з двигунів з редукторами і системи датчиків зворотного зв'язку. Оскільки рух об'єкта здійснюється за заданим законом, то в системі повинні бути пристрої, що зберігають і задають програму руху, яку називають **програмоносієм**.

При керуванні від ЕОМ такими пристроями можуть бути дискети, диски CD, магнітні стрічки й т.ін. Перетворення заданої програми руху на сигнали керування двигунами здійснюється системою керування. Ця система включає ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням, цифро-аналогові перетворювачі й підсилювачі.

Система керування, відповідно до заданої програми, формує і видає на виконавчі пристрої приводів (двигуни) керуючі впливи u_i . За необхідності ця система коректує ці впливи за сигналами Δx_i , що над-

ходять до неї з датчиків зворотного зв'язку. Функціональну схему промислового робота приведено на рис. 1.119.

Формула пристрою – це математичний запис структурної схеми маніпулятора, що містить інформацію про число його рухомотей, види кінематичних пар та їхню орієнтацію відносно осей базової системи координат (системи, зв'язаної з нерухомою ланкою).

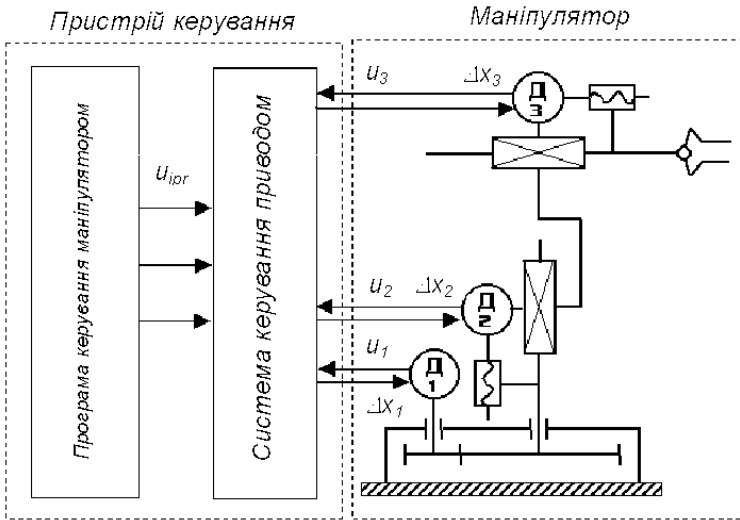


Рис. 1.119 – Функціональна схема промислового робота

Рухи, що забезпечуються маніпулятором, поділяються на:

- глобальні (для роботів з рухомою основою) – рухи стійки маніпулятора істотно перевищують розміри механізму;
- регіональні (транспортні) – рухи, забезпечувані першими трьома ланками маніпулятора або його «рукою», величина яких порівняна з розмірами механізму;
- локальні (орієнтуючі) – рухи, забезпечувані ланками маніпулятора, що утворюють його «кисть», величина яких є значно меншою за розміри механізму.

Відповідно до цієї класифікації рухів, у маніпуляторі можна виділити дві ділянки кінематичного ланцюга з різними функціями: механізм руки і механізм кисті.

Під «рукою» розуміють ту частину маніпулятора, що забезпечує переміщення центра захвата – точки *M* (регіональні рухи захва-

та); під «кистю» – ті ланки і пари, що забезпечують орієнтацію захвата (локальні рухи захвата).

Розглянемо структурну схему антропоморфного маніпулятора, тобто схему (рис.1.120), що у першому наближенні відповідає механізму руки людини.

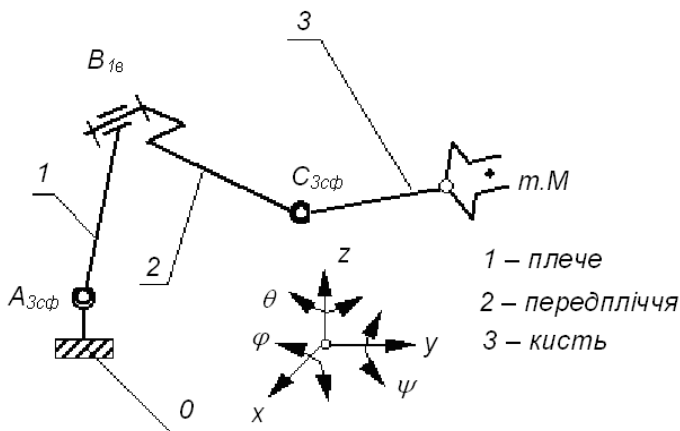


Рис. 1.120 - Структурна схема антропоморфного маніпулятора

Цей механізм складається з трьох рухомих ланок і трьох кінематичних пар: двох трирухомих сферичних $A_{зсф}$ і $C_{зсф}$ і однієї однорухомиї обертальної $B_{1в}$.

Кінематичні пари маніпулятора характеризуються:

- ім'ям або позначенням КП - заголовна буква латинського алфавіту (A, B, C і т.д.);
- ланками, що утворюють пари (0/1, 1/2 і т.п.);
- відносним рухом ланок у парі (для однорухомих пар - обертальним, поступальним і гвинтовим);
- рухомістю КП (для нижчих – від 1 до 3, для вищих – від 4 до 5);
- вісю орієнтації осі КП відносно осей базової або локальної системи координат.

Робочий простір маніпулятора – це частина простору, обмеженого поверхнями, що огинають безліч можливих положень його ланок.

Зона обслуговування маніпулятора – це частина простору, що відповідає безлічі можливих положень центра захвата маніпулятора.

Зона обслуговування є важливою характеристикою маніпулятора. Вона визначається структурою і системою координат руки маніпулятора, а також конструктивними обмеженнями накладеними відносними переміщеннями ланок у КП.

Рухомість маніпулятора W - число незалежних узагальнених координат, які однозначно визначають положення захвата у просторі:

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 (6 - i) \cdot p_i ,$$

або для незамкнених кінематичних ланцюгів:

$$W = \sum_{i=1}^5 i \cdot p_i .$$

Маневреність маніпулятора M - рухомість маніпулятора при зафіксованому (нерухомому) захваті:

$$M = W - 6.$$

Можливість зміни орієнтації захвата при розміщенні його центра в заданій точці зони обслуговування характеризується кутом обслуговування - тілесним кутом ψ , що може описати остання ланка маніпулятора (ланка, на якій закріплено захват) при фіксації центра захвата в заданій точці зони обслуговування:

$$\psi = f_C / l ,$$

де f - площа сферичної поверхні, описувана точкою C ланки 3;
 l - довжина ланки 3.

Відносна величина $k_\psi = \psi / (4 \cdot \pi)$ називається **коефіцієнтом обслуговування**. Для маніпулятора, зображеного на рис.1.121, рухомість маніпулятора:

$$W = 6 \cdot 3 - (3 \cdot 2 - 5 \cdot 1) = 18 - 11 = 7;$$

– маневреність:

$$M = 7 - 6 = 1;$$

– формула влаштування:

$$W = [\theta_{10} + \varphi_{10} + \psi_{10}] + \varphi_{21} + [\theta_{32} + \varphi_{32} + \psi_{32}].$$

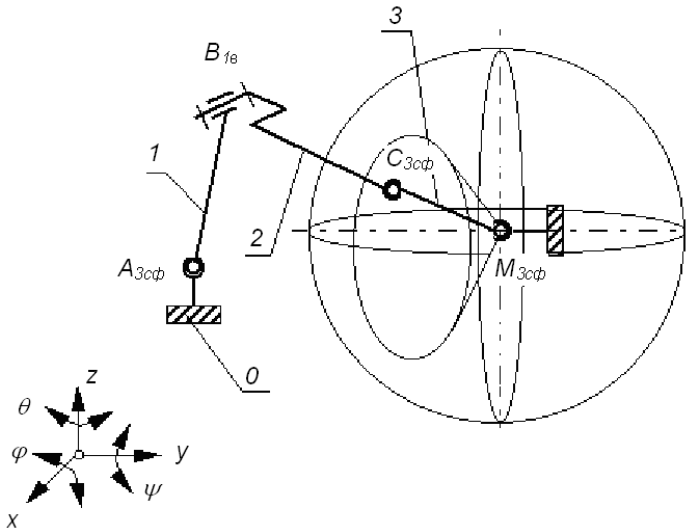


Рис. 1.121 - Зона обслуговування маніпулятора

Структура кінематичного ланцюга маніпулятора повинна забезпечувати необхідне переміщення об'єкта у просторі з заданою орієнтацією. Для цього необхідно, щоб захват маніпулятора мав можливість виконувати рухи мінімум за шести координатами: трьома лінійними і трьома кутовими. Розглянемо на об'єкті маніпулювання точку M , що збігається з центром захвата.

Положення об'єкта в нерухомій (базовій) системі координат $O(X_0, Y_0, Z_0)$ визначається радіусом-вектором точки M й орієнтацією одиничного вектора \bar{A} з початком у цій точці. У математиці положення точки у просторі задається в одній із трьох систем координат:

- у прямокутній декартовій з координатами X, Y, Z ;
- у циліндричній з координатами r_s, φ_M, z ;
- у сферичній з координатами r, φ_M, θ_M .

Орієнтація об'єкта у просторі задається кутами α, β і γ , які вектор орієнтації \bar{A} утворює з осями базової системи координат.

На рис. 1.122 дано схему шестирухливого маніпулятора з обертальними кінематичними парами з координатами об'єкта маніпулювання.

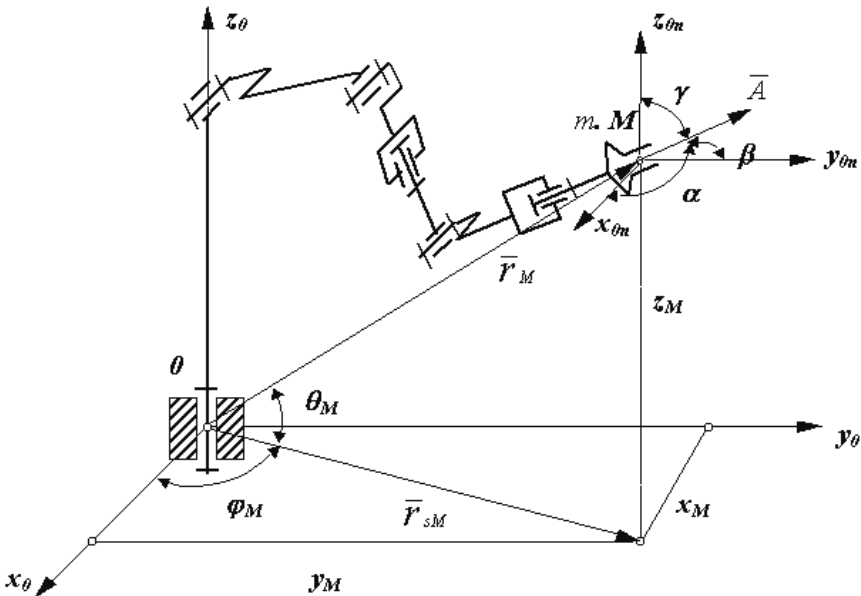


Рис. 1.122 - Схема шестирухливого маніпулятора

При структурному синтезі механізму маніпулятора необхідно враховувати наступне:

- кінематичні пари маніпуляторів забезпечуються приводами, що включають двигуни і гальмівні пристрої, тому у схемах маніпуляторів звичайно використовуються однорухомі кінематичні пари: обертальні або поступальні;
- необхідно забезпечити не тільки задану рухомість захвата маніпулятора, але і таку орієнтацію осей кінематичних пар, що забезпечувала б необхідну форму зони обслуговування, а також простоту і зручність програмування його рухів;
- при виборі орієнтації кінематичних пар необхідно враховувати розташування приводів (на основі або на рухомих ланках), а також спосіб зрівноважування сил ваги ланок.

При виконанні першої умови кінематичні пари з декількома рухомостями замінюють еквівалентними кінематичними з'єднаннями. На рис. 1.123 подано приклад такого з'єднання для сферичної пари.

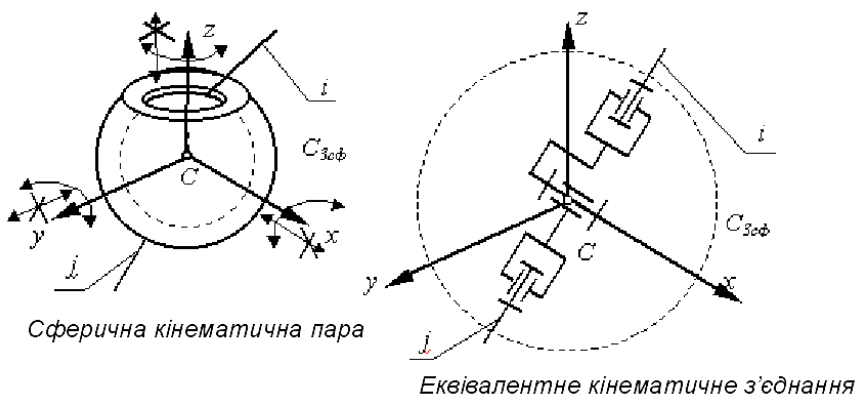


Рис. 1.123 – Сферична кінематична пара

Переміщення захвата у просторі можна забезпечити, якщо орієнтувати осі перших трьох кінематичних пар по осях однієї з осей координат. При цьому вибір системи координат визначає тип руки маніпулятора і вид його зони обслуговування.

Стандартами визначені види систем координат для руки маніпулятора, приведені в таблиці 1.7. Тут подані приклади структурних схем механізмів, відповідних системам координат.

Структурні схеми механізмів кисті, які застосовуються в маніпуляторах, наведені в таблиці 1.8.

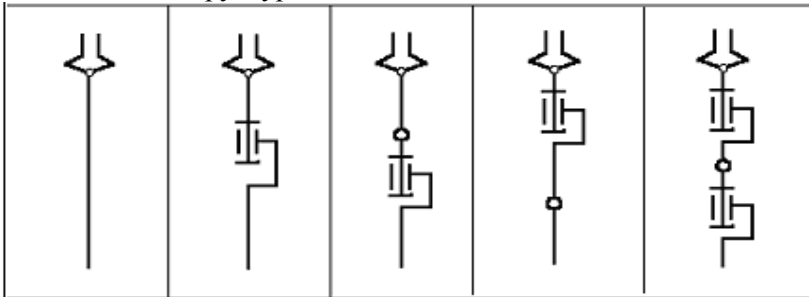
Приєднуючи до вихідної ланки руки той або інший механізм кисті, можна одержати більшість відомих структурних схем маніпуляторів, що застосовуються в реальних промислових роботах.

Структура маніпулятора визначається і місцем розміщення приводів. Якщо приводи розміщуються безпосередньо в кінематичних парах, то до мас рухомих ланок маніпулятора додаються маси приводів.

Таблиця 1.7 – Системи координат «руки» маніпулятора

Прямокутна	Циліндрична
Сферична	Кутова (ангулярна)

Таблиця 1.8 – Структурні схеми механізмів кисти



Відповідно сумарне навантаження на приводи й їхня потужність збільшуються, а відношення маси маніпулятора до корисного навантаження (максимальної маси об'єкта маніпулювання) зменшується.

Тому при проектуванні роботів приводи ланок руки, як такі, що є найбільш потужними й мають більшу масу, прагнуть розмістити ближче до основи робота.

Для передачі руху від приводу до ланки використовуються додаткові кінематичні ланцюги. Розглянемо схему (рис. 1.124) руки маніпулятора ПР фірми ASEA.

До триланкового механізму з ангулярною системою координат додані:

- для приводу ланки 2 - найпростіший кулісний механізм, утворений ланками 4, 5 і 2;
- для приводу ланки 3 - ланцюг, що складається з кулісного механізму (ланки 6, 7 і 8) і шарнірного чотирьохланника (ланки 8, 9, 2 і 3).

Таким чином, у підйомному механізмі можна виділити кінематичний ланцюг руки (ланки 1, 2 і 3) і кінематичні ланцюги приводів. Маніпулятори, в яких використовують принцип розміщення приводів на основі, мають більш складні механізми.

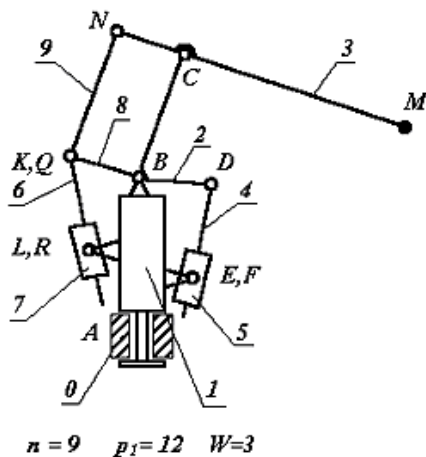


Рис. 1.124 – Схема руки маніпулятора ПР фірми ASEA

Однак збільшення числа ланок і кінематичних пар компенсується зменшенням мас і моментів інерції рухомих ланок маніпулятора. Крім того, замкнуті кінематичні ланцюги підвищують точність і жорсткість механізму.

У цілому маніпулятори, що використовують принципи комбінованого розміщення приводів (частина приводів на основі, частина – на рухомих ланках), мають кращі енергетичні і динамічні характеристики, а також більш високу точність.

У кінематичних схемах розглянутих маніпуляторів вага ланок викликає додаткове навантаження на приводи. Фірма SKILAM розробила робот SANCIO (рис. 1.125), в якому ваги приводів і ланок сприймаються кінематичними парами, а на момент двигунів впливають тільки через сили тертя. Така структурна схема механізму вимагала збільшення розмірів кінематичних пар, однак у цілому було отримано істотний вигреш за енергетичними і динамічними показниками.

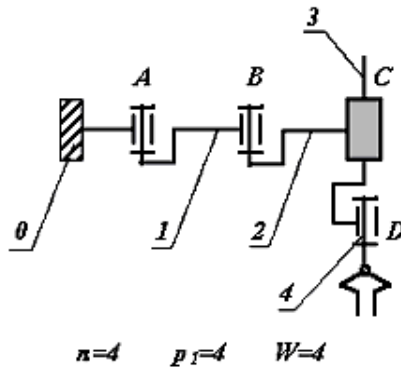


Рис. 1.125 – Схема робота SKILAM фірми SANCIO

Дані приклади не охоплюють усіх можливих ситуацій раціонального вибору структури маніпуляторів. Вони тільки демонструють найбільш відомі з вдалих структурних схем.

Важлива особливість маніпуляторів – зміна структури механізму в процесі роботи. Про що йшлося на лекції про структуру механізмів.

Відповідно до циклограми або програми роботи робота, у деяких кінематичних парах включаються гальмівні пристрої.

При цьому дві ланки механізму жорстко з'єднуються одна з одною й утворюють одну ланку. Зі структурної схеми механізму виключається одна кінематична пара й одна ланка, число рухомостей захвата механізму зменшується на одиницю.

Змінюється структура механізму й у тих випадках, коли у процесі виконання робочих операцій (наприклад, при зборці або зварюванні) захват з об'єктом маніпулювання стикається з оточуючими предметами, утворюючи з ними кінематичні пари. Кінематичний ланцюг механізму замикається, а число рухомостей зменшується.

У цьому випадку в ланцюзі можуть виникати надлишкові зв'язки. Ці структурні особливості маніпуляторів необхідно враховувати при програмуванні роботи промислового робота.

Швидкодію ПР визначають максимальною швидкістю лінійних переміщень центра захвата маніпулятора. Розрізняють ПР із малою ($V_M < 0,5$ м/с), середньою ($0,5 < V_M < 1,0$ м/с) і високою ($V_M > 1,0$ м/с) швидкодією. Сучасні ПР мають в основному середню швидкодію і тільки близько 20% - високу.

Точність маніпулятора ПР характеризується абсолютною лінійною похибкою позиціонування центра захвата.

Промислові роботи поділяються на групи з малою ($\Delta r < 1$ мм), середньою ($0,1$ мм $< \Delta r < 1$ мм) і високою ($\Delta r < 0,1$ мм) точністю позиціонування.

Задачі механіки маніпуляторів. До основних задач механіки маніпуляторів можна віднести:

- розробку методів синтезу й аналізу виконавчих механізмів (включаючи механізми приводів);
- програмування руху маніпулятора;
- розрахунок керуючих зусиль і реакцій у КП;
- зрівноважування механізмів маніпуляторів;
- інші задачі.

Ці задачі вирішуються на базі загальних методів дослідження структури, геометрії, кінематики і динаміки систем із просторовими багаторухомими механізмами.

Кожна з розглянутих задач може бути сформульована як пряма (задача аналізу) або як зворотна (задача синтезу).

При визначенні функцій положення механізму у прямій задачі знаходять закон зміни абсолютних координат вихідної ланки за заданими законами зміни відносних або абсолютних координат ланок, у зворотній – за заданим законом руху захвата знаходять закони зміни координат ланок, звичайно, лінійних або кутових переміщень у приводах.

Вирішення зворотної задачі або задачі синтезу є більш складним, тому що часто вона має безліч припустимих рішень, з яких необхідно вибрати оптимальне.

У зворотній задачі кінематики за необхідним законом зміни швидкостей і прискорень вихідної ланки визначаються відповідні закони зміни швидкостей і прискорень у приводах маніпулятора. Зворотна задача динаміки полягає у визначенні закону зміни керуючих сил і моментів у приводах, що забезпечують заданий закон руху вихідної ланки.

Кінематичний аналіз механізму маніпулятора

Перша й основна задача кінематики – визначення функції положення. Для просторових механізмів найбільш ефективними методами вирішення цієї задачі є векторний метод і метод перетворення координат.

При вирішенні прямої задачі про положення захвата маніпулятора звичайно використовують метод перетворення координат. З безлічі методів перетворення координат, що відрізняються один від одного правилами вибору осей локальних систем координат, для маніпуляторів звичайно використовується метод Денавіта і Хартенберга.

Опишемо два види матриць:

- матрицю M , що визначає відношення між системами координат сусідніх ланок;
- матрицю T , що визначає положення й орієнтацію кожної ланки механізму в нерухомій або базовій системі координат.

Скористаємося однорідними координатами тривимірного проективного простору PR^3 , в яких рух R^3 можна представити лінійним перетворенням:

$$\vec{r}_i = M_{ij} \vec{r}_j,$$

де M_{ij} – матриця 4x4 виду $\begin{vmatrix} U_{ij} & b \\ 000 & 1 \end{vmatrix}$.

Це перетворення еквівалентне перетворенню в евклідовім просторі $\vec{r}_i = U_{ij} \vec{r}_j + b$ де $[\vec{r}_i, \vec{r}_j] \in R^3$. Тобто перетворення, що вклю-

чає поворот, обумовлене матрицею U_{ij} розмірністю 3×3 і рівнобіжним переносом, що задається вектором \bar{b} розмірністю 3. В однорідному просторі положення точки будуть визначати не три X , Y і Z , а чотири величини X' , Y' , Z' і t' , які задовольняють наступним співвідношенням:

$$x = x'/t', \quad y = y'/t', \quad z = z'/t'.$$

Звичайно приймають $t'=1$. У матриці повороту U_{ij} елементами u_{ij} є направляючі косинуси кутів між новою віссю i і старою віссю j . Вектор $\bar{b} = (x, y, z)$ - тривимірний вектор, що визначає положення початку нової системи координат i у старій системі j .

Вибір розташування осей повинен відповідати розв'язуваній задачі.

При вирішенні задачі про положення необхідно: у прямій задачі визначити положення вихідної ланки як функцію переміщень у приводах, у зворотній – задане положення вихідної ланки представити як функцію переміщень у приводах.

Вибір розташування й орієнтації локальних систем координат повинен забезпечувати виконання цих задач. При використанні методу Денавіта і Хартенберга осі координат розташовуються за наступними правилами.

Для ланки i вісь Z_i направляється по осі кінематичної пари, утвореної ним з ланкою $(i+1)$. Початок координат розміщують у геометричному центрі цієї пари.

Вісь X_i направляється по загальному перпендикуляру до осей Z_{i-1} і Z_i з напрямком від Z_{i-1} до Z_i . Якщо осі Z_{i-1} і Z_i збігаються, то X_i перпендикулярною до них і спрямованою довільно. Якщо вони перетинаються в центрі кінематичної пари, то початок координат розташовується в точці перетинання, а вісь X_i направляється за правилом векторного добутку $\vec{x}_i = \vec{z}_i \times \vec{z}_{i-1}$ (найкоротший поворот осі Z_i до сполучення з Z_{i-1} при спостереженні з кінця X_i повинен відбуватися проти годинникової стрілки).

Вісь Y_i направляється так, щоб система координат була правою.

У прямій задачі необхідно визначити положення захвата маніпулятора і зв'язаної з ним системи координат $M(X_n, Y_n, Z_n)$ стосовно нерухомої або базової системи координат $K(X_0, Y_0, Z_0)$.

Це здійснюється послідовними переходами із системи координат ланки i у систему координат ланки $i-1$. Відповідно до прийнятого методу, кожен перехід містить у собі послідовність чотирьох рухів: двох поворотів і двох рівнобіжних переносів, здійснюваних у зазначеній послідовності (рис. 1.126):

- поворот i -ої системи навколо осі X_i на кут $-\theta_i$ до паралельності осей Z_i і Z_{i-1} (додатний напрямок повороту при спостереженні з кінця вектора X_i проти годинникової стрілки);
- перенос уздовж осі X_i на величину $-a_i$ до сполучення початку системи координат O_i із точкою перетинання осей X_i і Z_{i-1} (відлік по осі X_i від точки перетинання осі X_i і осі Z_{i-1});
- перенос уздовж осі z_{i-1} на величину $-S_i$, після якого початок системи координат O_i виявляється на початку координат O_{i-1} системи $(i-1)$ (відраховується по осі Z_{i-1} від її початку координат O_{i-1} до точки її перетинання з віссю X_i);
- поворот навколо осі Z_{i-1} на кут $-\varphi_i$, поки вісь X_i не стане рівнобіжною осі X_{i-1} (додатний напрямок повороту при спостереженні з кінця вектора Z_{i-1} проти годинникової стрілки).

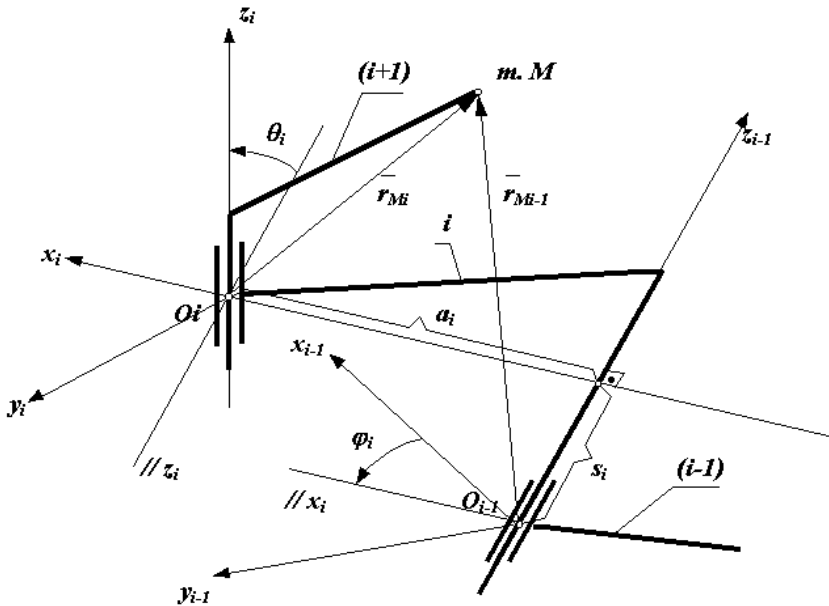


Рис. 1.126 – Схеми послідовних переходів

Необхідно відзначити, що знак кута повороту не має значення, тому що в матрицях переходу використовуються направляючі косинуси (парні функції).

Доцільно розглядати кут, що забезпечує найкоротший поворот осі старої системи i до сполучення (паралельності) з відповідною віссю нової ($i-1$).

Переміщення початку координат визначаються як координати початку старої системи O_i у новій O_{i-1} .

У маніпуляторах звичайно використовуються однорухомі кінематичні пари - або обертальні, або поступальні. Обидва відносні рухи – як обертальний, так і поступальний, реалізуються в циліндричних парах. Тому при загальному представленні механізму використовуються (рис.1.126) циліндричні пари.

Матриці переходу системи O_i у систему O_{i-1} можна записати так:

$$M_i = M_i^\theta \cdot M_i^a \cdot M_i^s \cdot M_i^\varphi,$$

де

$$M_i^\theta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_i & -\sin\theta_i & 0 \\ 0 & \sin\theta_i & \cos\theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} -$$

– матриця повороту навколо осі X_i на кут - θ_i ,

$$M_i^a = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} -$$

– матриця переносу уздовж осі X_i на - a_i ,

$$M_i^s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} -$$

– матриця переносу уздовж осі Z_{i-1} на S_i ,

$$M_i^{\varphi} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\sin \varphi_i & 0 & 0 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} -$$

– матриця повороту навколо осі Z_{i-1} на кут $-\varphi_i$.

У цих матрицях перемінні S_i і φ_i відповідають відносним переміщенням ланок у кінематичних парах і є узагальненими координатами маніпулятора, що визначають конфігурацію механізму в розглянутому положенні. Перемінні a_i і θ_i визначаються конструктивним виконанням ланок маніпулятора; у процесі руху вони залишаються незмінними.

Положення деякої довільної точки M в системі координат ланки і визначається вектором \vec{r}_{M_i} , а в системі координат ланки $(i-1)$ – вектором $\vec{r}_{M_{i-1}}$.

Ці радіуси зв'язані між собою через матрицю перетворення координат M_i наступним рівнянням:

$$\vec{r}_{M_{i-1}} = M_i \cdot \vec{r}_{M_i},$$

$$\text{де } M_i = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \varphi_i & \sin \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \theta_i \cdot \cos \varphi_i & -\cos \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \sin \varphi_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} -$$

– матриця переходу з i -ої системи координат у $(i-1)$ -у.

Розглянемо шестирухомий маніпулятор у вихідному або початковому положенні (рис.1.127).

За початкове положення приймається таке, в якому усі відносні узагальнені координати дорівнюють нулю.

Перехід із системи координат будь-якої i -ї ланки до нерухомої або базової системи записується у виді:

$$\vec{r}_{M_0} = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i \cdot \vec{r}_{M_i}$$

або

$$\vec{r}_{M0} = T_i \cdot \vec{r}_{Mi} ,$$

де $T_i = M_1 \cdot M_2 \cdot \dots \cdot M_i$ – матриця перетворення координат i -ої системи в координати базової системи координат.

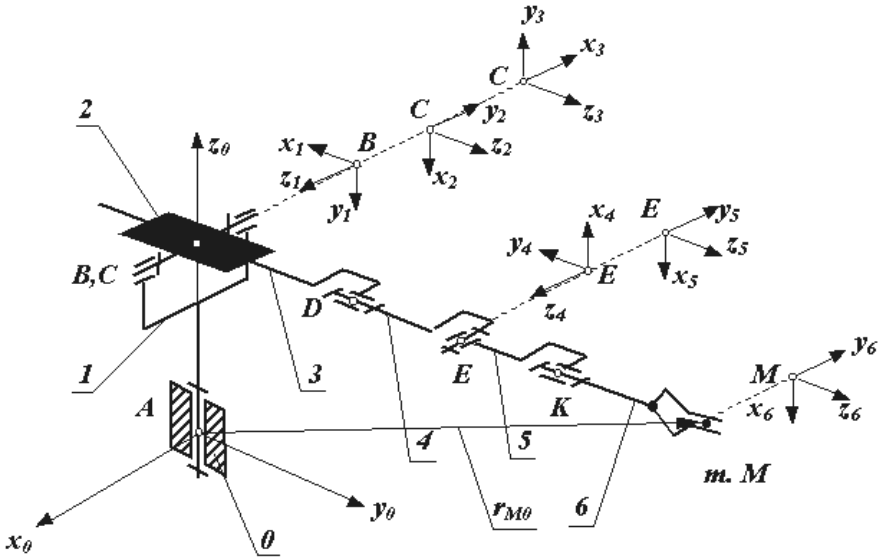


Рис. 1.127 – Схема шестирукого маніпулятора

Для схеми, зображеної на рис.1.127, радіус $r_6 = 0$, а радіус r_0 визначається за формулою:

$$\vec{r}_{M0} = T_n = T_6 ,$$

тобто положення вихідної ланки маніпулятора визначається матрицею T_n .

Елементи цієї матриці визначають положення центра захвата точки M та орієнтацію його у просторі.

Четвертий стовпець визначає декартові координати точки M (проекції вектора r_0 на осі координат).

Третій стовпець містить направляючі косинуси осі Z_n системи координат, зв'язаної із захватом, або вектора підходу \bar{A} , що характеризує напрямок губок захвата (рис. 1.128).

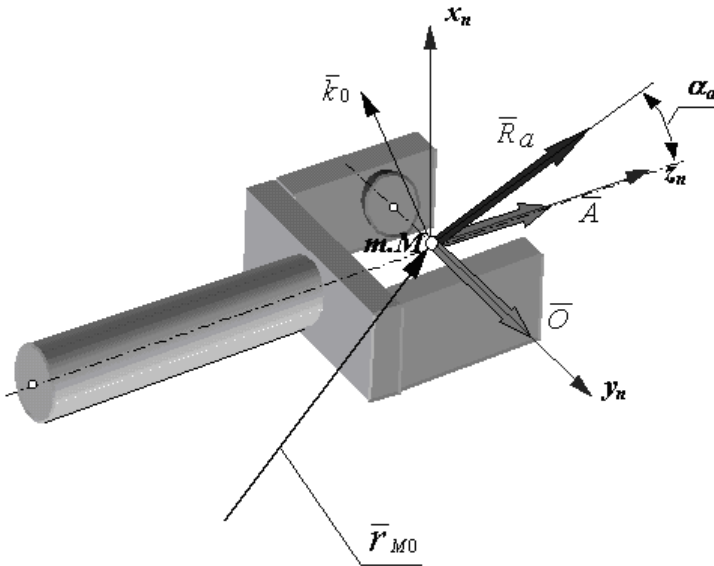


Рис. 1.128 – Схема губок захвата

Другий стовпець визначає напрямок осі Y_n або вектора орієнтації \bar{O} , що проходить через центр захвата по осі перпендикулярної робочим поверхням його губок.

У першому стовпці утримуються направляючі косинуси осі X_n або вектора $(\bar{O} \times \bar{A})$. **Кутом підходу захвата α** називається кут між вектором підходу \bar{A} і базовим вектором:

$$R_\alpha = (\bar{O} \times \bar{k}_0),$$

де \bar{k}_0 - орт вектора \bar{z}_0 нерухомої або базової системи координат. З урахуванням зазначеного, матриця T_n може бути представлена в наступному виді:

$$T_n = \begin{vmatrix} (\bar{O} \times \bar{A})_x & O_x & A_x & r_{nMx} \\ (\bar{O} \times \bar{A})_y & O_y & A_y & r_{nMy} \\ (\bar{O} \times \bar{A})_z & O_z & A_z & r_{nMz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

У результаті матричних перетворень одержуємо радіус-вектор точки M захвата у функції узагальнених координат.

Звичайно, за узагальнені координати приймають лінійні і кутові переміщення в кінематичних парах або на вихідних валах приводів маніпулятора.

У механізмі з n рухомостями в загальному вигляді функцію положення захвата можна записати так:

$$\bar{r}_{OM} = T_n \cdot \bar{A} = \bar{\Pi}(q_1, q_2, \dots, q_n),$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – узагальнені координати маніпулятора.

При кінематичному аналізі маніпулятора у прямій задачі необхідно визначити лінійні і кутові швидкості і прискорення захвата за заданих кутових і лінійних узагальнених швидкостей і прискорень (звичайно за відносних швидкостей і прискорень у кінематичних парах механізму).

У зворотній задачі за заданими законами зміни швидкостей і прискорень захвата визначаються закони зміни швидкостей і прискорень у КП або на вихідних ланках приводів.

Вирішення прямої задачі кінематики для точки M захвата можна одержати, продиференціювавши четвертий стовпець матриці T_n за часом:

$$r_{nM} = \begin{vmatrix} r_{nMx} \\ r_{nMy} \\ r_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}; \quad V_{nM} = \frac{dr_{nM}}{dt} = \begin{vmatrix} V_{nMx} \\ V_{nMy} \\ V_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}; \quad a_{nM} = \frac{d^2 r_{nM}}{dt^2} = \begin{vmatrix} a_{nMx} \\ a_{nMy} \\ a_{nMz} \\ 1 \end{vmatrix}.$$

Кутову швидкість і кутове прискорення захвата можна визначити векторним підсумовуванням відносних кутових швидкостей в обертальних КП механізму. Оскільки вектори кутових швидкостей

при даному виборі орієнтації осей координат збігаються з віссю Z, то кутова швидкість захвата:

$$\bar{\omega}_n = \sum_{i=1}^m \bar{k}_{i-1} \cdot \omega_{i,i-1},$$

де \bar{k}_{i-1} – орт осі Z системи координат, розташованої в центрі КП, що з'єднує ланка i і ланка $i-1$;

m – число обертальних КП у механізмі.

Диференціюючи цей вираз за часом, одержимо формулу для визначення кутового прискорення захвата:

$$\bar{\varepsilon}_n = \sum_{i=1}^m \bar{k}_{i-1} \cdot \varepsilon_{i,i-1} + \sum_{j=2}^m \left[\left(\sum_{k=l-1}^{m-1} \bar{k}_{k-1} \cdot \omega_k \right) \times (\bar{k}_{j-1} \cdot \omega_j) \right].$$

Динаміка маніпуляторів промислових роботів. Силевий розрахунок маніпулятора

З великої розмаїтості задач динаміки маніпуляторів розглянемо дві: силевий розрахунок і розрахунок швидкодії ПР.

При силевому розрахунку маніпуляторів вирішуються задачі з визначення зовнішніх силових керуючих впливів, що забезпечують необхідний закон руху механізму, і розрахунку реакцій у кінематичних парах. Першу частину часто називають "задачею синтезу керування".

При силевому розрахунку звичайно застосовується метод кінетостатики, що базується на принципі Даламбера. За цим методом до зовнішніх сил і моментів, прикладених до ланок механізму, додаються розрахункові сили інерції, що забезпечують силову урівноваженість системи і дозволяють розглядати рухома систему у квазістатичній рівновазі, тобто як умовно нерухома.

Силевий розрахунок виконується за заданого корисного навантаження \bar{F}_n , відомих з попереднього кінематичного розрахунку законів руху ланок \bar{a}_{si} і $\bar{\varepsilon}_i$ та відомих інерційних характеристик ланок – їх масах m_i і моментах інерції I_{si} .

За цими даними визначаються головні вектори $\bar{F}_{ui} = -m \cdot \bar{a}_{si}$ і головні моменти $\bar{M}_{ui} = -I_{si} \cdot \bar{\varepsilon}_i$ сил інерції для кожної з ланок механізму.

Для відкритого кінематичного ланцюга рішення починаємо з вихідної ланки – захвата. Відкинуті зв'язки ланки n з ланкою $n-1$ і вихідним валом приводу ланки n заміняємо реакціями $\bar{M}_{n,n-1}$ й $\bar{F}_{n,n-1}$ і складаємо кінетостатичні векторні рівняння рівноваги сил і моментів для ланки n (рис. 1.129):

$$\bar{G}_o + \bar{G}_n + \bar{F}_{un} + \bar{F}_{uo} + \bar{F}_{n,n-1} + \bar{F}_n = 0,$$

$$\bar{M}(\bar{G}_n) + \bar{M}(\bar{G}_o) + \bar{M}(\bar{F}_{un}) + \bar{M}(\bar{F}_{uo}) + \bar{M}_{un} + \bar{M}_{n,n-1} + \bar{M}(\bar{F}_n) = 0,$$

де $\bar{M}_{n,n-1}$ - вектор моменту в кінематичній парі (проекція цього вектора на вісь Z є рушійним моментом приводу в КП, тобто:

$$\bar{M}_{z(n,n-1)} = \bar{M}_{\partial(n,n-1)}).$$

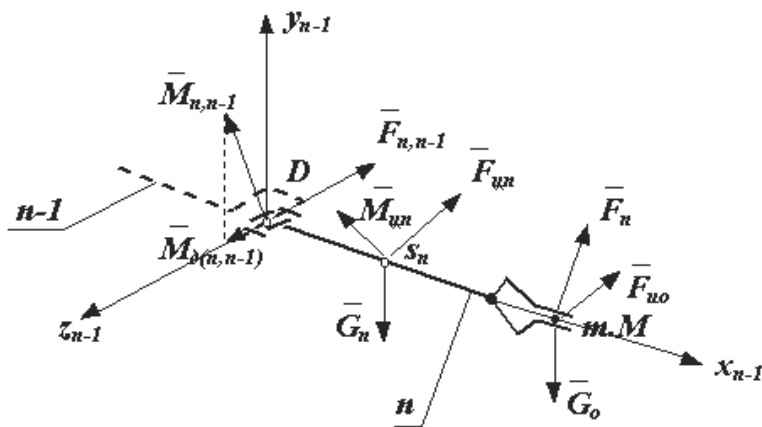


Рис. 1.129 – Схема силового навантаження

Проецюючи векторні рівняння на осі координат, одержимо систему шести алгебраїчних рівнянь, відкіля визначимо шість невідомих:

$$F_{x(n,n-1)}, F_{y(n,n-1)}, F_{z(n,n-1)}, M_{x(n,n-1)}, M_{y(n,n-1)}, M_{z(n,n-1)} = M_{o(n,n-1)}.$$

Далі розглядається рівновага ланки $n-1$. При цьому в місці її приєднання до ланки n прикладаються реакції з боку ланки n :

$$F_{x(n-1,n)}, F_{y(n-1,n)}, F_{z(n-1,n)}, M_{x(n-1,n)}, M_{y(n-1,n)}, M_{z(n-1,n)} = M_{o(n-1,n)}.$$

рівні за величиною і протилежні за напрямком реакціям, визначеним на попередньому етапі розрахунку.

Так послідовно складаються рівняння силової рівноваги для всіх n ланок механізму.

З рішення отриманої системи $6n$ рівнянь визначаються реакції в кінематичних парах, рушійні сили і моменти.

Розрахунок швидкодії промислового робота

Час виконання роботом циклу переміщень деталі багато в чому визначає продуктивність усього роботизованого комплексу.

Тому вимоги до швидкодії робота звичайно є досить високими.

Час виконання роботом технологічної операції обумовлений законами зміни зовнішніх сил (рушійних і опору) та інертністю ланок механізму. Закон зміни керуючих сил залежить від типу використовуваного приводу і від виду системи керування.

Існують роботи з гідравлічними, пневматичними, електричними і комбінованими приводами. У них застосовуються циклові, позиційні або контурні системи керування.

Розглянемо розрахунок швидкодії одного з приводів промислового робота з цикловою системою керування.

При цикловій системі керування відносні переміщення ланок обмежуються пересувними упорами і кінцевими вимикачами.

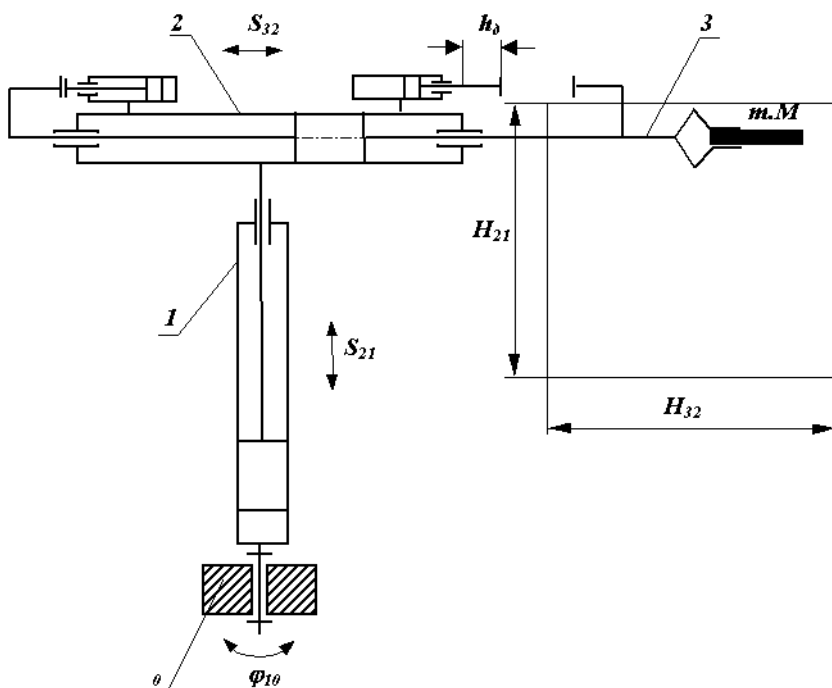
На рис. 1.130 зображено кінематичну схему трирухомого маніпулятора ПР (1, 2, 3 – рухомі ланки, 0 – нерухома ланка). Тут же подано циклограму настроювання командо-апарата (суцільні лінії) і циклограму роботи ПР (пунктирні лінії).

Загальний час робочого циклу $T_{\text{ц}}$ складається з часу вистою в заданих положеннях (на циклограмі вистій показаний прямими, рів-

нобіжними горизонтальній осі t) і часу відносних переміщень ланок з одного заданого положення в інше t_{nx} і назад t_{ox} (похилі прями на діаграмах).

Час простою звичайно заданий умовами технологічного процесу. Час виконання роботом рухів визначається динамічними характеристиками приводів і маніпулятора – рушійними силами і силами опору, масами і моментами інерції ланок.

Розглянемо роботу пневмоприводу переміщення руки маніпулятора (рис.1.130). За сигналом від командо-апарата в праву порожнину циліндра подається стиснене повітря, що діє на поршень із силою $F_{o3} = p \cdot S_n$, де p - тиск повітря, S_n - активна площа поршня. Під дією цієї сили поршень і рука 3 переміщуються ліворуч з постійним прискоренням a_{32} і зі зростаючою швидкістю V_{32} (рис. 1.131, а). Обмеження ходу поршня може здійснюватися або жорстким упором без демпфера, або упором з демпфером.



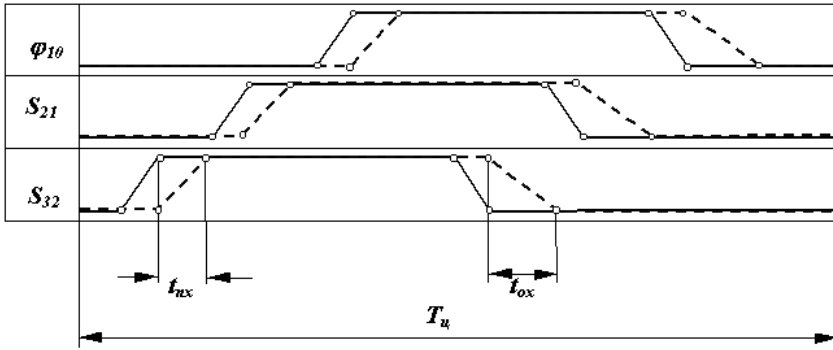


Рис. 1.130 – Циклограми командо-апарата і промислового робота

При зупинці на упорі без демпфера швидкість ланки 3 повинна миттєво зменшитися з деякого кінцевого значення до нуля. За такої зміни швидкості прискорення $a_{32} \Rightarrow -\infty$.

Така зупинка ланки називається **жорстким ударом**. Він супроводжується великими динамічними навантаженнями на ланки механізму. Оскільки реальний маніпулятор являє собою пружно-інерційну систему, то ці навантаження викликають відскок ланки 3 від упора, а також коливання всього механізму.

Захват буде робити коливання відносно заданого кінцевого положення. Час згасання цього процесу Δt (рис. 1.131, а) значно знижує швидкодію ПР.

Зменшити, або взагалі виключити ці коливання можна, забезпечивши безударну зупинку:

$$V_{32n} = 0, a_{32n} = 0,$$

де V_{32n} , a_{32n} - відносна швидкість і відносне прискорення ланок у момент зупинки. Однак це може бути здійснено тільки в регульованому приводі при контурному керуванні.

Крім того при безударній зупинці наприкінці ходу відносна швидкість є близькою до нуля, тому час переміщення захвата в необхідне положення значно зростає.

Компромiсним рішенням є зупинка з м'яким ударом, при якій відносна швидкість наприкінці ходу $V_{32n} = 0$, а прискорення обмежене деяким припустимим значенням $a_{32n} \leq [a]$. У механізмах з цикло-

визначенням режим руху з м'яким ударом забезпечується установкою упорів з демпферами, що гасять кінетичну енергію руки. Розрахунок демпфера ведеться з умови $A_{\Sigma n} = 0$, що забезпечується рівністю за цикл руху роботи рушійної сили $A_{F_{03}}$ і роботи сили опору демпфера A_{F_c} (рис.1.131, б):

$$A_{F_{03}} = -A_{F_c} \text{ або } F_{03} \cdot (H_{32} - h_0) = -F_c \cdot h_0.$$

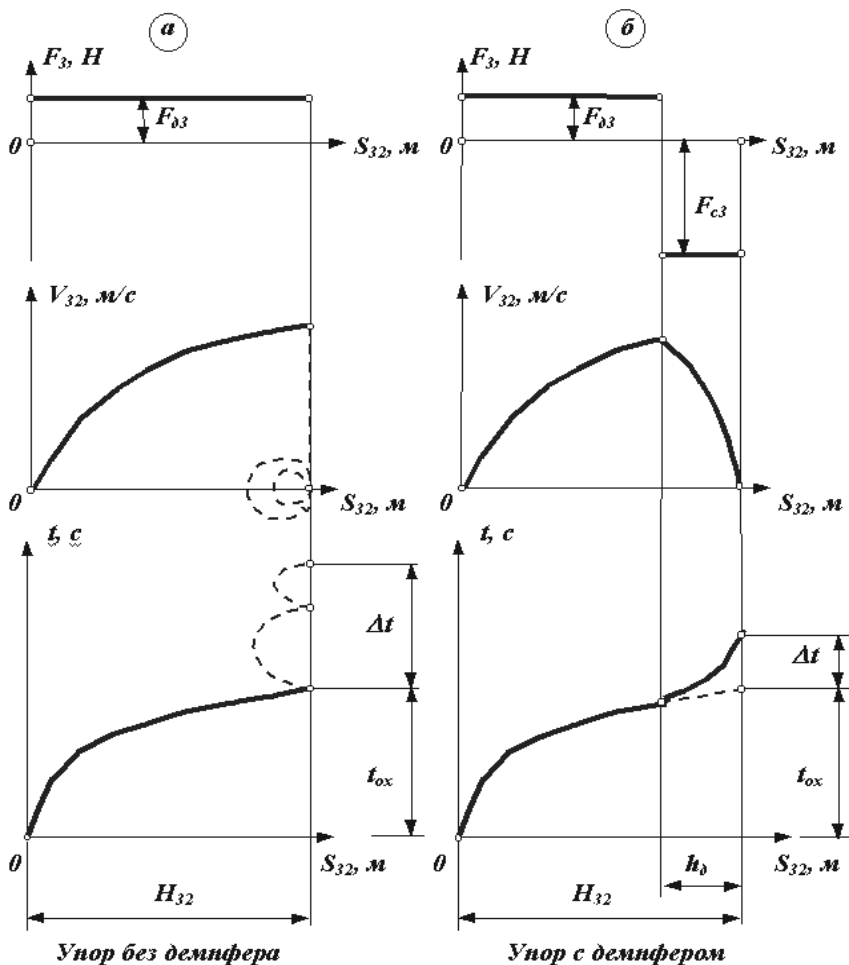


Рис. 1.131 – Характеристики пневмоприводу

У цьому виразі не відомі дві величини – F_c і h_o , однією з них задаються, другу – розраховують.

Зрівноважування маніпуляторів. У більшості кінематичних схем маніпуляторів приводи сприймають статичні навантаження від сил ваги ланок.

Це вимагає значного збільшення потужностей двигунів приводів і моментів гальмівних пристроїв. Для боротьби з цим використовують три методи.

1. Використовують кінематичні схеми маніпуляторів, у яких сили ваги ланок сприймаються підшипниками кінематичних пар. На потужність приводів і гальмівних пристроїв при такому рішенні сили ваги впливають тільки через сили тертя в парах. Як приклад можна навести кінематичну схему робота SCARA (рис. 1.132). Недоліком цього методу є великі осьові навантаження в підшипниках.

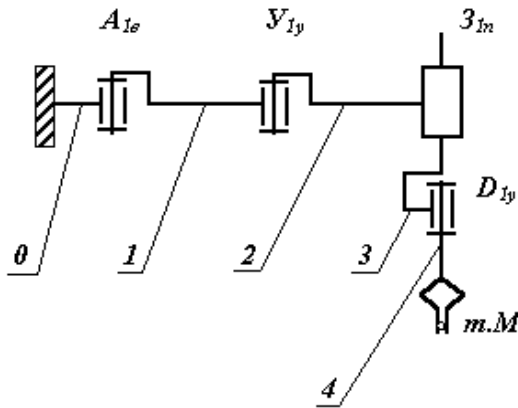


Рис. 1.132 – Схема робота SCARA

2. Зрівноважування ланок маніпулятора за допомогою корекції їхньої маси. При цьому центр мас ланки за допомогою коригувальних мас зміщується в центр кінематичної пари (рис. 1.133). Недоліком цього методу є значне збільшення маси маніпулятора і моментів інерції його ланок.

3. Зрівноважування сил ваги ланок маніпулятора за допомогою пружних пристроїв – пружинних розвантажувачів або врівноважувачів. Ці пристрої не дозволяють забезпечити повне розвантаження приводів від дії сил ваги на усьому відносному переміщенні

ланок. Тому конструкція цих пристроїв включає кулачкові або підйомні механізми, які узгоджують характеристику пружини з характеристикою сил ваги ланок, які врівноважуються. На рис. 1.134 показано схему промислового робота, в якому привід вертикального переміщення руки має механізм для силового розвантаження, який складається з пружини і кулачкового механізму з профілем, виконаним по спіралі Архімеда.

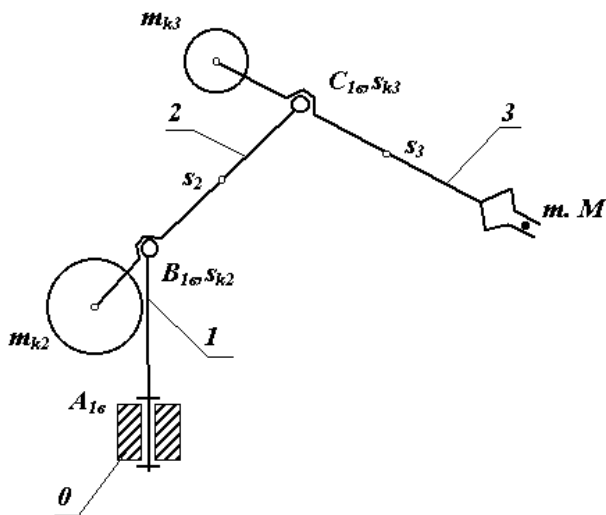


Рис. 1.133 – Зрівноважування ланок маніпулятора за допомогою корекції їхньої маси

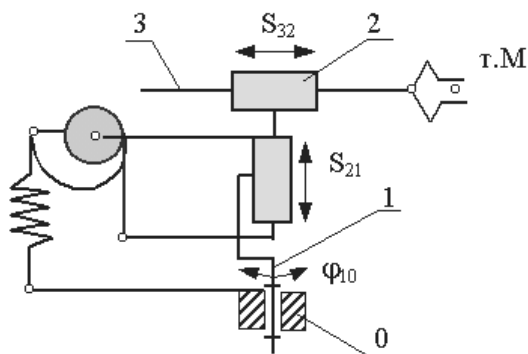


Рис. 1.134 – Пружинний механізм силового розвантаження

Точність маніпуляторів ПР. Точність маніпуляторів визначається похибками позиціонування характеристичної точки захвата (точка M) і похибками кутової орієнтації захвата.

Похибки позиціонування визначаються:

- технологічними відхиленнями розмірів ланок маніпулятора;
- зазорами в кінематичних парах маніпулятора і механізмів приводів;
- деформаціями (пружними і температурними) ланок;
- похибками системи керування;
- похибками датчиків зворотного зв'язку.

У результаті похибок точка M описує в просторі деякий еліпсоїд, що називається **еліпсоїдом відхилень** (рис. 1.135).

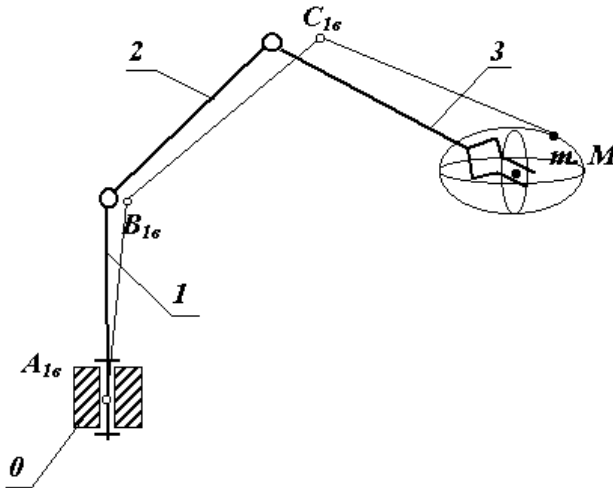


Рис. 1.135 – Еліпсоїд відхилень захвата маніпулятора

У паспортних даних маніпуляторів вказується максимально припустиме відхилення центра захвата маніпулятора (точки M) від його номінального розташування при безлічі можливих конфігурацій механізму.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ПОЖЕЖНОЇ ТА АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

2.1 Сучасні особливості науково-технічного прогресу

Під терміном «**наука**» розуміють сферу людської діяльності, мета якої – встановлення і використання систематизованих об'єктивних знань про дійсність.

Техніка – сукупність засобів людської діяльності, створюваних для здійснення процесу матеріального виробництва і задоволення відповідних потреб суспільства. Це поняття охоплює не тільки засоби праці, але і навички, що здобуваються людиною в процесі діяльності. Основна задача техніки полягає в тім, щоб полегшити працю людини, підвищити її продуктивність і покращити результати. Головним засобом вирішення цієї задачі є механізація - створення, використання й удосконалювання машин.

Науково-технічний прогрес (НТП) характеризується як взаємозалежний розвиток науки і техніки, що виявляється в постійному впливі досягнень науки на рівень техніки й ефективному використанні новітньої техніки для поглиблення наукових знань. Наука за темпами розвитку випереджає виробництво, у результаті чого створюються умови для використання її досягнень для розвитку техніки, що, у свою чергу, робить свій внесок у досягнення науки, що все більшою мірою виступає в ролі продуктивної сили суспільства.

На сучасному етапі характерними рисами НТП стають комплексна механізація й автоматизація виробництва, застосування промислових роботів, розвиток гнучких автоматизованих систем у виробництві і проектуванні, комп'ютеризація на базі широкої номенклатури електронних систем, організації сфери праці і побуту, пошук і використання нових джерел енергії, технологій, конструкційних матеріалів. Одночасно НТП висуває перед людством нові проблеми екологічного й ергономічного плану. Сфера його впливу виходить далеко за межі традиційних уявлень і навіть становить загрозу нормальному функціонуванню біосфери.

НТП залежить, насамперед, від машинобудування, тому що в ньому матеріалізуються основні науково-технічні ідеї, створюються нові знаряддя праці, які визначають прогрес в інших галузях суспільного господарства.

2.1.1 Основні етапи створення машин

Машиною називається механізм або сукупність механізмів, призначених для перетворення одного виду енергії в іншій, переробки (обробки) матеріалів, одержання й обробки інформації про хід процесів. Машини на сучасному етапі розвитку суспільства - найважливіший елемент продуктивних сил. Їх поділяють на енергетичні, робочі та інформаційні. Потрібно, однак, відзначити, що в сучасних робочих машинах все частіше поєднуються зазначені три функції, оскільки енергетичні машини не можуть нормально функціонувати без застосування інформаційних систем, а робочі й інформаційні машини - без енергетичного забезпечення.

Галузь важкої промисловості, що забезпечує виробництво знарядь праці, називається **машинобудуванням** і є основою комплексної механізації й автоматизації виробництва. Машинобудування поєднує близько 20 галузей: енергетичне машинобудування, верстатобудування, приладобудування, автомобільну промисловість, тракторне і сільськогосподарське машинобудування, будівельно-дорожнє і комунальне машинобудування й ін.

Машина є ланкою системи людина – машина – оброблюваний матеріал - середовище (рис. 2.1).

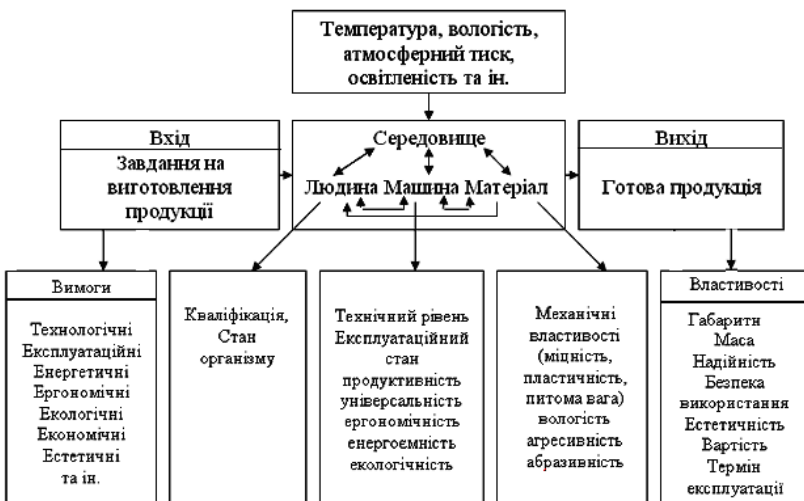


Рис. 2.1 – Структурна схема системи «людина – машина – матеріал – середовище»

Завдання на виготовлення певного виду виробів повинно задовольняти встановленим вимогам.

Технологічні вимоги відносяться до технології виготовлення продукції й обумовлюють вибір тих або інших технологічних процесів, що забезпечують відповідні властивості виробу.

Експлуатаційні вимоги відносяться до умов використання продукції: зручності керування, простоти обслуговування і регулювань, можливості використання в різних кліматичних зонах і т.д.

Енергетичні вимоги визначають вид використання енергії та її питомі витрати.

Економічні - вартість одиниці продукції і витрати на її експлуатацію. Естетичні - зовнішній вигляд виробу, його відповідність моді, запитам споживача. Можливі також інші вимоги, характерні для визначених видів виробів.

У системі людина - машина - матеріал - середовище можна виділити прямі і зворотні зв'язки. До прямих відносяться керуючі впливи на машину, з метою досягнення заданого ефекту з обробки матеріалу, а також впливу навколишнього середовища на людину, машину і матеріал.

Середовище може бути природним, що має ту або іншу міру агресивності (абразивна, корозійна дія, температура, вологість, атмосферний тиск, склад повітря й ін.), і штучним, коли створюється сприятливий або несприятливий для людини чи машини мікроклімат, необхідний для обробки матеріалу.

Головні **властивості людини** при взаємодії з машиною - її кваліфікація і стан організму; не виключений і зворотний зв'язок - вплив людини на середовище (наприклад, на мікроклімат у кабіні).

Властивості машини характеризують її технічний рівень і експлуатаційний стан, від яких залежать продуктивність і енергоємність виробництва. Зручність керування, наявність інформаційних систем та інші умови роботи людини-оператора відносяться до ергономічних властивостей машин, за допомогою яких здійснюється зворотний зв'язок машини і людини. Зворотні зв'язки виявляються також у впливі машини на навколишнє середовище.

Властивості матеріалів є досить різноманітними. Від них залежать навантаження машини, кінематика і принцип впливу робочого устаткування на матеріал. У свою чергу матеріал може бути агресивним стосовно навколишнього середовища і людини.

Вихід системи – готова продукція.

Кількість і якість готової продукції – кінцевий результат функціонування системи. Кількість за наявності матеріалу визначається тільки продуктивністю підсистеми людина – машина. Якість оцінюється сукупністю властивостей, серед яких, поряд із такими, що властиві тільки конкретним виробам, можна виділити деякі загальні: масу, розміри, надійність, безпеку експлуатації, ремонтпридатність, зовнішній вигляд, вартість, термін служби й таке інше.

Таким чином, машина є важливою частиною у складній системі, що поєднує відповідні вимоги, властивості взаємодіючих ланок та діяльність людини і пов'язана з досягненням результату, який задовольняє сучасним вимогам суспільства.

Завдання розробників при проектуванні і конструюванні – створення нової машини, що забезпечувати виконання певного технологічного процесу і матиме кращі техніко-економічні показники в порівнянні з існуючими машинами аналогічного призначення. При вирішенні такої задачі бажано досягти найвищого результату, тобто прийняти всі проектно-конструкторські рішення на оптимальному рівні.

Однак це далеко не завжди є можливим, тому що вимоги до майбутньої машини нерідко є суперечливими і не завжди мають об'єктивні оцінні критерії. Наприклад, вимоги енергоємності суперечать ергономіці та екології, деякі параметри яких є ще досить орієнтовними, хоча їх розробці на сьогодні приділяється все більше уваги. Потрібно також зазначити, що сучасні темпи НТП у багатьох випадках випереджають темпи освоєння нової продукції машинобудування, у результаті чого до моменту серійного випуску машини виникають нові вимоги до її властивостей, що обумовлюють необхідність подальшого удосконалення якості.

Загальну структуру процесу створення машини показано на рис. 2.2.

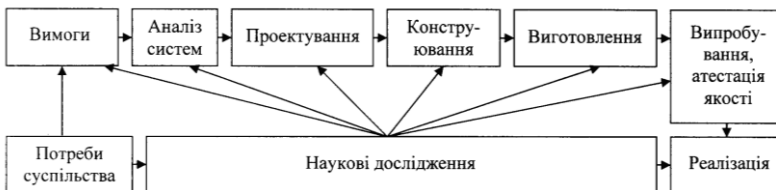


Рис. 2.2 – Загальна структура процесу створення машини

Створення машини як технічного засобу, призначеного для задоволення потреб суспільства, насамперед, ґрунтується на вивченні потреби в такій машині і формулюванні конкретних вимог, яким вона повинна відповідати. У результаті створюється уявлення про систему, в якій повинна функціонувати машина.

Наступний етап - проектування, що включає в себе обґрунтування принципу дії, розробку структурної і конструктивної схем, вибір типів і параметрів головних складових частин. На цій основі здійснюється конструювання, результат якого - видача документації, достатньої для подальшого виготовлення машини.

Реалізація готових технічних засобів у сфері задоволення потреб суспільства (експлуатація машин) дає матеріал для подальшого їх удосконалення на етапах проектування, конструювання і виготовлення, а також впливає на виникнення нових потреб.

Створення технічних засобів, залежно від їхньої складності, може бути предметом діяльності однієї людини, що виконує функції проєктувальника, конструктора і виробника, або цілого колективу (декількох колективів), між якими ці функції розподілені таким чином, що здібності і кваліфікація кожного працівника використовуються найбільш раціонально.

Отже, успіх технічної творчості залежить від того, в якій мірі проєктувальники і конструктори мають достовірну інформацію про вимоги, яким повинна відповідати продукція, виготовлена спроектованою машиною, про фізичну сутність виконуваних нею процесів, а також про стан технічних можливостей виробників.

У деяких випадках для одержання таких відомостей необхідне проведення спеціальних наукових досліджень. Науково-дослідна діяльність супроводжує всі етапи створення машин.

Предмет наукового дослідження - вивчення потреб суспільства і розробка стратегічних напрямів із задоволення цих потреб, а отже, обґрунтування вимог до технічних засобів, призначених для подальшого розвитку тієї або іншої галузі техніки. Сучасні наукові дослідження базуються на системному аналізі досліджуваних явищ.

Системний аналіз - методика, розроблена в результаті наукових узагальнень, а його удосконалювання - предмет її подальшого розвитку. Те ж відноситься і до сучасних загальних методів проектування і конструювання машин, однак тут виникає ще й потреба у вивченні нових робочих процесів взаємодії машин із середовищами

й оброблюваними матеріалами, що є предметом наукових досліджень.

Нарешті, широке поле для діяльності працівників науки відкривається у сфері виготовлення машин, де впровадження нових технологічних принципів, що підвищують якість продукції, продуктивність праці, знижують собівартість виготовлення - безпосередній результат наукових досліджень.

Наукові дослідження необхідні також при реалізації продукції, для розробки методів її раціонального використання, і обслуговування, розробки нових вимог до її подальшого удосконалення.

2.1.2 Проблематика наукових досліджень

Кінцева мета всіх досліджень в галузі машинобудування і механізації аварійно-рятувальної техніки - підвищення її ефективності та якості, зниження вартості та витрат матеріальних засобів. Оскільки основний обсяг робіт при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій виконується за допомогою машин і механізмів, мова йде, насамперед, про удосконалення засобів механізації робіт.

На цей час сформувалися наступні головні тенденції удосконалювання основних типів машин:

- підвищення універсальності машин, подальше пристосування їх до виконання різноманітних розосереджених робіт у різних умовах експлуатації, створення машин багатоцільового призначення. Це характерно, насамперед, для машин малого і середнього типорозмірів, що не виключає створення більших спеціалізованих машин для масових видів робіт;

- підвищення одиначної потужності: місткості ковша скрепера, потужності двигуна бульдозера, ширини укладання покриття і т.д. За своїм характером ця тенденція сприяє підвищенню продуктивності праці і зниженню кількості робітників, зайнятих у ліквідації наслідків надзвичайної ситуації;

- підвищення робочих і транспортних швидкостей машин за рахунок удосконалювання приводів, систем керування, широкого використання у конструкції машин мікропроцесорної техніки, автоматизації як окремих елементів циклу, так і всього процесу роботи;

- використання дистанційного керування машиною або загном машин із застосуванням радіо, телебачення, автоматичних систем вибору оптимального режиму роботи;

– підвищення ефективності робочих процесів машин у межах традиційної взаємодії їх із середовищем, адаптація робочих органів до різноманітних умов застосування, інтенсифікація робочих процесів з використанням нових фізичних ефектів, термодинамічних, електрофізичних, гідро- і газодинамічних, коливань високої і надвисокої частот, лазерного випромінювання й ін.;

– підвищення надійності, довговічності, економічності, технологічності машин, поліпшення їх ремонтпридатності, зручності технічного обслуговування, створення машин з бортовими комп'ютерами з автоматизацією операцій діагностування технічного стану вузлів і агрегатів, експлуатаційних рідин;

– удосконалення вузлів машин, трансмісій, двигунів, систем керування, електромеханічних передач;

– підвищення рівня взаємодії роботи машин, що працюють у єдиному технологічному процесі;

– поліпшення тягових характеристик мобільних машин, підвищення їх транспортабельності, маневреності, а також коефіцієнта використання маси окремих машин, що працюють у єдиному технологічному процесі, збільшення кількості самохідних машин на пневматичному ході;

– поліпшення ергономічних властивостей машин: реалізація заходів, що забезпечують їх безпечну і безаварійну роботу, забезпечення комфортних умов праці операторів, створення машин, що задовольняють вимогам охорони навколишнього середовища;

– створення роботів, здатних здійснювати всі операції, передбачені технологією відповідних робіт, автоматично, без участі людини, насамперед, для роботи в небезпечних екстремальних умовах експлуатації (під водою, у газовому і запиленому середовищах, за високих температур і т.п.), а також для виконання трудомістких і неprestижних робіт, широка комп'ютеризація керування роботою машин і обліку виконаної роботи;

– максимальне прискорення процесу створення високоефективних машин на основі автоматизації проведення наукових досліджень, розробки методів і систем автоматизованого проектування, оптимізації параметрів, прискорених випробувань на довговічність;

– оптимізація структури парку машин залежно від обсягів і умов виконання робіт, розробка й оптимізація комплектів і систем машин, уніфікованих за своїми параметрами для роботи в єдиному

технологічному процесі. Оптимальне розміщення баз підприємств. Розробка методів і засобів автоматизованого розрахунку за вибором засобів механізації за прийнятими критеріями оптимізації (термінами виконання робіт, мінімальною вартістю, витратами палива, запчастин і т.п.);

– удосконалення системи методів і засобів технічного обслуговування і ремонту машин, розробка діагностичних засобів і контрольних пристроїв, приладів для експрес-оцінки технічного стану вузлів і агрегатів машин, експлуатаційних рідин, систем керування із широким використанням мікропроцесорів і ЕОМ;

– оптимізація структури, номенклатури, раціональних сфер застосування стаціонарних і мобільних пунктів технічного обслуговування і ремонту машин. Розробка робіт для здійснення технічного обслуговування і ремонту, насамперед, машин, що знаходяться в екстремальних умовах експлуатації. Розробка й удосконалення методів і засобів відновлення працездатності вузлів і деталей машин.

2.2 Розробка завдання на створення й освоєння машини

У процесі розробки й освоєння машини функціонально виділяються наступні організації: «Замовник», «Розробник», «Виробник» та «Споживач».

Замовник надає розробникові вихідні вимоги до машини, забезпечує повне й раціональне її використання, а також погоджує з ним технічне завдання. Наприклад, вихідні дані для розробки екскаватора: продуктивність, тип розроблюваного ґрунту, його механічні характеристики й геометрія розроблюваного вибою.

Разом з розробником замовник приймає дослідний зразок машини (або партію машин) і бере участь у приймальних випробуваннях.

Розробник на базі отриманих від замовника вихідних даних замовлення і з урахуванням вітчизняного й закордонного досвіду розробляє технічне завдання, погоджує його із замовником й іншими зацікавленими організаціями.

Функції розробника: підготовка технічної документації на всіх стадіях, виявлення нових технічних рішень й оформлення їх як на передбачувані винаходи, підготовка пропозицій з виготовлення дослідного зразка, здійснення авторського нагляду при виготовленні й освоєнні машини.

Виробник забезпечує своєчасне виготовлення й освоєння машини, здійснюючи якісну технологічну підготовку виробництва, погоджує технічне завдання й бере участь у розгляді технічної документації.

Споживач - відповідає за обґрунтованість вимог до розроблюваної машини й забезпечує належні умови її експлуатації. Він зобов'язаний систематично інформувати замовника, розробника й виробника про зміни, що відбуваються з машиною в процесі її експлуатації.

Таким чином, перший документ, що закріплює при створенні машини узгодження функціональних обов'язків організацій-співвиконавців, - технічне завдання, яке виконується організацією-розробником згідно з вихідними даними, викладеними організацією-замовником і погодженими з виробником і споживачем.

Технічне завдання - вихідний документ для розробки як технічної документації на машину, так і самої машини.

Базуючись на вихідних вимогах заявки замовника, технічне завдання слід розробляти з урахуванням виконаних науково-дослідних робіт, науково-технічного прогнозування, а також аналізу патентної літератури й передових досягнень техніки.

Як правило, будівельні та дорожні машини й устаткування функціонують у технологічних лініях в безпосередньому зв'язку з іншими машинами. Тому вихідні дані для створення машини - це характеристики, пов'язані з характеристиками суміжних машин у технологічних лініях.

Найчастіше на створювані машини можуть накладатися обмеження стосовно габаритів, рівня шуму, вібрації або маси. Весь набір вимог й обмежень, пропонує до машини, повинен відбиватись у технічному завданні на її розробку.

У загальному випадку воно складається з наступних розділів: найменування й галузь застосування машини; підстава для розробки; мета створення й призначення машини; джерела розробки; технічні вимоги до машини; економічні показники; стадії й етапи розробки; порядок контролю та приймання; додаткові документи (додаток).

Вимоги до надійності, технологічності, уніфікації й стандартизації, патентної чистоти, матеріалів, а також естетичні й ергономічні вимоги надаються в розділі про технічні вимоги до машини.

Разом з тим технічне завдання – не догма; воно не повинно обмежувати творчої ініціативи розробника при пошуку й виборі

найбільш доцільного рішення. Можливість змін на наступних стадіях передбачається розробкою доповнень до технічного завдання.

Крім технічного завдання, вихідними матеріалами для створення машини можуть бути: технічна пропозиція, висунута в ініціативному порядку проектною організацією або групою конструкторів; науково-дослідна робота або створений на її основі експериментальний зразок.

2.2.1 Послідовність і зміст етапів створення та освоєння машини

Від технічної ідеї й відповідної заявки замовника розробнику на створення машини до моменту одержання від неї повної віддачі проходить певний строк, обумовлений виконанням етапів розробки, встановлених відповідно до стандарту: технічної пропозиції, ескізного проекту, технічного проекту, робочої конструкторської документації.

Розробку зазначених етапів виконують розробник і виробник за участі споживача. Необхідність виконання вказаних етапів встановлюється технічним завданням. Послідовність процесу створення машини показано на схемі (рис. 2.3).

Технічна пропозиція - етап попереднього проектування, що характеризується активізацією творчого мислення, великою кількістю ідей і можливих варіантів їхнього втілення.

На цій стадії особливо важливою є науково-технічна й патентна інформація.

Технічна пропозиція передбачає попередні конструкторські розробки й аналіз різних варіантів, підбір матеріалів для виявлення уточнених вимог до машини.

Різні варіанти аналізуються за основними показниками якості (економічність, ергономічність, надійність) і технологічності (питомої трудомісткості виготовлення, питомої енергоємності й ін.), а також за рівнем стандартизації й уніфікації.

Якщо для порівняльного аналізу необхідно перевірити принцип роботи різних варіантів машини, то можуть виготовлятися відповідні макети.

Погоджена й затверджена технічна пропозиція - підстава для розробки ескізного або технічного проекту.

Ескізний проект - етап дослідно-конструкторської розробки, що вимагає більш конкретної науково-технічної інформації, яка

служить підвищенню рівня конструкторських і технологічних рішень.



Рис. 2.3 – Послідовність процесу створення машини

Ескізний проект передбачає розробку найбільш загальних рішень машини, що дозволяють виробити принцип її роботи. При цьому проробляються різні варіанти компоновання машини в цілому, а також її складових частин.

Глибина пророблення повинна бути достатньою для порівняльного аналізу за показниками якості машини з урахуванням її конструктивних й експлуатаційних особливостей.

Розроблені варіанти перевіряються на патентну чистоту й конкурентоздатність.

При виявленні нових рішень оформляються заявки на винаходи. Для перевірки принципу роботи прийнятого варіанта машини та її складових частин можуть бути виготовлені й випробувані макети.

В результаті розробки ескізного проекту повинен бути прийнятий оптимальний варіант машини з обґрунтуванням вибору, підтверджені й уточнені вимоги, яким повинна відповідати машина.

На стадії ескізного проекту роботи, виконані на рівні технічної пропозиції, якщо вони не вносять додаткових даних, не повторюються, отримані раніше результати відбиваються в пояснювальній записці.

Ескізний проект погоджують із замовником і виробником. Після узгодження й затвердження ескізний проект є основою для розробки технічного проекту або робочої конструкторської документації.

Технічний проект передбачає розробку комплексу конструкторських документів, які повинні містити остаточні технічні рішення за розроблюваною машиною.

В технічному проекті оцінюються відповідність проекту вимогам технічного завдання й ступінь складності виготовлення, наводяться правила експлуатації й ремонту машини.

При розробці технічного проекту здійснюються роботи:

- проектування конструкції машини та її основних складових частин;
- розрахунки (у тому числі техніко-економічні);
- аналіз технологічності конструкції (з урахуванням конкретних умов заводу-виробника);
- заходи щодо забезпечення заданого рівня стандартизації й уніфікації;
- перевірка патентної чистоти і т.ін.

Розробка остаточних проектних і конструкторських рішень дозволяє погоджувати габаритні, установчі й приєднувальні розміри з основним споживачем машини, а також оцінювати можливості її транспортування й монтажу.

Якщо для виготовлення окремих оригінальних деталей потрібно розробити спеціалізоване устаткування, то для прискорення процесу в цілому на стадії технічного проекту розробляються креслення складових одиниць (куди входять ці деталі) й самих деталей. Технічний проект містить ті ж основні документи, що й ескізний проект.

Однак ступінь і глибина їхньої розробки носять остаточний характер. Після узгодження й затвердження технічний проект служить підставою для розробки робочої конструкторської документації.

Робоча конструкторська документація – кінцевий етап проектування й конструювання машини.

Безпосередньо за робочою конструкторською документацією на заводі-виробнику створюється машина в металі.

Звідси й значна відповідальність інженерно-технічних працівників, що беруть участь у розробці останнього етапу технічної документації.

Відповідно до стандарту на стадії виготовлення робочої конструкторської документації передбачається розробка технічної документації для всіх видів виробів.

У процесі розробки конструкторська документація піддається технологічному контролю, зміст і мета якого визначаються стадією розробки.

Так, на стадії технічної пропозиції перевіряється правильність вибору варіанта конструктивного рішення відповідно до вимог технологічності.

На стадії ескізного проекту перевіряється правильність вибору принципової схеми машини, компоновання основних складових одиниць, раціональність конструктивних рішень із позиції найбільш простого їхнього виготовлення, можливість застосування раціональних методів обробки для найбільш складних деталей.

На стадії технічного проекту перевіряють:

- можливість проведення складання й контролю виробу і його основних частин;
- зручність і доступність місць зборки;
- відсутність (або мінімум) механічної обробки при зборці;

– можливість забезпечення взаємозамінності складових одиниць і деталей.

На стадії розробки робочої документації перевіряють в основному технологічність виготовлення деталей, умови зборки виробу і його складових частин, контролюють наявність складальних баз.

Після того, як проєкту й конструкторську технічну документацію розроблено й проконтрольовано, приступають до виготовлення машини.

На першому етапі створюється дослідний зразок або дослідна партія машин, на яких проводяться попередні заводські випробування.

У процесі цих випробувань відпрацьовуються раціональні експлуатаційні режими, визначається необхідність внесення яких-небудь змін у конструкцію машини або її складових частин.

За результатами попередніх випробувань, які проводять спільно розробник і виробник, вирішується питання про можливість здійснення приймальних випробувань, корегується конструкторська документація, вносяться зміни в конструкцію дослідного зразка. При позитивному рішенні проводяться приймальні випробування.

Приймально-здавальні випробування свідчать про відповідність продукції розробленій технічній документації й можливість постановки машини на виробництво.

2.2.2 Методика проєктування машин і пошуку конструкторських рішень

Методика проєктування машин - це послідовність, прийоми і правила оформлення графічних і текстових документів при створенні машин.

Під терміном «методика» розуміється сукупність практичних прийомів проєктування.

Методика проєктування дозволяє визначити, по-перше, які практичні етапи і в якій послідовності необхідно виконати для досягнення кінцевого результату; по-друге, які наукові або інженерні прийоми використовуються для реалізації цих етапів.

Проєктування визначається як процес складання опису, необхідного для створення ще неіснуючого об'єкта, перетворенням первинного опису, оптимізацією заданих характеристик об'єкта або алгоритму його функціонування, усуненням некоректності первинного опису й послідовним поданням описів деталізованого об'єкта на різних мовах програмування для різних етапів проєктування.

Зіставивши наведене визначення зі схемою (рис. 2.3), зазначимо, що первинним описом є технічне завдання, а усунення некоректності опису - суть корегування конструкторської документації на різних стадіях розробки.

Деякі розходження в термінології державних стандартів визначаються тим, що сучасний період є перехідним від інженерного до системного автоматизованого проектування.

Автоматизоване проектування передбачає використання для розрахунків і графічних побудов обчислювальної техніки й креслярсько-графічних побудовників.

Поряд із прийомами інженерного проектування (розрахунок конструкції, випуск креслень) автоматизоване проектування дозволяє запрограмувати весь життєвий цикл машини як системи, визначити її корисний ефект і наслідки експлуатації.

Кінцева мета проектування - оптимізація розроблюваної машини, тобто досягнення заданих показників при раціональних витратах наявних ресурсів. Описані етапи проектування з доповненням супутніми прийомами й операціями становлять алгоритм процесу проектування (рис. 2.4).

Алгоритм процесу проектування розділений на підпроцеси: проектування й конструювання. Цей розподіл умовний, оскільки деякі аспекти створення машини є загальними для всього процесу.

Проектування й конструювання розрізняються творчими й операційними можливостями.

Проектування машини містить етапи визначення технологічних функцій машини в лінії, виявлення особливостей її роботи, розгляд різних варіантів принципової схеми й вибір рішення, компонування машини й розробку загальних видів і необхідних схем.

Конструювання – органічна частина проектування, яка починається тоді, коли проект машини вже складений і необхідно визначити її конструкцію.

Зображуючи умовно машину у вигляді системи, що має «вхід», «чорний ящик» й «вихід», можна сказати, що етап проектування - це вибір типу «чорного ящика», а конструювання - його поділ на окремі елементи. Конструювання забезпечує більш конкретні вимоги до машини.

Розглянемо докладніше прийоми виконання окремих етапів (рис. 2.4).

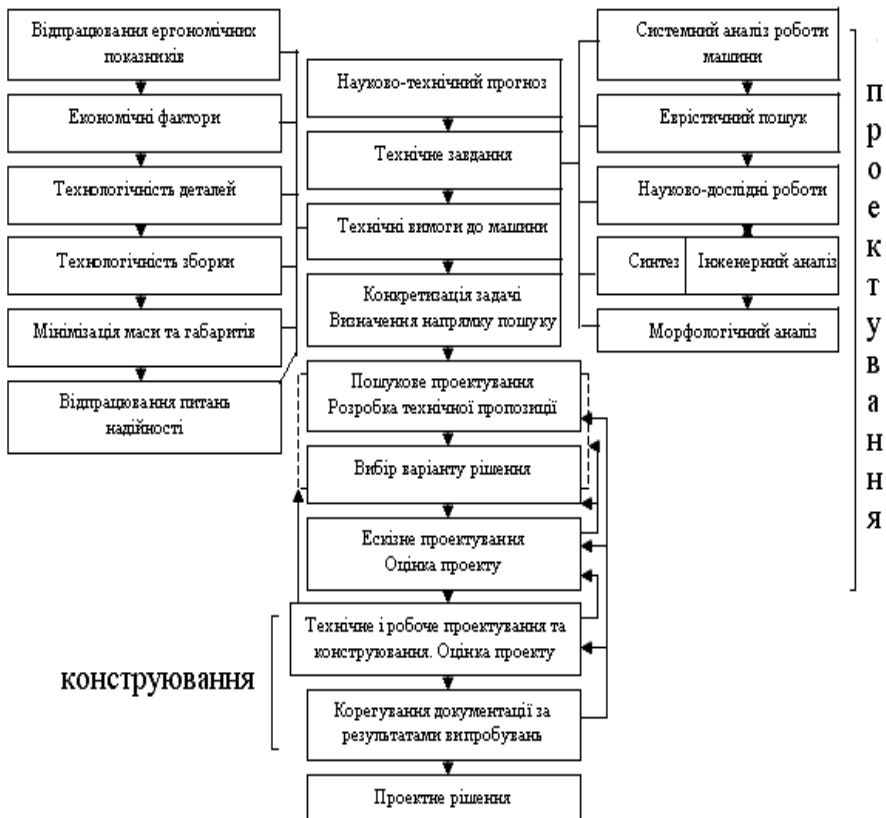


Рис. 2.4 – Алгоритм процесу проектування

В кожному конкретному випадку науково-технічне прогнозування тенденцій розвитку того або іншого виду машин випереджає розробку технічного завдання.

Ціль прогнозування - визначити із задовільною точністю головні напрямки майбутніх розробок. Аналіз результатів прогнозування й безпосередній конкретний досвід - основа розробки вимог технічного завдання.

Науково-технічний прогноз у машинобудуванні - це імовірна оцінка можливих шляхів досягнення кінцевої мети, тобто роз-

робка загальної концепції майбутньої машини, а також оцінка необхідних для цього ресурсів й організаційних заходів. Методи прогнозування тенденцій ґрунтуються на професійному «чутті», правильній оцінці можливостей виробництва й сировинної бази, правильному визначенні й урахуванні змін в аналогічних сферах, точності розрахунків, передбаченні перспектив розвитку даної галузі виробництва й т.д.

Всі ці якості вимагають глибоких і всебічних знань своєї спеціальності й уміння орієнтуватися в суміжних галузях.

Науково-технічні прогнози функціонально поділяються на: **дослідницькі, програмні й організаційні**. Ієрархічно нижній щабель при вирішенні таких завдань, як створення машини, займає дослідницький прогноз.

Саме ці прогнози використовуються для формування концепції майбутньої машини, оскільки вони ще й забезпечують можливість визначення параметрів машини, її функціональних характеристик, розмірів і т.д.

Дослідницький прогноз виходить із відомих тенденцій і закономірностей розвитку певного класу машин, накопиченого виробничого досвіду. На базі цього дослідницький прогноз формулює нові можливості систем і перспективи їхнього розвитку.

Програмне й організаційне прогнозування використовується при створенні складних багатокomпонентних структур.

Наприклад, прогнози перспектив розвитку швидкодії ЕОМ або збільшення їхньої пам'яті, систем керування екскаватора або вантажопідйомності баштових кранів - типово дослідницькі.

Прогноз, ранжуючий по осі часу ключові етапи розвитку земельної або підйомно-транспортної техніки, – програмний. Приклад організаційного прогнозу – визначення необхідної чисельності інженерно-технічних працівників для забезпечення роботи галузі на певний період.

Для проведення прогнозів використовується безліч методів, поєднаних у три класи:

1 – екстраполяції (розмірів, параметрів, функціональних характеристик і т.д.), що базуються на порівняльній незмінності тенденцій розвитку й полягають у знаходженні значень якої-небудь величини за рядом її інших значень;

2 – експертних оцінок, що полягають в анкетуванні думок і наступному відкиданні найбільш оптимістичних і найбільш песимістичних;

3 – історичні моделювання, що полягають у вивченні й аналізі історичних аналогів.

В результаті обґрунтованого науково-технічного прогнозу визначається генеральна лінія створення тієї або іншої машини, що має високі технічні властивості й конкурентноздатність на прогнозований період.

Після цього можна приступити до синтезу принципової схеми машини й визначення її основних робочих параметрів. При цьому обов'язково використовується принцип конструктивно-параметричної наступності, сутність якого полягає в тому, що при розробці враховується передовий досвід машинобудування, зокрема кращі аналоги будівельного, дорожнього та аварійно-рятувального машинобудування. Вибір параметрів також ґрунтується на найбільш прогресивних технологіях.

Конструкція машини повинна дозволяти регулювати її робочі параметри в певних раціональних межах. Цьому сприяють такі прийоми знаходження рішень, як проведення системного аналізу, використання морфологічного методу, евристичний пошук та ін.

Для виявлення раціональних конструктивних рішень відповідальних функціональних складових одиниць і доцільного діапазону параметрів проводиться морфологічне дослідження машин конкретного типу чи їхньої складової одиниці, складаються графіки (таблиці) зміни основних параметрів у часі.

Будуються графіки частоти використання конструкцій даного типу: приводу, ковша, робочого органу вібромашини і т.д. При цьому дослідження аналогів припускає не копіювання, а можливість використання найбільш прогресивних конструктивно-параметричних рішень, їхній розвиток відповідно до новизни поставленої мети.

Морфологічні дослідження (аналіз і синтез) - це побудова багатофакторної безлічі варіантів рішень і вибір найбільш прийнятнього з них. Можливий діапазон параметрів машини зводиться до морфологічної таблиці, виробляється «упорядкований погляд на речі».

Набір значень різних параметрів (по одному з рядка) являє собою можливий варіант рішення.

Після складання й аналізу морфологічної таблиці оцінюють всі наявні варіанти й вибирають найбільш прийнятний варіант.

Елементи системного аналізу, використовувані у процесі створення принципової схеми машини, дозволяють враховувати взаємозв'язки елементів машини, а також роботу машини в системі тех-

нологічної лінії - навколишнє середовище - оператор - постачання енергією й паливом (рис. 2.5).

Для генерування нових конструктивних рішень використовуються евристичні методи пошуку (мозковий штурм, трансформації, інверсії і т.ін.).

Мозковий штурм припускає реєстрацію ідей рішення конкретної задачі протягом приблизно півгодини від групи компетентних осіб (не фахівців з даного питання).

Ідеї, висловлені вголос, взаємно збагачуються й удосконалюються. Вони фіксуються, класифікуються за напрямками і розглядаються фахівцями.

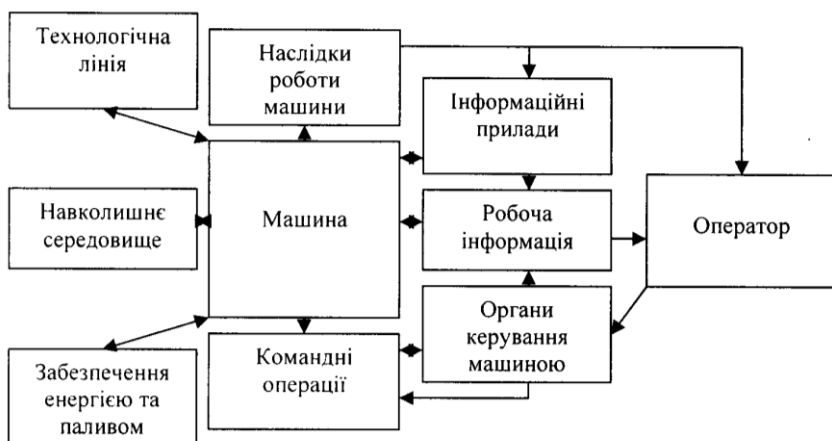


Рис. 2.5 – Взаємозв'язки в системі «оператор – машина – середовище»

Метод трансформації й інверсії полягає в оберненні функцій системи (машини) або її елементів.

При визначенні розрахункових навантажень на робочі елементи машини необхідно знати питомі сили опору, що виникають при реалізації робочого процесу (копання, перемішування, ущільнення і т.д.). Для цього проводяться спеціальні теоретичні й експериментальні науково-дослідні роботи, що дозволяють оцінити діючі навантаження.

Перерахований комплекс робіт (прогнозування, системний і морфологічний аналіз, евристичний пошук і дослідження діючих

опорів) покладений в основу розробки вимог технічного завдання, дозволяє вибрати варіант принципової схеми машини й приступити до її компонування, тобто безпосередньо до пошукового проектування й розробки технічної пропозиції. При цьому обробляються різні варіанти машини, що дозволяє більш чітко вибрати оптимальне рішення.

Результатом пошукового проектування може бути вдосконалена раніше відома модель або принципово новий варіант рішення. Остаточний вибір принципової схеми визначає всі основні властивості машини.

Для кількісної оцінки досконалості розроблюваних машин можна використовувати універсальні механічні критерії – питомі дії та їхні коефіцієнти.

Для обробки даних про механічні системи найбільш зручними є безрозмірні параметри, які, наприклад, представляють собою відношення витрат механічної енергії за певний час до мінімально можливих (або корисних) витрат.

При цьому конструкцію можна оцінити на різних рівнях пошукового конструювання:

- на вищому, де оцінюється найбільш ефективний принцип дії;
- на середньому, на якому оцінюється раціональність технічного рішення;
- на нижчому, коли вирішується завдання визначення оптимальних значень параметрів машин.

Розглянемо, наприклад, послідовність якісного аналізу процесу розробки формувальної машини для поверхневого послідовного віброформування плоских залізобетонних виробів. Приведемо тут лише наближені оцінки схем формування (рис. 2.6). Традиційною є схема формувального поста з використанням віброплощадки 1 і бетоноукладача 2 (рис. 2.6, а). Бетонна суміш подається бетоноукладачем 2 у форму 3, у якій вона ущільнюється за допомогою віброплощадки. Для одержання гладкої поверхні використовується або ручне загладжування, або привантаж 4. На бетоноукладачі можна встановлювати механізм загладжування.

Основні недоліки такої схеми: використання кількох машин; ручні операції з розрівнювання або загладжування; мала надійність віброплощадок через значну насиченість обертовими частинами; значна маса коливних частин і підвищений рівень шуму.

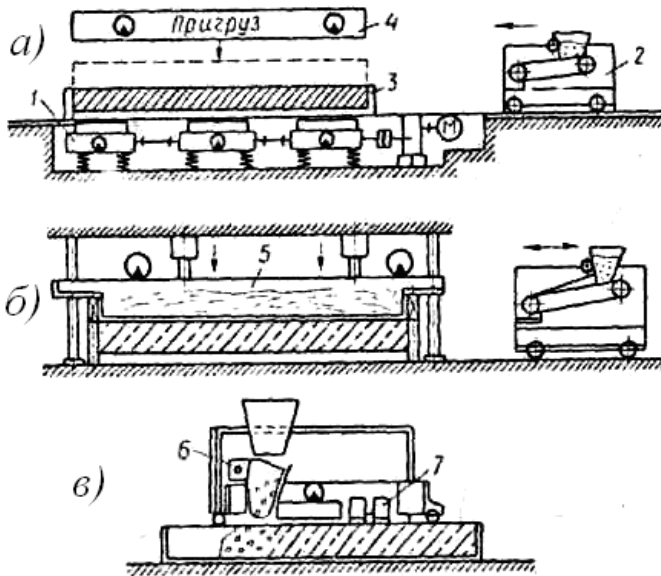


Рис. 2.6 – Використання методів інверсії й трансформації на прикладі розробки поверхневого бетоноформуючого агрегату

В результаті інверсії (обернення) розглянутої схеми було випробувано схему з використанням вібропресу 5 (рис. 2.6, б), тобто установкою робочого органу зверху. При цьому відпала необхідність у довантаженні, однак виникли більш високі вимоги до розкладки суміші.

Крім того, при ущільненні зверху потрібні були значні вертикальні сили, а поверхня виробу при цьому виходить неякісною через перешкоди виходу повітря у процесі ущільнення.

Разом з тим у практиці будівництва земляних споруджень, а також покриття доріг широко відомі переставні майданчикові віброущільнювачі й віброрейки.

На базі нової ідеї сполучення функцій бетоноукладача, вібростампу й віброрейки виникла принципово нова схема машини, що забезпечує в одному русі видачу бетонної суміші та її вібраційне ущільнення (рис. 2.6, в).

Машина, що працює за новою схемою, сполучає функції бетоноукладача, віброплощадки й привантажу. Вироби формуються за

один прохід. Зменшення габаритних розмірів віброуючого робочого органу значно підвищило його надійність, знизило рівень шуму й металосмість поста формування в цілому.

Надалі ця схема перетворилася (трансформувалася) в установку розподільного механізму 6, механізм загладжування 7, а також пристосування для більш інтенсивного витікання суміші з бункера.

В результаті стало можливим однією машиною забезпечувати всі необхідні технологічні операції з формування залізобетонних виробів.

2.3 Проектно-конструкторська документація

Залежно від стадії створення машини (проектування або конструювання), розроблювана технічна документація також поділяється на проектну й конструкторську.

Проектною документацією прийнято вважати технічну пропозицію, ескізний і технічний проекти, а конструкторською - робочий проект.

До проектно-конструкторських відносяться графічні й текстові документи, які окремо або в сукупності визначають склад і будову виробу й містять необхідні дані для його виготовлення, контролю, приймання, експлуатації й ремонту (креслення, специфікації, відомості, пояснювальні записки, технічні умови, програма й методика випробувань, таблиці, розрахунки).

Комплектність проектно-конструкторських документів визначено для різних етапів. Номенклатура документів, що випускають на конкретний виріб, встановлюється замовником.

Залежно від способу виконання креслень і характеру їхнього використання, їм привласнюються наступні найменування:

– **першотвір** – документ, виконаний на будь-якому матеріалі й призначений для виготовлення за ним оригіналу;

– **оригінал** – документ, оформлений справжніми підписами й виконаний на будь-якому матеріалі, що дозволяє багаторазове відтворення копій з нього;

– **дублікат** – копія оригіналу, що забезпечує ідентичність відтворення оригіналу, виконана на будь-якому матеріалі, що дозволяє зняття копій з неї;

– **копія** – документ, виконаний способом, що забезпечує його ідентичність із оригіналом (дублікатом), і призначений для безпосе-

реднього використання при розробці, у виробництві, при експлуатації й ремонті виробів.

Розроблювані вироби, їхнє визначення й структура регламентовані й поділяються на деталі, складові одиниці, комплекси й комплекти. При цьому деталями вважаються неспецифіковані (не мають складових частин) вироби, виготовлені з однорідного за найменуванням й маркою матеріалу (вали, литі корпуси, маховики, деталі з різними покриттями і т.ін.).

Складальні одиниці – це специфіковані вироби, що складаються із двох і більше частин, які підлягають складальним операціям, у тому числі зварюванню, обклеюванню і т.ін. (редуктор, зварена рама, армовані вироби і т.д.).

Складальні одиниці представляються у проектах складальними кресленнями.

Складальними є теоретичні, габаритні, електромонтажні й монтажні креслення.

До складальних одиниць відносяться також одиниці або деталі, що мають загальне функціональне призначення та встановлювані на більшій складальній одиниці (лебідка, що встановлюється на крані).

Комплекси - дві та більше складових одиниць, призначені для виконання взаємозалежних функцій, але такі, що не збираються на підприємстві–виробнику складальними операціями.

Комплекти – два та більше вироби, що представляють набір, який має загальне допоміжне експлуатаційне призначення (запчастини, інструмент і т.п.).

Серед використовуваних у робочій конструкторській документації виробів розрізняються також покупні, одержувані в готовому вигляді, і вироби, виготовлені в порядку кооперування на іншому підприємстві.

Види й комплектність проектно-конструкторських документів. На стадії розробки робочої документації, як для деталей, так і для складальних одиниць, комплексів і комплектів розробляються конструкторські графічні й текстові документи: креслення деталей, складальні креслення, загальні види, габаритні, теоретичні, монтажні креслення, специфікація, відомості і т.ін. Основні види проектно-конструкторських документів наведені у таблиці 2.1.

З усього набору конструкторських документів для різних виробів виділяється основний документ. Так, для деталі основним документом, що повністю визначає її, є креслення.

Таблиця 2.1 – Комплектність проектно-конструкторських документів

Шифр документа	Найменування документа	Технічна пропозиція	Проект		Робоча документація			
			Ескізний	Технічний	Деталі	Збір. одиниці	Комплекси	Комплекти
-	Креслення деталі	-	-	0	+	-	-	-
СК	Складальне креслення	-	-	-	-	+	-	-
В	Креслення загального вигляду	0	0	+	-	-	-	-
ТК	Теоретичне креслення	-	0	0	0	0	0	-
ГК	Габаритне креслення	0	0	0	0	0	0	-
ЕМ	Електромонтажне креслення	-	-	-	-	0	-	-
ПК	Пакувальне креслення	-	-	-	0	0	0	0
ВС	Відомість специфікації	-	-	-	-	0	0	0
ВПД	Відомість посилальних документів	-	0	0	-	0	0	0
ВПВ	Відомість покупних виробів	-	0	0	0	0	0	0
ВУ	Відомість узгодження застосування виробів	-	-	-	-	0	0	0
ВВ	Відомість власників оригіналів	+	-	-	-	-	-	-
ВТП	Відомість технічної пропозиції	-	+	-	-	-	-	-
ВЕП	Відомість ескізного проекту	-	-	+	-	-	-	-
ВТП	Відомість технічного проекту	-	-	+	-	-	-	-
ПЗ	Пояснювальна записка	+	+	+	-	-	-	-
ТУ	Технічні умови	-	-	0	0	0	0	0
ТБ	Таблиці	0	0	0	0	0	0	0
РР	Розрахунки	0	0	0	0	0	0	0
І	Інструкція	-	-	-	0	0	0	0
Д	Інші документи	0	0	0	0	0	0	0
ПФ	Патентний формуляр	0	0	0	0	0	0	-
КТ	Карта технічного рівня і якості	0	0	0	0	0	0	0

Для складальних одиниць, комплектів і комплексів основний документ - специфікація, що визначає склад складальної одиниці, комплексу або комплекту.

Специфікація складається на окремих листках на кожному складальну одиницю, комплекс або комплект за формами, встановленими стандартом.

Крім специфікації, текстовими документами є відомості, пояснювальна записка (ПЗ), програма й методика випробувань (ПМ), розрахунки (РР), таблиці (ТБ), технічні умови (ТУ), патентний формуляр (ПФ), експлуатаційні й ремонтні документи, а також карти технічного рівня й якості продукції (КТ).

Комплект відомостей проектно-конструкторської документації:

- відомість специфікацій (ВС) містить перелік всіх специфікацій складових частин виробу із зазначенням їхнього числа й приналежності;

- відомість посилальних документів (ВП) містить у собі перелік документів, на які є посилання в конструкторських документах виробу;

- відомість покупних виробів (ВП) містить перелік покупних виробів, застосовуваних у розроблюваному виробі.

Примітка: «+» - документ обов'язковий; «0» - складається залежно від характеру, призначення або умов виробництва виробів; «-» - документ не складають.

- відомість узгодження покупних виробів (ВУ) підтверджує узгодження з відповідними організаціями застосування покупних виробів у знов розроблюваній машині;

- відомість власників оригіналів (ВВ) містить перелік підприємств, на яких зберігаються оригінали документів, розроблених для даного виробу;

- відомість технічної пропозиції (ВТ) містить у собі перелік документів, що ввійшли до ескізного проекту;

- відомість технічного проекту (ВТП) - перелік документів, що ввійшли до технічного проекту.

Склад і зміст всіх типів відомостей, форми таблиць для них і правила заповнення регламентовані стандартами.

Пояснювальна записка містить:

- повний опис улаштування, принципу дії й технічну характеристику розроблюваної машини;

- техніко-економічне обґрунтування ухвалених рішень;

- розрахунки, що підтверджують працездатність і надійність конструкції;

– рівень нормалізації й уніфікації.

Залежно від особливостей розроблюваної машини, в пояснювальній записці допускається поєднувати або виключати деякі розділи або вводити нові.

При виконанні розрахунків слід наводити схему елемента, що розраховують, і вихідні дані для розрахунку.

Програма й методика випробувань містять технічні дані, які підлягають перевірці при випробуванні машин, а також порядок і методи контролю, в результаті чого встановлюється відповідність виробу кресленням, технічним вимогам і т.п.

Програма й методика випробувань допускають перевірку стабільності роботи машини, зручності її обслуговування й ремонту, комплектності й відповідності вимогам техніки безпеки.

Технічні умови містять у собі експлуатаційні показники машини й методи контролю її якості, технічні вимоги, правила приймання й контролю, вказівки щодо транспортування, зберігання, експлуатації й гарантії виробника.

Розробляються технічні умови за відсутності стандартів на даний вид виробу (машини).

Патентний формуляр містить відомості про патентну чистоту машини, а також про створені й використані при її розробці винаходи.

Для можливості вивчення машини, правил її експлуатації, транспортування і зберігання стандартами ЄСКД передбачено розробка експлуатаційних документів, які поставляються разом з машиною і повністю повинні їй відповідати.

Експлуатаційні документи розробляють у тих випадках, коли монтаж, використання й технічне обслуговування машин без таких документів не можливі.

До експлуатаційних документів відносять: технічний опис (ТО), інструкцію з експлуатації (І), інструкцію з технічного обслуговування (ІТО), інструкції з монтажу, пуску, регулювання й обкатування виробу (ОВ), формуляр для обліку технічного стану машини (ФО), паспорт (ПС), етикетки, в яких зібрані необхідні для експлуатації два-три основних показники (ЕТ), відомості запасних частин та інструментів (ВЗЧ).

На експлуатаційні документи складається своя відомість (ЕД). Для забезпечення проведення ремонтних робіт з відновлення машини на спеціалізованих заводах стандартами ЄСКД передбачається

розробка ремонтних документів, призначених для підготовки й проведення ремонту, а також контролю після нього.

Ремонтні документи розробляються для машин, ремонт яких технічно й економічно є доцільним, і складаються окремо на кожен вид ремонту: поточний (малий), середній і капітальний.

Основою для розробки ремонтних документів служать робоча конструкторська документація, експлуатаційні документи, технологічна документація, а також результати аналізу ремонтпридатності машини й вивчення несправностей при випробуваннях й експлуатації. У ремонтних документах передбачається максимально можлива номенклатура відновлюваних при ремонті частин машини.

Номенклатура ремонтних документів містить посібник з виду ремонту, технічні умови на проведення ремонту, ремонтні креслення й норми витрати запасних частин. Для обліку ремонтних документів складають відомість (ВР).

Ремонтні креслення призначені для ремонту деталей і складальних одиниць, зборки й контролю відремонтованої машини, а також для додаткових деталей, які потребують виготовлення, і деталей з ремонтними розмірами.

Конструкторська й технологічна документація, розроблена в повному обсязі, піддається метрологічній експертизі.

Метрологічна експертиза - це аналіз й оцінка технічних рішень на вибір параметрів, що підлягають виміру, встановленню норм точності, вибору методик і засобів вимірів у процесі виготовлення, випробування, експлуатації й ремонту машин.

При проведенні метрологічної експертизи контролюють:

- метрологічну термінологію;
- найменування й позначення фізичних величин та їхніх одиниць;
- оптимальність номенклатури вимірюваних параметрів, що визначають контроль якості;
- вірогідність отриманих результатів; можливість перевірки необхідних параметрів у процесі експлуатації машини (контролепридатність конструкції);
- можливість застосування уніфікованих, автоматизованих засобів вимірів, що забезпечують одержання заданої точності вимірів.

Завершує етап розробки всієї технічної документації **нормоконтроль**, мета якого - дотримання в розроблюваній документації вимог і норм, встановлених у стандартах, правильність виконання

конструкторських документів, досягнення в тій або іншій машині високого рівня стандартизації й уніфікації і т.п.

Підписані нормоконтролем документи вважаються завершеними й можуть корегуватися тільки з його відома.

Для оцінки якісних показників розробленої машини при визначенні доцільності подальшої розробки, постановки її на виробництво або модернізації складається **карта технічного рівня** й якості машини.

Ця карта складається із шести форм, які містять:

- загальні дані за розробленою машиною (призначення, галузь застосування, атестація якості та ін.);
- результати визначення рівня якості виробу, в порівнянні з аналогічною (базовою) машиною;
- дані про патентну чистоту виробу;
- плановану зміну показників якості;
- джерела інформації;
- висновки й пропозиції.

Перевірена й підписана відповідними особами технічна документація для виготовлення дослідного зразка виробу або для його освоєння на іншому підприємстві передається виробнику.

2.3.1 Система класифікацій та кодування промислової продукції

Для класифікації та кодування продукції машинобудування за конструкторськими і технологічними ознаками існують відповідні класифікатори (наприклад, ЄСКД).

Привласнене документу (виробу) позначення зберігається незалежно від того, в яких документах (виробах) воно згодом буде використовувати. Якщо документ виконується на декількох листах, його позначення повинно бути зазначене на кожному листі.

Деталям, на які не виконані креслення згідно стандарту, повинні бути привласнені самостійні позначення за загальними правилами.

Структура позначення виробу (машини) й основного конструкторського документа повинна бути наступною.

XXXX.	XXXXXX.	XXX.
Код організації розробника	Код класифікаційної характеристики	Порядковий реєстраційний номер

Чотиризначний літерний код – це код організації-розробника, який призначається за кодифікатором організацій-розробників на основі класифікатора підприємств, установ й організацій.

Шестизначний код – код класифікаційної характеристики, привласнюється виробу й конструкторському документу за класифікатором ЄСКД виробів і конструкторських документів машинобудування й приладобудування (перші два знаки визначають клас, наступні - підклас, групу, підгрупу й вид відповідно).

XX	X	X	X	X
клас	підклас	група	підгрупа	вид

Тризначний цифровий код - порядковий реєстраційний номер, привласнюється за класифікаційною характеристикою від 001 до 999 у межах коду організації-розробника або організації, що здійснює централізоване привласнення.

Позначення неосновного конструкторського документа складається з позначення машини й шифру документа, встановленого стандартами ЄСКД (наприклад: СК - складальне креслення; ПЗ - пояснювальна записка).

XXXX.XXXXXX.XXX.	XXXX
Позначення виробу	Код документа

В кодї документа повинно бути не більше чотирьох знаків, включаючи номер частини документа, наприклад:

- АВГБ.061341.021СБ - позначення складального креслення;
- АВГБ.031341.021ТУ1 - позначення технічних умов.

При груповому й базовому способах виконання конструкторських документів кожен виріб позначається самостійно, а кожне виконання має додатковий порядковий номер, що проставляється після базового позначення.

Приклад структури коду класифікаційної характеристики машини: 482164.

48	2	1	6	4
Клас устаткування	Підклас машини	Група	Підгрупа	Вид
підйомно-транспортне і вантажнорозвантажувальне	транспортуючі	конвеєри з тяговим елементом і пластинчасті	ескалатори й конвеєри пасажирські	конвеєри пасажирські стрічкові

Приклад структури коду класифікаційної характеристики деталі «вал шліцьовий».

40	6	4	2	5
Клас	Підклас	Група	Підгрупа	Вид
деталі загального машинобудівельного застосування - тіло обертання	вал зі шліцями на зовнішній поверхні в одному місці	з центральним глухим отвором з однієї сторони	з двосторонніми уступами на зовнішній поверхні	без зовнішньої різьби

Поряд із класифікацією за конструкторськими ознаками для вирішення завдань технологічної підготовки виробництва до виготовлення виробів найважливішу роль відіграє їхня технологічна класифікація, проведена на основі відповідного класифікатора.

Для технологічної класифікації використовуються ознаки, три з яких прийняті як основні: розмірна характеристика, група матеріалу, вид деталі за технологічним процесом. Для технологічного коду прийнято 14-значну структуру, приклад якої для деталі «вал шліцьовий» наведений далі.

Основні ознаки технологічної класифікації деталі 893824:

893	82	4
Розмірна характеристика, мм:	Група матеріалу	Вид деталі за технологічним процесом
найбільший зовнішній діаметр - 50; довжина - 280; діаметр центрального отвору - 12,5.	сталь вуглецева конструкційна (сталь 45 ГОСТ 1050-88)	деталь, оброблена різанням

Технологічна класифікація деталі, яка оброблена різанням: 3125402У.

31 - вид вихідної заготовки (пруток круглий некалібрований);

2 - квалітет точності розмірів зовнішніх поверхонь;

5 - квалітет точності внутрішніх поверхонь;

4 - шорсткість зовнішніх поверхонь;

0 - характеристика елементів зубчастого зачеплення (без елементів);

2 - характеристика термічної обробки (термообробка HRC 40..45);

У - масова характеристика (4,3 кг).

Для розглянутої деталі повний конструкторсько-технологічний код:

Код організації розробника	Код конструкторської класифікаційної характеристики	Порядковий реєстраційний номер	Код технологічної класифікаційної характеристики
xxxx	406425	004	893024.3125402У

2.3.2 Конструювання машин, складальних одиниць і деталей

Процес конструювання являє собою поелементне створення машини за її принциповою схемою.

Конструювання як органічна частина й логічний розвиток проектних рішень спрямоване на виконання вимог, сукупність яких забезпечує технічні й якісні показники машин:

- економічну доцільність створення;
- технологічність виготовлення деталей за заданого рівня їхньої уніфікації й стандартизації;
- мінімізацію маси й габаритних розмірів;
- жорсткість деталей;
- мінімальне зношування деталей внаслідок тертя;
- технологічність зборки (монтажу) складових частин;
- зручність і технологічність експлуатації й ремонту;
- безпеку при роботі й обслуговуванні;
- ергономічність;
- естетичність (дизайн).

На етапах розробки технічної пропозиції й ескізного проекту остаточно формулюються вимоги до машини і приймається найбільш раціональний проект її функціонально-структурної схеми.

Якщо уявити процес розробки проектно-конструкторської документації у вигляді системи блочно-ієрархічних рівнів, то розробка ескізного проекту завершує верхній рівень. Надалі вона йде вниз, тобто розглядаються завдання більш низьких рівнів конструювання.

Розробка технічної документації на верхньому рівні (попереднє й ескізне проектування) припускає в основному зовнішнє загальне компонування основних складальних одиниць і машини в цілому на базі заданої її функціонально-структурної схеми.

При розробці конструкції окремих складальних одиниць, деталей та їх елементів відпрацьовуються питання внутрішнього компонування.

При компонуванні необхідно йти від загального до часткового. Для цього потрібно чітко розмежовувати головні й другорядні вимоги, пропонувані до машини або до її частини. Такий підхід дозволяє встановити правильну послідовність розробки конструкції.

Будь-яка спроба розглядати відразу створення всієї конструкції, враховуючи і головні, і часткові питання, не дасть позитивного результату, тому що згодом, як правило, відбуваються які-небудь заміни, перестановки і т.ін.

Зовнішнє компонування передбачає відносне розташування складальних одиниць та їхніх приєднувальних елементів, оцінку взаємозалежності окремих складальних одиниць, тобто відпрацьовуються питання технічної естетики.

Найбільш зручно вести компонування в натуральних розмірах, якщо це дозволяють габарити проектованого виробу. При цьому початкове компонування оброблення ведеться таким чином, щоб будь-яке корегування не викликало особливих ускладнень.

Відповідно до вимог стандартів всі типові елементи конструкції при компонуванні зображуються спрощено. Найбільш важливим на стадії розрахунку й розробки принципової схеми є вибір параметрів машини в цілому, тому що незначні конструктивні помилки порівняно легко виправити.

Помилка ж в основних рішеннях виправленню не підлягає. Якщо зовнішнє компонування частин машини виконано відповідно до технічного завдання, то тим самим доведено технічну можливість його реалізації.

Дотримання численних вимог при зовнішньому і внутрішньому компонуванні машини дозволяє деякою мірою оптимізувати конструкцію в усіх напрямках. Можливості ЕОМ і САПР дозволяють досить оперативно знайти оптимум складних механічних систем з урахуванням їх функціонування і взаємодії з оточуючими системами.

При відборі варіантів компонування конструктор порівнює сумарні витрати на основний матеріал, виготовлення заготовок, їхню механічну обробку й транспортування.

Фактори, що враховують при компонуванні машини, і взаємозв'язок між ними показані на схемі (рис. 2.7).

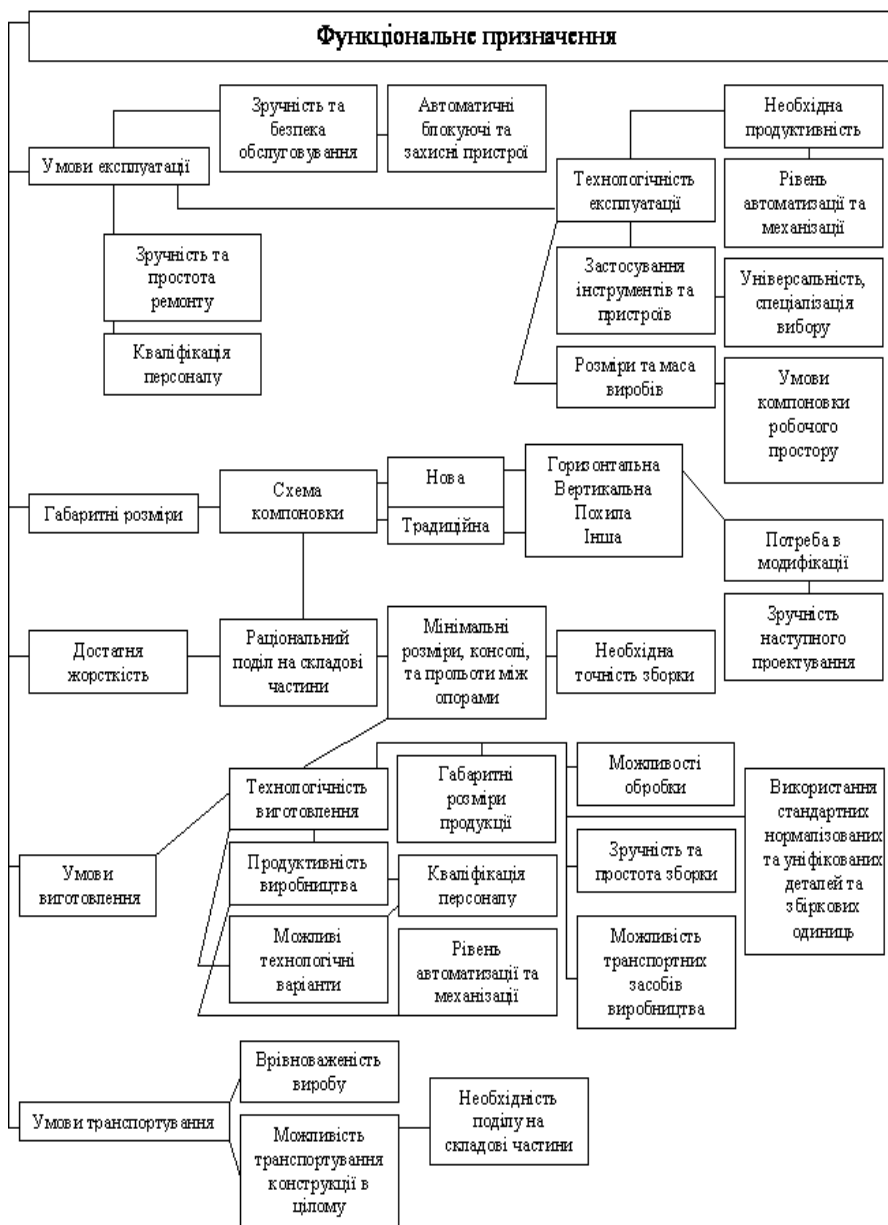


Рис. 2.7 – Фактори, що враховуються при компоновці машини

Таку схему доцільно розглядати для полегшення процесу загального компоунування і найбільш раціонального розділення конструкції на складальні одиниці.

Одна з вимог, яку потрібно враховувати при компоунуванні, - достатня жорсткість конструкції, що забезпечується мінімальними прольотами між опорами, зменшенням консолей, заміною згинальних навантажень - розтяганням або стисканням і т.ін.

На рис. 2.8, а показано випадок, коли зі зменшенням консоли радіальне навантаження, що діє в зачепленні, перенесене в зону між опорами. При цьому поліпшуються умови роботи підшипників і вузол стає більш компактним.

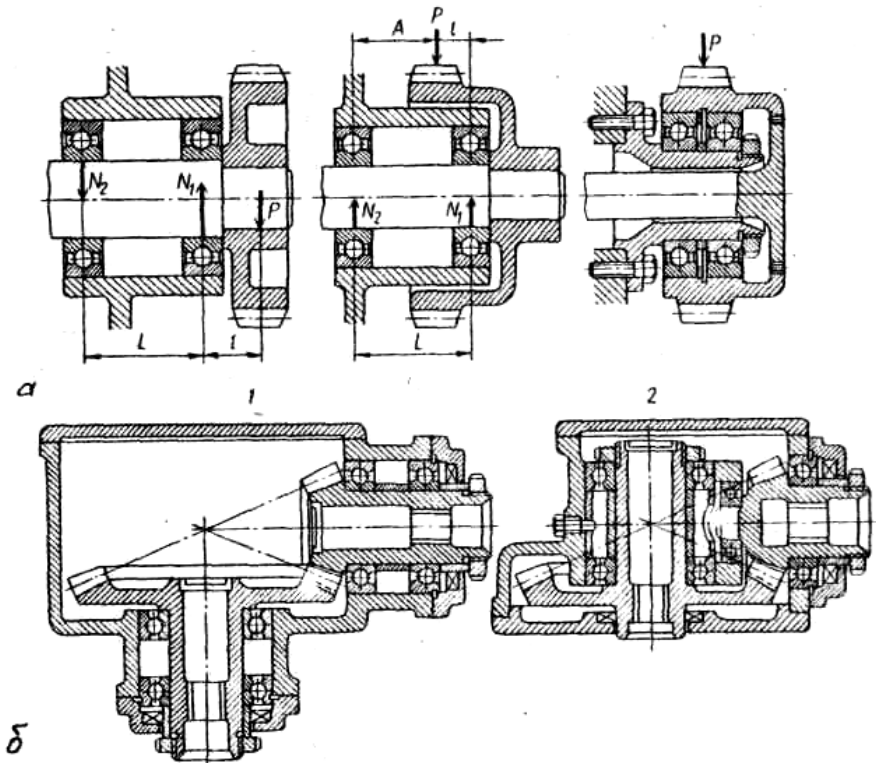


Рис. 2.8 – Компоновочні рішення збірних одиниць:

а) підшипниковий вузол; б) кінчнія редуктор

Збільшуються також жорсткість і компактність кінцевого редуктора рис. 2.8, б при переході від компоновочної схеми 1 до схеми 2. Створення другої схеми свідчить про ретельну розробку всіх елементів конструкції

Розглядаючи наведені приклади, бачимо, що зовнішнє компонування виробу, машини, механізму (або їхньої частини) пов'язане із внутрішнім компонуванням, тобто з безпосереднім створенням конструкції елементів, з яких складається згодом зовнішній вигляд виробу.

Раціонально скомпонована машина повинна мати мінімальні габаритні розміри при забезпеченні максимальних зручностей монтажу, демонтажу, експлуатації, а також відбивати відповідність форми її функціональному призначенню, тобто відповідати вимогам технічної естетики і дизайну.

Досягти найбільш вдалого поєднання цих вимог при роздільному зовнішньому і внутрішньому компонуванні неможливо. Тому конструктор проробляє машину паралельно за декількома проєкціями, розрізами і перетинами.

Одночасно проробляються найбільш важливі, з погляду загального компонування, складальні одиниці. Якщо треба, на стадії компонування можуть обговорюватись конструкції окремих деталей, що пов'язано вже із внутрішнім компонуванням.

При внутрішньому компонуванні вирішуються завдання пропорційності основних розмірів деталей. Цей процес обов'язково супроводжується орієнтовними розрахунками деталей на міцність і жорсткість. У процесі внутрішнього компонування складальної одиниці відпрацьовується зручність зборки і розбирання.

Для складних механічних конструкцій передбачаються спеціальні елементи, які роблять процеси зборки-розбирання зручними, а також зйомні кришки й стінки корпусу, які легко знімаються, розбірні корпуси підшипників і т.ін. Заповнення простору складальної одиниці не повинно бути «рихлим» (рис. 2.8).

Очевидно, що при переході від однієї компоновочної схеми до іншої змінюється конструкція окремих деталей. Отже, вирішуючи завдання внутрішнього компонування, необхідно проробляти технологічність конструкції не тільки складальної одиниці, але й окремих деталей, що й є процесом конструювання.

Забезпечення технологічності конструкції складальної одиниці (або деталі) дозволяє підвищити продуктивність праці й якість výro-

бу за зниження витрат часу й засобів на розробку, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, експлуатацію й ремонт.

Відповідно до цього конструкція як складальної одиниці в цілому, так і кожної деталі відпрацьовується на технологічність комплексно. Для складальної одиниці враховують взаємозалежність виробничої й експлуатаційної технологічності її складових частин і виробу, що включає в себе подану одиницю.

Складальна одиниця повинна розбиватися на раціональне число складових частин з урахуванням принципу агрегування. При цьому конструкція повинна забезпечити можливість компонування зі стандартних й уніфікованих частин.

Небажано застосовувати складне технологічне оснащення для зборки машини або її частин.

Конструкція і розташування з'єднань повинні передбачати можливість механізації та автоматизації процесу зборки, як при виготовленні, так і у процесі технічного обслуговування й ремонту.

У складових частинах, що мають масу більше 16 кг, передбачають конструктивні елементи для зручного використання вантажо-підійомних засобів.

Компонування складальної одиниці повинно забезпечувати загальну зборку без проміжного розбирання й повторних зборок складових частин.

До місць у машині, що вимагають контролю, регулювання або проведення підготовчих робіт, повинен бути забезпечений зручний доступ. Точність розташування складових частин і точність виготовлення повинні бути взаємозалежними.

Місце зборки вибирається на підставі розрахунку й аналізу розмірних ланцюгів.

В результаті цього в конструкції повинні передбачатися пристрої, що забезпечують задану точність відносного розташування її складових частин (комплектуючих, фіксуючих, центруючих і т.ін.).

Такі елементи дозволяють конструкторові розширити межі допусків на частину елементів деталей, що, у свою чергу, знижує технологічну точність їхнього виготовлення. Розмірні ланцюги складаються з ланок-розмірів: вихідного (замикаючого) і складових.

Вихідний - це розмір, до якого пред'являється основна вимога точності. Зміна вихідного розміру визначається відхиленнями складових розмірів. Розмірні ланцюги прийнято зображати у вигляді

схем, де окремі ланки-розміри так само, як і на кресленнях, показують розмірною лінією із двома стрілками на кінцях (рис. 2.9).

Кожен розмірний ланцюг позначається буквою.

Ланки ланцюга виділяються цифровими індексами, а вихідні розміри – індексами Σ (наприклад, розмірний ланцюг A : A_{Σ} - вихідні розміри; A_1, A_2 і т.д. - складові ланки).

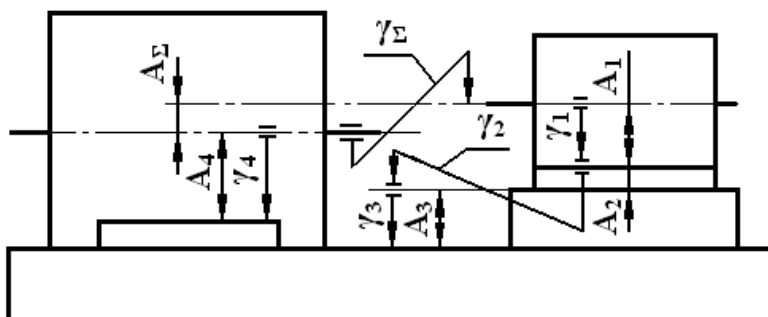


Рис. 2.9 – Розмірні ланки радіального та кутового відхилень валів збірної одиниці електродвигун – редуктор

Позначення індексів зростають при русі розмірного ланцюга за ходом годинникової стрілки.

Виявлення розмірного ланцюга починається з визначення вихідного розміру, який і проставляють на кресленні.

Необхідна норма точності визначається відповідним стандартом або розрахунковим (дослідним) шляхом.

При цьому введення компенсуючих елементів дозволяє забезпечити необхідну точність за меншої точності виготовлення окремих ланок, що входять до загального розмірного ланцюга.

Компенсатор повинен бути простим за конструкцією, надійним, легко регульованим. Як компенсатори можуть використовуватись прокладки, пружні елементи, різьбові, конусні й клинові деталі, зубчасті й шліцьові муфти, кардани і т. ін.

Для простих дволанкових ланцюгів використовується метод селективної зборки. Він полягає в розбивці широкого поля допуску на частини та наступному селективному відборі деталей за групами відповідно до фактичного розміру. Селективний метод зборки характерний для масового й крупносерійного виробництва.

Як приклад розглянемо багатоланковий розмірний ланцюг, що характеризує відносне осьове розташування редуктора й електродвигуна, і ланцюг, що координує вхідний вал відносно осі кріпильного отвору редуктора (рис. 2.10).

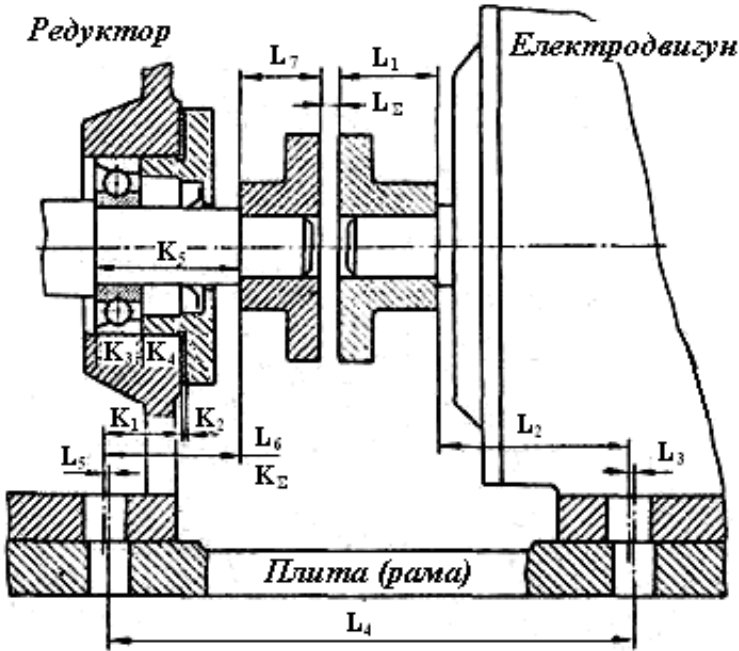


Рис. 2.10 – Структура розмірної ланки осьового розташування валів електродвигуна і редуктора

Аналізуючи наведені розмірні ланцюги, відзначимо, що для забезпечення заданої точності вихідних розмірів L_2 і K_2 служать компенсатори відповідно K_2 й L_1 (або L_7). При цьому стандартами встановлено точність розміру L_2 відстані від осі кріпильного отвору до упорного торця вала електродвигуна й аналогічного розміру в редукторі L_6 . Разом з тим, мабуть, $K_2=L_6$. Це свідчить про нерозривний взаємозв'язок зовнішнього і внутрішнього компонувань.

Наявність компенсаторів дозволяє значно підвищити допуски розмірів. Наприклад, розповсюджений механізм газорозподілу двигуна внутрішнього згоряння має розмірний ланцюг з десяти ланок.

Замикаючою ланкою служить гвинтовий компенсатор регулювання теплового зазору, величина якого повинна дорівнювати 0,1 мм.

Допуски на ланки механізму коливаються в широких межах. За відсутності компенсатора допуски на кожну ланку в середньому могли б перевищувати значення, що дорівнює одній десятій теплового зазору, тобто 0,01 мм.

Загальні вимоги до конструкції деталей. Аналіз розмірних ланцюгів дозволяє забезпечити задану точність зборки, тобто реалізувати процес створення машини, будучи невід'ємною частиною конструювання.

Очевидно, що аналіз розмірних ланцюгів можливий лише після технологічного відпрацювання конструкції деталей (одержання їхніх остаточних розмірів і конфігурацій).

Технологічність конструкції деталі повинна відпрацьовуватися комплексно з урахуванням технологічності вихідної заготовки, кожного виду обробки в процесі обробки заготовки, а також технологічності складальної одиниці, до якої входить дана деталь. В конструкції деталі слід передбачати тільки стандартні й уніфіковані конструктивні елементи.

Розміри всіх елементів деталі повинні вибиратися (або округлятися) до значень, що знаходяться в рядах переважних чисел. Конструкція деталі повинна бути такою, щоб забезпечувалося її виготовлення зі стандартних й уніфікованих заготовок.

Точність розмірів, шорсткість поверхонь, обраний матеріал деталі й вид його обробки повинні бути економічно й конструктивно обґрунтованими. При цьому заготовку для розроблюваної деталі повинна слід отримувати раціональним способом з урахуванням типу виробництва й обсягу випуску.

Якщо деталь входить до складу якого-небудь виробу, вимоги до неї повинні відповідати загальним вимогам, пропонованим до виробу.

Використані в машинобудуванні деталі можна класифікувати за різними критеріями.

Залежно від цього до них пред'являються різні вимоги:

– за типовими конструктивними ознаками елементів (деталі типу тіл обертання - циліндри, вали, осі, пальці; деталі типу дисків - маховики, шестерні, колеса, шків, зірочки);

– за способом одержання заготовок деталей (лиття, кування, штампування, зварювання, комбіновані і т.ін.);

– за функціональним призначенням (для передачі крутного моменту, з'єднання, корпусні деталі, рами, плити).

Кожна деталь машини, що несе яке-небудь навантаження в машині, у процесі конструювання проходить наступний шлях:

– створюється розрахункова схема і визначаються діючі навантаження;

– визначаються розміри небезпечних перерізів і призначається матеріал деталі;

– розробляється конструкція деталі.

Розробка конструкції деталі містить у собі: вибір найбільш раціонального методу виготовлення деталі і заготовки для даної деталі, забезпечення технологічності заготовки та деталі на стадії їхнього виготовлення, а також експлуатаційної й ремонтної технологічності деталі.

При створенні й відпрацьовуванні елементів деталі слід прагнути до спрощення її конструкції. Чим простіше деталь, тим дешевше її виготовлення, вище якість і продуктивність праці.

Виконання вимог за повною (або частковою) уніфікацією деталей призводить до зменшення номенклатури деталей, що випускаються, дозволяє використати більш продуктивне устаткування і технологічне оснащення.

Таким чином, розроблена конструкція деталі повинна за заданих умов забезпечувати задану надійність за мінімальних витрат праці й засобів на її виготовлення і на технологічну підготовку виробництва.

Вибір раціонального методу виготовлення деталі. Для конструктора процес розробки конструкції й одержання деталі нерозривно пов'язаний з найбільш прийнятним методом одержання заготовки для цієї деталі. Його завдання при цьому полягає в тому, щоб максимально ідентифікувати деталлю конструкцію заготовки.

З курсу «Матеріалознавство й технологія матеріалів» відомі найпоширеніші в машинобудуванні типи заготовок, що одержали свою назву від відповідних технологічних процесів: вилівка, кування, зварені заготовки, штампування, зварно-литі, зварно-куті й спечені заготовки і т.д.

Кожний з типів заготовок має свої переваги й повинен вибиратися, виходячи з техніко-економічних показників. Правильний вибір методу виготовлення деталі дозволяє успішно задовольняти суперечливим вимогам функціонального й технологічного характеру.

При розгляді варіантів конструкції деталі необхідно провести ретельний техніко-економічний аналіз і зупинитися на найбільш раціональному з них.

Переважає більшість деталей, одержуваних з різних заготовок (литих, кутих, штампованих та ін.), на остаточній стадії обробки проходить механічну обробку різанням, після якої вони набувають остаточної форми, розмірів і якості поверхонь. Механічна обробка навіть самого найпростішого елемента деталі пов'язана з витратами часу і засобів.

В сучасному машинобудуванні, де ці процеси становлять до 30...35% загальної трудомісткості виготовлення машин, відпрацьовування конструктивної технологічності деталей має першорядне значення.

На технологічність конструкції деталей, оброблених різанням, впливають як технічні фактори (оброблюваність різанням, форма й розміри деталі, вимоги точності й шорсткості поверхні), так і організаційні (серійність виробництва).

Так, в одиничному й дрібносерійному виробництві кожна операція може вимагати (і це припустимо) зміни взаємного положення оброблюваної деталі й інструмента, заміни інструмента, перекладу деталі на інший верстат і т.ін. У серійному й масовому виробництві (темп роботи вимагає мінімальних витрат часу і переналагоджень) для виконання якої-небудь операції може знадобитися спеціальний верстат або ускладнення агрегатного верстата.

З огляду на це механічну обробку слід призначати тільки в тих випадках, коли вона дійсно необхідна з конструктивних, технологічних або інших міркувань. Так, механічну обробку призначають на всіх посадкових й опорних поверхнях.

Виключення становлять лише нерухомі поверхні або такі, що переміщуються з незначними швидкостями, до чистоти й якості яких пред'являються знижені вимоги (наприклад, робочі поверхні зубів литих коліс і зірочок, поверхні литих і кованих тягових ланцюгів, невідповідальні поверхні деталей з прокату).

Вільні поверхні механічно обробляють у таких випадках:

- за неможливості або недоцільності одержання потрібних поверхонь заготовчими операціями;
- при виготовленні деталей із сортового прокату, литих і кутих болванок;

– коли необхідний зазор між рухомою й нерухомою деталями не може бути гарантований без механічної обробки внаслідок можливих значних відхилень поверхонь від заданих положень;

– для усунення невірноваженості (дисбалансу) обертових деталей;

– для забезпечення точної маси деталі;

– для створення бази для наступних операцій.

У всіх випадках механічна обробка повинна враховувати вищезазначені фактори.

Можливість оброблення різанням – здатність матеріалу деталі піддаватися обробці різальним інструментом, що залежить безпосередньо від хімічного складу, механічних властивостей і структури матеріалу.

З погляду технологічності конструкції можливість оброблення різанням характеризується швидкістю різання, за якої доцільно обробляти даний матеріал для одержання необхідної шорсткості поверхні.

Наприклад, для сталей доцільні швидкості характеризуються коефіцієнтом K_v , що виражає відносну швидкість різання, яка відповідає 60-хвилинній стійкості різця й визначену порівнянням з еталонною сталлю. За еталон прийнято сталь 45 ($\sigma_s = 650 \text{ МПа}$, $HB \leq 179$).

Для сталей з високою й доброю оброблюваністю $K_v = 1,0 \dots 2,1$, зі зниженою і важкою - $0,5 \dots 0,8$. Зі збільшенням вмісту вуглецю можливість оброблення сталей різанням погіршується, а вміст $0,08 \dots 0,2\%$ сірки поліпшує цю можливість.

Оброблення чавунів різанням знижене в порівнянні зі сталлю. У чавунах визначальний вплив на оброблення має твердість. При їхній обробці спостерігається підвищене зношування різального інструменту.

Сплави кольорових металів в основному мають добру оброблюваність різанням.

Форми й розміри деталі впливають на такі критерії технологічності конструкції, як трудомісткість, точність і стабільність одержання геометричних розмірів і шорсткості поверхні.

Трудомісткість механічної обробки тим вище, чим більше поверхонь піддають обробці, чим складніше їхня конфігурація й вище вимоги за точністю й шорсткістю.

Конструкція оброблюваних деталей, як правило, визначається їхнім функціональним призначенням, і, крім того, повинна задовольняти експлуатаційним вимогам і вимогам їхнього виробництва, що залежить від обсягу випуску.

За своїм функціональним призначенням основні деталі в машинах можна поділити на наступні типи:

- корпусні (корпуси редукторів, підшипників, коробок передач і т.ін.);
- зубчасті, черв'ячні й гвинтові колеса, шківів;
- вали, осі;
- втулки, диски, кільця;
- пружини, ресори, пружнометалічні опори;
- важелі, шатуни, кронштейни, серги, вилки;
- з'єднання (шліцові, шпонкові, штифтові і т.ін.);
- напрямні (ковзання й кочення);
- метало–віконні конструкції;
- рами й плити.

У курсі деталей машин викладені часткові вимоги до конструкції всіх перерахованих типів деталей, правила їхнього конструювання й оформлення, що відповідає конструкторській документації.

Як вироби, які піддають обробці різанням, всі перераховані деталі повинні відповідати загальним технологічним вимогам:

- у конструкціях деталей слід максимально використовувати уніфіковані елементи (різьблення, модулі, шліци і т.ін.). Уніфікація елементів деталей та їхніх розмірів створює передумови для уніфікації використовуваних різальних і мірального інструментів, а також необхідних засобів обслуговування при експлуатації й ремонті;

- необхідно передбачати якомога більшу кількість поверхонь без наступної механічної обробки. Оброблювані поверхні повинні мати мінімальні розміри і припуски;

- не слід завищувати якості, за якими виготовляється деталь, і чистоту обробки поверхонь, тому що це призводить до значного зростання собівартості деталі; конструкція деталі повинна забезпечувати нормальні вхід і вихід різального інструменту;

- слід враховувати, що точність і стабільність обробки значною мірою визначаються простотою конструктивних форм деталі, надійністю й жорсткістю кріплення деталі під обробку, жорсткістю конструкції самої деталі, сполученням конструкторських, технологічних і вимірвальних баз.

Весь комплекс перерахованих вимог не завжди вдається реалізувати повністю, але там, де без шкоди для експлуатаційних властивостей машини вони є припустимими, їх слід максимально забезпечувати.

Значна частина деталей у процесі виготовлення на різних стадіях підлягає додатковій обробці. Це пов'язано зі зростаючою інтенсивністю навантаження машин й одночасною вимогою зменшення маси, а також з підвищенням довговічності їхньої експлуатації.

Найпоширенішими є термічний, хіміко-термічний, механічний й термомеханічний види обробки. Використання якого-небудь із них сприяє значному підвищенню відповідних механічних властивостей матеріалу деталей.

Крім того, можна диференціювати вимоги до механічних властивостей сталі для різних ділянок і поверхонь однієї й тієї ж деталі і навіть того самого елемента. При цьому механічні властивості обраного матеріалу приймають із урахуванням впливу призначеного виду обробки.

Загальні вимоги, пропоновані до деталей, що підлягають зміцненню:

- призначений спосіб обробки повинен відповідати хімічному складу й технологічним властивостям матеріалу, обраного для даної деталі;

- габаритні розміри деталей повинні погоджуватись з можливостями устаткування, призначеного для проведення того або іншого виду обробки;

- конструкція деталей, що піддають термообробці, не повинна містити різких переходів між окремими елементами, щоб уникнути тріщин і жолоблення;

- дрібні й прості за формою деталі менш схильні до жолоблення, ніж довгі зі змінним перетином і незамкнутим контуром. Більш складні за формою деталі більш технологічно виготовляти з легованих сталей, які гартують ізотермічно або в мастилі;

- за необхідності слід передбачати технологічні припуски (за узгодженням з термістом), видалення яких згодом дозволить виправити розміри й форму деталі;

- необхідно враховувати, що вартість термічного, хіміко-термічного та іншого видів обробки зростає зі збільшенням глибини шарування, тому цей розмір повинен бути мінімальним за умови надійності експлуатації.

Обробка деталей пластичним деформуванням поверхні значно підвищує їхню здатність витримувати зовнішні навантаження.

Найпоширенішими методами пластичного деформування є: струменевий (пневматичний, гідравлічний, механічний), обкатування роликками, алмазне вигладжування, вібраційний.

Струменеві методи, застосовувані для плоских поверхонь, дозволяють підвищити границі витривалості від 15 до 40% залежно від матеріалу й шорсткості поверхонь заготівлі. Ефективність зміцнення збільшується зі зростанням вихідної шорсткості деталей. Слід враховувати, що температура деталі при обробці струйно-пневматичним методом може підвищуватися до 500...600 °С.

Шорсткість перед струминним зміцненням повинна бути не нижче $R_z = 20$ мкм. Радіуси переходів у деталі повинні бути більшими за половину діаметра дробу, застосовуваного як робоче тіло.

Методи обкатування застосовують для деталей тіл обертання (вали, осі, цапфи і т.ін.), а також для плоских поверхонь і пазів. Вихідна шорсткість поверхонь, що обкатують, не більше $R_z = 2,5$ мкм, а тих, що розгортають, – $R_z = 2$ мкм. Для операцій обкатування встановлюють відповідні припуски, оскільки процес супроводжується зміною розмірів деталей.

Вимоги до конструкції, що виникають при зборці. Коли процеси виготовлення окремих деталей і нероз'ємних одиниць завершено, проведено всі операції обробки деталей, настає найбільш складний і відповідальний етап створення машини - її зборка та монтаж.

Трудомісткість складально-монтажних операцій, залежно від складності машин, рівня механізації складальних операцій і конструктивної досконалості створюваної машини, може становити 20...70 % її вартості.

При створенні конструкції вимоги, які диктуються зборкою, слід враховувати якомога повніше, що дозволить досягти тих параметрів якості, які визначені проектно-конструкторською документацією.

Умови високопродуктивної й якісної зборки забезпечуються:

- повною взаємозамінністю деталей і вузлів;
- мінімальною кількістю деталей кожної складальної одиниці, що досягається найбільш простою і раціональною її схемою;
- зручним підходом монтажного інструмента й максимальним використанням засобів механізації та автоматизації зборки;

– незалежною і паралельною зборкою окремих складальних одиниць і забезпеченням агрегатного (модульного) способу зборки.

Зборка з повною взаємозамінністю є економічно доцільною в масовому й серійному виробництвах. Повна взаємозамінність вимагає високої точності виготовлення деталей, що значно підвищує їхню собівартість.

Тому в машинобудуванні використовують **зборку з неповною взаємозамінністю**, до якої відносять:

– селективну зборку, для реалізації якої деталі виготовляють із розширеними допусками, а перед зборкою сортують за заздалегідь встановленими градаціями розмірів;

– зборку з регулюванням, для реалізації якої в механізмі передбачається регулюючий елемент – компенсатор;

– зборку із прогоном, для реалізації якої передбачають зміну розміру замикаючої ланки в розмірному ланцюзі.

Незалежна й паралельна зборка окремих складальних одиниць досягається раціональним членуванням виробу на самостійні складальні одиниці. При цьому загальний час виготовлення різко скорочується.

Найбільш раціональний варіант конструкції - складальна одиниця, що відповідає одночасно умовам незалежної зборки й функціонального призначення.

Така складальна одиниця називається **конструктивно-технологічною**, а принцип конструювання машин з таких одиниць - **агрегатним (модульним) або блоковим** (рис. 2.11). Машини, спроектовані за модульним принципом, завжди мають більш високі техніко-економічні показники, як при виготовленні, так і в експлуатації та ремонті.

До конструктивно-технологічних одиниць можна віднести коробки передач, насоси, клапани і т.ін.

Ступінь диференціації конструкції машини за вимогами зборки може бути оцінений співвідношенням:

$$A = \frac{N_q}{N_{c.e}}$$

де N_q - число деталей у виробі;

$N_{c.e}$ - число складальних одиниць, що поєднують ці деталі.

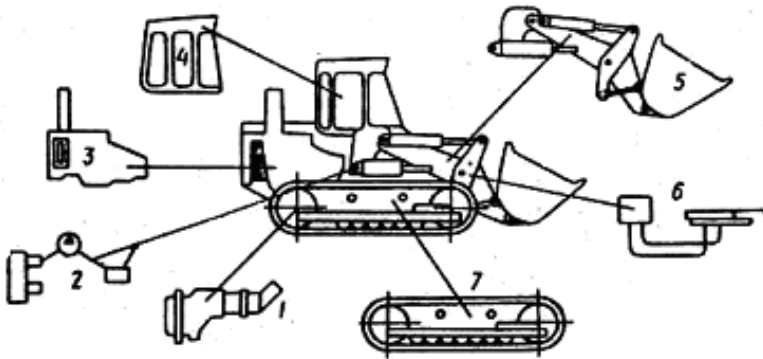


Рис. 2.11 – Модульна конструкція фронтального завантажника:

1 – бортовий привід; 2 – редуктор з гідросистемою; 3 – двигун; 4 – кабіна; 5 – робоче обладнання; 6 – система автоматики; 7 – ходова гусенична частина

Під терміном «експлуатація машини» розуміють час життєвого циклу, протягом якого реалізуються, підтримуються й відновлюються її якісні показники.

До процесу експлуатації відносять і підготовку до використання, транспортування, зберігання, а також технічне обслуговування та ремонт.

Тому, з погляду експлуатаційної технологічності, найбільш раціональною вважається така конструкція, що за заданої надійності в процесі експлуатації має мінімум відмов і вимагає мінімальних витрат на обслуговування й ремонт.

Експлуатаційна технологічність конструкції характеризується такими основними показниками надійності: безвідмовністю, довговічністю, ремонтопридатністю і схоронністю.

Безвідмовність – властивість зберігати працездатний стан протягом деякого часу або наробітку.

Довговічність – це властивість виробу зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Ремонтопридатність – властивість, що полягає в пристосованості до підтримання й відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування і ремонту.

Схоронність - властивість виробу зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції протягом і після зберігання та (або) транспортування.

Ці властивості є взаємозалежними на всіх етапах створення машини і ставляться в процесі відпрацьовування як принципової функціонально-структурної схеми машини, так і при безпосередньому конструюванні якої-небудь деталі або складальної одиниці.

Причиною відмов і зниження довговічності можуть бути дефекти, допущені при конструюванні, виробництві й ремонті, а також при порушенні правил експлуатації.

Експлуатаційна технологічність машини визначається властивостями, які показують, наскільки конструкція пристосована до виконання окремих операцій.

До них відносять: доступність, легкоз'ємність, взаємозамінність, трудомісткість в обслуговуванні й ремонті, технологічну складність і наступність (стосовно до процесів обслуговування й ремонту), монтажепридатність.

Оскільки області прояву цих властивостей є різними, різним є і ступінь їхнього впливу на експлуатаційну технологічність.

Наприклад, доступність, технологічна складність і наступність проявляються в процесі експлуатації, а взаємозамінність - при технічному обслуговуванні та ремонтах.

У теорії експлуатації машин розроблені критерії оцінки зазначених властивостей і виявлені області їхнього прояву, що дозволяє в результаті робити комплексну оцінку технологічності конструкції машини.

Ремонтна технологічність машини - це відпрацьовування на всіх етапах конструкції окремих складових частин. Показники ремонтної технологічності конструкції машини визначаються, виходячи з методу проведення ремонту.

Так, ремонтна технологічність при планових середніх і капітальних ремонтах, виконуваних методом заміни, - це властивість, що забезпечує пристосованість машини до виконання операцій оцінки технічного стану, розбирання, дефектації, зборки, регулювання і прийнятно-здавальних випробувань.

Для ремонтів, проведених методом відновлення, це ще й пристосованість до виконання операцій відновлення деталей і складаль-

них одиниць. Виявлення цієї властивості безпосередньо пов'язане із правильним вибором конструкції деталей, призначенням матеріалу, можливістю доступу інструмента до зношеної поверхні, схоронністю демонтажних і монтажних баз і т.ін.

В процесі ремонту проводяться наступні роботи: оцінка технічного стану, розбирання, дефектація, відновлення, зборка, регулювання, приймально-здавальні випробування.

Властивості ремонтної технологічності конструкції проявляються по-різному на різних етапах ремонтних робіт, й їхній вплив на оцінку технологічності є різним.

Розглянуті питання створення конструкції і прояви її властивостей на різних етапах комплексно характеризують технологічність машини.

Велика кількість факторів, що впливають одночасно, - показників технологічності конструкції - ускладнюють вибір раціонального варіанта конструкції.

2.3.3 Основи конструювання машин

Конструювання – це логічний розумовий процес, який не виключає, однак, елементів інтуїції або «прозріння».

Основна задача конструювання – це розробка (проектування або конструювання) технічних об'єктів, пов'язаних з виробничою необхідністю та побутовими потребами людини.

Конструювання – це процес, що спрямований від абстрактно сформованого завдання А (основного принципу) через функціонуючі елементи (ФЕ) або існуючі технічні рішення (елементи рішень) до бажаного результату (робочих принципів), або конструкторської документації (КД).

Таким чином, конструювання спрямоване від сутності задачі до явища, яке бажано одержати або викликати.

Основи структури конструювання як процесу – це зв'язок між технічним завданням (ТЗ) і найкращим його варіантом (рішенням). Найкращі варіанти або рішення не мають характеру непорушних законів для відповідних робочих етапів конструювання.

Конструювання починається з технічного завдання, в якому в явній або неявній формі закладено основний принцип та необхідні і достатні дані для всіх можливих рішень на наступних етапах процесу.

Кожне окреме рішення є комбінацією функціонуючих елементів і характеризується певною дією. Безумовно, кожне рішення може

мати відповідні недоліки (помилки), число яких необхідно і можливо мінімізувати. Технічне рішення із мінімальним числом недоліків є оптимальним.

Основні етапи конструювання визначають директивну (єдино можливою) послідовність дій при конструюванні об'єктів, в якій необхідність мінімізації недоліків або помилок робить необхідними і припустимими відповідні повторення та повернення.

Звідси випливають основні етапи конструювання як процесу:

I. Проаналізувати технічне завдання (ТЗ) та сформулювати основний принцип.

II. Виявити технічні рішення (ТР), доцільні комбінації яких дають усі можливі розв'язки задачі (робочі принципи), тобто створити розумовий образ об'єкта.

III. Знайти недоліки, що містяться в кожному рішенні, і вжити заходів до зменшення наслідків їхньої кількості (помилки повинні бути виключені цілком) або їхньої дії (поліпшені робочі принципи). За необхідності треба виконати уявні експерименти, перестановку і заміну елементів об'єкта, провести оцінку ефективності змін та їхнього впливу на кінцевий результат. При недостатньому досвіді конструювання треба виконати ескізний варіант.

IV. Виготовити конструкторську документацію (КД) для практичної реалізації об'єкта або, як мінімум, робочі креслення.

Слід підкреслити, що ефективність застосування методики або методик конструювання багато в чому залежить як від звичайної здатності до мислення, так і від ряду певних якостей (у т.ч. і професійних) особистості конструктора.

Необхідна якість особистості конструктора – це образне мислення, яке керується діалектичною логікою і має системний підхід та творчу уяву.

Ця якість зміцнюється у конструктора з часом і розвивається в процесі діяльності при впливі трьох чинників, а саме: освіти або самоосвіти (виховання), аналізу й оцінки.

На сьогодні в галузі інженерії (інженерна діяльність) найбільш дефіцитною (престижною) категорією інженерів є системотехнік (або «універсаліст») – інженер широкого профілю, задачами якого є – організація і керування інженерною діяльністю та створення складних технічних систем.

Перший етап процесу конструювання (аналіз технічного завдання) проводиться на підставі вимог до об'єкта конструювання та загальних правил конструювання.

Основні вимоги до об'єкта повинні забезпечувати відповідність конструкції своєму призначенню і конкретним умовам його застосування, висока продуктивність та якість, надійність і ремонтоздатність.

Результатом виконання цих вимог є забезпечення призначеного гарантійного ресурсу, зручність застосування, функціональні властивості, необхідні для виконання потрібних операцій (спеціалізація або універсальність), відповідність конструкції об'єкта умовам виготовлення його конкретними технологічними способами (лиття, штампування, зварювання і таке інше), на конкретному виробництві (одиничне, серійне, масове) та в конкретній кількості (один, серія, багато).

Підготовка виробництва, виготовлення й експлуатація об'єкта, у свою чергу, відбуваються в конкретних виробничих і експлуатаційних умовах. Це вносить певні обмеження в роботу конструктора, на які він завжди повинен зважати в процесі конструювання, бо інакше доводиться вносити зміни в конструкцію при виготовленні або експлуатації, що визначає додаткові витрати праці і матеріалів.

Щоб визначити можливість виготовлення об'єкта на конкретній виробничій базі підприємства-виробника з мінімальними витратами, конструктор повинен враховувати наявне устаткування (верстатний парк, інструмент, оснащення для виготовлення, зборки і контролю), кваліфікацію персоналу і стан технологічної дисципліни, відповідність об'єкта конкретним умовам технологічної підготовки виробництва, наявність і дефіцитність матеріалів, стандартних та уніфікованих виробів, напівфабрикатів, умови їх постачання.

Основою виконання цих вимог є узгодження конструкторської документації зі службами підприємства й організаціями, що беруть участь у виготовленні. Для забезпечення цього процесу проводиться вхідний конструкторський, технологічний і нормо-контроль як власної конструкторської документації, так і отриманої з інших організацій і підприємств на відповідність вимогам державних (ДСТУ) та галузевих (ГСТ) стандартів, технічних умов (ТУ), правил, інструкцій, норм та інших нормативно-технічних матеріалів. Конструкторська документація на об'єкт повинна відповідати вимогам ЄСКД.

В процесі вивчення й аналізу технічного завдання конструктор знайомиться з відповідною довідковою і технічною літературою, вивчає креслення, прикладені до технічного завдання й аналогів, уточнює технічні вимоги до об'єкта і з'ясовує обмеження (умови), що обов'язково повинні бути дотримані при вирішенні задачі.

Таким чином результатом першого етапу конструювання – **аналізу технічного завдання** – є з'ясування мети конструювання (основного принципу роботи об'єкта) та підтвердження того, що ця мета в технічному завданні сформульовано правильно.

У протилежному випадку конструктор зобов'язаний обґрунтовано довести необхідність коректування технічного завдання. Помилка розробника технічного завдання може привести, як мінімум, до невірного напряму розробки об'єкта, а, як максимум, до виготовлення непридатної конструкції.

Етап II конструювання полягає у виявленні технічних рішень, доцільні комбінації яких дають усі можливі варіанти розв'язання задачі (робочі принципи) та створення розумового образу об'єкта. Єдиний шлях пошуку технічних рішень – це аналіз існуючих конструкцій і принципів їхньої роботи. При цьому рекомендується керуватися наступним міркуванням: слід йти від необхідного до бажаного, а від бажаного до припустимого.

Якість конструкції об'єкта залежить від якості ідеї або принципу, використаного в його технічних рішеннях. Слід знаходити більше нових технічних рішень для вибору найкращого, розробляти варіанти відомих технічних рішень, прагнути з'ясувати всі необхідні деталі, здатні вплинути на якість об'єкта, який підлягає конструюванню.

Конструктор повинен оцінити порівняльні якості кожного варіанта, щоб полегшити вибір оптимального рішення або створити компромісне. Він має уникати поспішних рішень та надмірного впливу авторитетів, правильно оцінювати результати розрахунків і раціонально їх використовувати, домагатися простоти конструкції та уникати складних, багатодетальних конструкцій. Важливо не використовувати в конструкції об'єкта елементи (вузли і механізми), працездатність яких є сумнівною і вимагає експериментальної перевірки.

Вимоги, пропоновані до конструкції, звичайно є суперечливими. Тому, поліпшуючи один параметр об'єкта, конструктор впливає на інші, нерідко погіршуючи їх. Важливо оцінити ці впливи, приймаючи компромісне рішення, яке у конкретному випадку буде оп-

тимальним. Необхідно пам'ятати, що поліпшення конструкції за деякими параметрами за рахунок погіршення якості, надійності і безпеки її роботи не припустиме.

При оцінці вимог, пропонованих до об'єктів розробки, необхідно враховувати наступне:

- зменшення маси об'єкта викликає зменшення міцності і жорсткості;
- компактна, малогабаритна конструкція спричиняє поліпшення умов зборки, обслуговування, регулювання і ремонту;
- застосування дешевих матеріалів викликає погіршення міцності, зносостійкості і довговічності;
- створення простої конструкції об'єкта накладає обмеження на технічні і технологічні можливості його роботи;
- збільшення швидкості дії механізму приводить до зростання інерційних сил і навантажень на деталі і вузли;
- розбивка конструкції на модулі (вузли) для полегшення організації їхньої зборки (або транспортування) веде до зменшення жорсткості конструкції, підвищує трудомісткість зборки;
- створення універсальної конструкції для різних режимів роботи і різних операцій завдає економічної шкоди при експлуатації об'єкта на одній операції.

Як було зазначено вище, до кращого конструктивного рішення конструктор повинен створити якнайбільше варіантів конструкції, тому що в кожному варіанті можливий розв'язок тих або інших питань у різній мірі.

Варто помітити, що розробка кількох варіантів, що принципово різняться, – справа непросте. Крім знання великого обсягу різних технічних рішень, конструктивних схем і т. ін., потрібні здібності і навички використання прийомів і методів конструювання.

Існують методи, що активізують і направляють творче мислення шляхом створення нових, нешаблонних, нестандартних рішень. Конструкторові корисно знати ці методи і вчитися їх використовувати.

До основних методів, що активізують і направляють творче мислення шляхом створення нових, нешаблонних і нестандартних рішень, відносяться:

- **інверсія** ("зроби навпаки") – метод одержання нового технічного рішення шляхом відмовлення від традиційного погляду на задачу. При цьому погляд на задачу здійснюється звичайно з діамет-

рально протилежної позиції. Якщо говорити про елементи об'єкта, то вони звичайно міняються місцями;

– **аналогія** (метод прецеденту) – використання технічного рішення з інших галузей науки і техніки, або навіть запозичень з живої природи (наприклад, елементи біомеханіки). Метод прецеденту також використовує аналогію з раніше розробленими конструкціями. Аналогія може не тільки використовувати раніше створені конструкції, але і моделювати різні їх якості: форму, колір, звук і таке інше;

– **емпатія** – ототожнення особистості конструктора з об'єктом розробки, тобто елементом або процесом: «входження в образ». Цей метод приводить до нового погляду на задачу;

– **комбінування** – використання в конструкції в різному порядку й у різних сполученнях окремих технічних рішень, процесів, елементів. При цьому можна знайти нову якість, що доповнює позитивний ефект. Комбінації елементів можуть бути різного характеру: механічне з'єднання, з'єднання через проміжні елементи, дублювання, утворення багатоступінчастих конструкцій та інше;

– **компенсація** – зрівноважування небажаних і шкідливих факторів засобами протилежної дії. Наприклад, часто необхідно компенсувати вплив маси, сил інерції, тертя, різні втрати – це здійснюється за допомогою компенсаторів (постійних, регульованих, автоматичних, пружинних та ін.);

– **динамізація** – перетворення нерухомих і незмінних елементів конструкції в рухомі або зі змінюваною формою;

– **агрегативання** – створення безлічі об'єктів або їхніх комплексів, здатних виконувати різні функції або існувати в різних умовах, що досягається шляхом зміни складу об'єкта або структури його складових частин. Способи агрегативання – це з'єднання агрегатів із самостійним об'єктом, що являє собою комплекс (транспортер з підвісними знаряддями). Агрегативання приєднанням відбувається тоді, коли до базової складової частини можуть приєднуватися різні залежні складові частини, агрегати, вузли або деталі (наприклад, агрегатні верстати, поворотні-ділильні столи, силові вузли, механізм головного руху і механізм подачі). При агрегативанні зміною в об'єкті можуть застосовуватися різноманітні варіанти складових частин при різному компонуванні (наприклад, різні варіанти кузова автомобіля на одному шасі);

– **компаундирування** – визначається тим, що для збільшення продуктивності паралельно з'єднуються два технічних об'єкти. З'єднання відбувається різними прийомами: об'єкти встановлюються незалежно, паралельно і пов'язуються пристроями, що синхронізуються, або конструктивно вони поєднуються в один агрегат;

– **блочно-модульне конструювання** – передбачає створення виробів на основі модулів і блоків. Модуль – складова частина виробу, що складається переважно з уніфікованих або стандартних елементів різного функціонального призначення;

– **резервування** (дублювання) – збільшення числа технічних об'єктів для підвищення надійності виробу в цілому;

– **мультиплікація** – підвищення ефективності за рахунок використання декількох робочих органів, що виконують однакові функції по місцях (багатоповерхові або багатошарові конструкції);

– **метод розчленовування** – полягає в уявному поділі традиційних технічних об'єктів з метою спрощення виконуваних функцій або операцій;

– **секціонування** – припускає дроблення технічного завдання на конструктивно подібні складові частини – секції, блоки, ланки;

– **асоціація** – використання властивості психіки з появою одних об'єктів у певних умовах викликати активність інших, зв'язаних з першими. Збіг певних ознак різних об'єктів дозволяє знайти нехарактерні рішення (наприклад, механічний маніпулятор, що імітує роботу руки);

– **ідеалізація** – заміна реальних об'єктів нереальними, яким надані властивості реальних об'єктів, і вивчення їх як ідеальних (точка, лінія, абсолютно тверде тіло). Цей метод дозволяє значно спростити складні системи, знайти істотні зв'язки і застосувати математичні методи дослідження;

– **перенесення властивостей** (або метод «фокальних» об'єктів). Застосовуючи цей метод, об'єкт, що конструюватимуть, поміщають у «фокус» уваги і переносять на нього властивості або функції декількох довільно обраних об'єктів.

Образність зазначених термінів допомагає глибше зрозуміти їх зміст і сприяє розвитку творчої уяви. Однак, слід зауважити, захоплення образами створює заряд психологічної інерції, що може перешкоджати творчому пошукові нових технічних рішень.

Сукупність комбінацій знайдених технічних рішень – це основа для створення конструкції об'єкта.

Наступний етап (III) – це аналіз варіантів і вибір оптимального. Цей етап конструювання найбільш важкий та відповідальний. Від результатів його виконання залежить якість майбутнього об'єкта на всіх стадіях його розробки і подальшого життєвого циклу.

Імовірність вибору оптимального варіанта конструкції тим вище, чим більше число варіантів, з яких вибирається це рішення і чим вище якість цих варіантів.

Основою для добору технічного рішення є вимоги технічного завдання до розроблювального об'єкта. Ці вимоги можуть пред'являтися до об'єкта в цілому або до його складових частин і функціональних елементів.

Як вимоги до об'єкта, так і варіанти технічного рішення нерідко є суперечливими. Суперечливість варіантів може мати самий різний ступінь, аж до взаємного виключення.

У будь-якому випадку потрібно виконувати перевірку сумісності прийнятих рішень за різними частинами конструкції і принципами роботи об'єкта, який розробляється.

У випадках, коли є певне число варіантів і вибір найкращого (оптимального) не очевидний, на допомогу конструкторові приходить метод оптимізації.

Оптимальним рішенням задачі має бути рішення, що переважає за тими або іншими ознаками. Для того, щоб серед великого числа варіантів знайти оптимальний, потрібна інформація про переваги різних поєднань показників варіантів, які характеризуються критерієм оптимізації.

Задача вибору оптимальних параметрів розробки, відповідно до обраних критеріїв, називається задачею оптимального проектування (конструювання).

Тут слід зазначити, що під оптимальним проектуванням (найчастіше) розуміється процес прийняття оптимальних (у деякому розумінні) рішень за допомогою ЕОМ. Ця проблема пов'язана з одержанням оптимального рішення з безлічі припустимих.

Процес оптимального проектування містить у собі три основних етапи:

- вибір об'єктивного критерію оптимізації;
- опис цільової функції і межі (області) припустимих рішень (математичне моделювання об'єкта);

– вибір ефективного методу рішення задачі та його реалізація.

Критерієм оптимізації об'єкта, який підлягає розробці, служить показник, що буде оптимальним для даного об'єкта.

При виборі цього критерію треба мати на увазі наступне: критерій – спосіб (показник), за допомогою якого повинні зіставлятися конкуруючі варіанти конструкції об'єкта та який повинен визначати відповідність між доцільною якістю об'єкта і реальним процесом його конструювання, виготовлення й експлуатації.

Критерій оптимізації об'єкта призначений для того, щоб перевірити переваги обраних варіантів. Він повинен бути об'єктивним, виправдувати своє призначення і повинен володіти деякими властивостями: бути незалежним, бути однозначним (тобто не бути функцією інших факторів), бути безпосередньо пов'язаним з параметром оптимізації; бути сумісним з іншими факторами та не порушувати їхню роботу.

Як критерій оптимізації залежно від характеру і призначення об'єкта конструювання можуть бути прийняті: його вартість, конструктивні показники, точність виготовлення, маса (вага), довговічність (ресурс) та інші.

Оптимізація як процес раціоналізації елементів конструкції можливий тільки тоді, коли чітко сформульована її мета.

При рішенні задач оптимізації, з метою одержання найкращого значення критерію оптимізації математичними методами, отримують відповідну залежність цього критерію від шуканих параметрів об'єкта, яка зветься цільовою функцією.

Параметри оптимізації повинні відповідати наступним вимогам:

- піддаватися вимірам з достатньою мірою точності й обмежуватися межами допусків;
- бути інформаційними, тобто всебічно характеризувати об'єкт;
- мати фізичний сенс, тобто повинна існувати можливість досягнення корисних результатів певної властивості об'єкта у відповідних умовах;
- бути однозначними, тобто максимізувати або мінімізувати тільки одну властивість об'єкта.

Параметри оптимізації, залежно від мети свого призначення, можуть бути:

- просторово – часовими (довжина, час, площа, об'єм, швидкість, прискорення і таке інше);
- механічними (маса, щільність, сила, момент сили, робота, енергія, потужність, тиск і тому подібне);
- електромагнітними (кількість електрики, щільність струму, питомий опір, магнітний потік і інше);
- тепловими (температура, кількість теплоти, тепловий потік, коефіцієнт теплообміну і таке інше);
- акустичними (звуковий тиск, інтенсивність звуку і тому подібне);
- якісними (зовнішній вигляд, якість поверхні та інше).

У задачах оптимізації до критеріїв оптимальності звичайно доводиться застосовувати обмеження, щоб звузити простір проектування (це не тільки системи математичних рівнянь, але і логічні вирази типу «якщо так..., то буде...»).

До основних обмежень для механічних конструкцій відносяться:

- 1) величини механічних напружень, що накладаються вимогами надійності й економічності (умови міцності і стійкості);
- 2) деформації елементів, що накладаються вимогами науково-технічної документації до жорсткості та працездатності (умови жорсткості);
- 3) нерозривність елементів конструкції при дії зовнішніх навантажень (умова сумісності деформацій);
- 4) функціональні обмеження, пов'язані з умовами експлуатації елементів об'єкта (габаритні обмеження, матеріал, сортамент, кріплення і тому подібне).

Задача оптимізації за заданих обмежень у загальному випадку є задачею теорії оптимальних систем з визначеними параметрами і є системою диференціальних та інтегральних рівнянь.

Єдиного методу рішення настільки загальних задач не існує. В основному застосовуються аналітичні (диференціальні і варіаційні) та чисельні методи (лінійне, нелінійне і динамічне програмування).

Оптимізація за декількома параметрами виконується за допомогою ЕОМ. Якщо вдається виділити один головний параметр, що досить повно характеризує об'єкт оптимізації, застосовуються методи, що відрізняються більш простими обчислювальними процедурами. Рішення задач оптимізації математичними методами дає найкращі результати. Однак вибір математичних методів оптимізації з

використанням ЕОМ не завжди можливий, тому що не всі задачі оптимізації мають математичне рішення.

Зазвичай конструктор, що працює на промисловому підприємстві, по-перше, застосовує так зване варіантне конструювання (порівняння декількох варіантів конструкції і вибір варіанта з мінімумом недоліків); по-друге, виконує оптимізацію на інтуїтивному рівні. Водночас, задачі оптимізації приходиться вирішувати не тільки при визначенні основних параметрів об'єкта, але і з багатьох другорядних питань.

Будь-який вибір конструкторського рішення форми і розмірів елементів об'єкта – це рішення задачі оптимізації, коли конструктор вибирає оптимальне рішення з тієї сукупності варіантів, що зберігаються в його пам'яті. Ці варіанти задовольняють технічному завданню на конструкцію, тобто знаходяться в припустимій області.

Знання конструктором основних критеріїв і методів конструювання дозволяє робити правильні логічні висновки. При цьому йому допомагає модель об'єкта – розумовий образ (в уяві конструктора) або графічне зображення (схема, ескіз). Модель відбиває спрощену принципову схему, що у процесі конструювання обростає інженерними рішеннями. Тут на допомогу конструкторові приходиться «розумовий експеримент»: наприклад, проводиться «навантаження» зразка на основі чого визначається раціональний поперечний переріз і т. под.

Знання методів оптимізації, досвід роботи, здатність творчо мислити дозволяють конструкторові уникнути недоліків і помилок у конструкції об'єкта.

При конструюванні оптимізацію доцільно виконувати за наступними (основними) параметрами:

- оптимізація навантаження – найголовніший параметр, що визначає конструкцію об'єкта: рівна міцність, оптимальне використання матеріалу, надійність і т. под.;

- оптимізація матеріалу залежить від конструкції об'єкта. Застосовуваний матеріал може бути різним, але його вибирають за необхідними механіко–фізичними властивостями, технологічністю, вартістю, доступністю і т. под.;

- оптимізація надійності містить у собі показники якості, коефіцієнт безпеки, точності і т. под.;

– оптимізація відносин взаємозалежних величин полягає в оцінці наступних характеристик об'єкта: геометричні розміри (характеристики), кінематичні і динамічні властивості, маса, пружні властивості тощо.

2.4 Джерела науково-технічної інформації

Роль технічної інформації при конструюванні є величезною. Конструктор творчо переробляє наявні в його розпорядженні або запозичені з технічної літератури відомості про існуючі технічні рішення і пристосовує їх до конкретних умов.

Найчастіше у структурі розробленого об'єкта відсутні істотно нові технічні рішення (винаходи). Це обумовлено тим, що конструктори, вирішуючи інженерні задачі на багатьох підприємствах галузі, займаються однаковими проблемами. Щодня відбувається повторення тих самих конструктивних рішень.

Бурхливе зростання обсягу науково-технічної інформації все більше утруднює пошук і вивчення необхідного матеріалу. Прагнення освоїти всю попередню інформацію – це марна витрата часу, тому що легше розробити новий об'єкт, ніж переконатися в тому, що такий десь вже існує.

Таким чином інформацію з конкретного актуального для даного фахівця питання треба вивчати починаючи з новітніх досягнень і кінчаючи ретроспективною інформацією.

Основні джерела науково-технічної інформації – це:

– технічна література: підручники, довідники конструктора (міжгалузеві і галузеві), енциклопедії технічні (універсальні і галузеві), словники термінологічні і роз'яснювальні, типажі машин і устаткування тощо;

– виробничо-технічна інформація про новітні досягнення наукової і виробничої практики: огляди, реферативні видання, експрес-інформація, бюлетені і т. п.;

– патентно–ліцензійна інформація.

2.5 Аналіз конструкції машини на технологічність

При розробці технічного проекту об'єкта (після розробки остаточних технічних рішень) для оцінки і відпрацювання об'єкта за технологічними параметрами виконується аналіз конструкції на технологічність.

Щоб поліпшити технологічність виробів (для зниження собівартості), виконується технологічний контроль конструкторської документації за чинними стандартами.

Основний суб'єкт, що розробляє конструкторську документацію (креслення, схеми, текстові документи й інше), – це конструктор.

Він визначає «обличчя» сконструйованого об'єкта: зміст конструкторської документації і усі відбиті в них технічні рішення.

За це він несе відповідальність, обговорену в посадовій інструкції, відповідно до чинного законодавства.

Виходячи з цього, у виробничій практиці спостерігається деяка переоцінка ролі конструктора у створенні конструкції об'єкта.

При цьому склалися антагоністичні відносини між конструкторами і технологами, що гальмує технічний прогрес.

Ця недооцінка ролі технолога в конструюванні об'єктів не приносила шкоди, якби конструктор володів всім обсягом технологічних знань і досвіду.

Але «не можна обійняти неосяжне», тому конструкторська документація – повинна бути творчістю не одного виконавця, а результатом спільної плідної праці різних фахівців.

Якість конструкторської документації та її технічний рівень визначаються тим, наскільки тісним і плідним було це співробітництво.

Технолог повинен разом з конструктором розробляти конструкцію об'єкта на всіх стадіях розробки. Це реалізується у відпрацюванні виробу на технологічність.

2.5.1 Технологічність конструкції та її види

Відповідно до стандартів «Показники якості продукції» установлено декілька видів показників якості, у т.ч. – показники технологічності (призначення, надійності та інші).

Головний критерій технологічності конструкції прийнятий для зіставлення варіантів і оптимізації; це її економічна доцільність за заданою якістю і прийнятих умов виробництва, експлуатації і ремонту.

Єдині терміни і визначення в області технологічності конструкцій установлюють стандарти «Технологічність конструкції. Терміни і визначення».

Стандартне визначення технологічності конструкцій сформульовано виходячи з принципу скорочення матеріальних і трудових

витрат у всіх сферах прояву властивостей конструкції об'єкта і звучить так: «технологічність – це сукупність властивостей конструкції виробу, що виявляються в можливості оптимізації витрат праці, засобів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації і ремонті у порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення при забезпеченні встановлених значень показників якості в прийнятих умовах виготовлення, експлуатації і ремонту».

Відпрацювання конструкції виробу на технологічність – це комплекс заходів щодо забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції виробу за встановленими показниками.

Основною задачею відпрацювання конструкції виробу на технологічність є додання виробові комплексу властивостей, установлених поняттям (терміном) технологічність.

Для рішення цієї задачі виріб необхідно розглядати як об'єкт розробки (за стадіями розробки) на всіх стадіях життєвого циклу.

Враховуючи, що технологічність виробів виявляється в процесі їхнього виробництва й експлуатації, основними видами технологічності конструкції виробів є (за областю прояви) виробнича технологічність (конструкторська і технологічна підготовка виробництва) та експлуатаційна технологічність (ремонт).

Основні вимоги і рішення, що рекомендуються при відпрацюванні конструкції на технологічність, це:

1) забезпечення розчленування об'єкта на складальні одиниці, що визначає можливість незалежної рівнобіжної зборки та принципу застосування агрегування;

2) забезпечення уніфікації і стандартизації елементів конструкції (скорочення номенклатури деталей);

3) забезпечення раціональних складальних баз (принцип єдності баз);

4) забезпечення раціонального процесу зборки;

5) забезпечення зручності зборки (механізація й автоматизація, загальна зборка без проміжних розбирань; доступ до місць регулювання і контролю);

6) забезпечення раціональних з'єднань складових частин (мінімальне число з'єднань);

7) забезпечення застосування типових технологічних процесів обробки, зборки, контролю та випробувань.

У комплексі технологічність розглядається як сукупність відповідних властивостей конструкції виробу, закладених у конструкторській документації при розробці.

Раціональність конструкції багато в чому визначається такими показниками технологічності, як маса виробу та його питома матеріалоемність.

У машинобудуванні зменшення маси виробів дозволяє знижувати витрати матеріалів (в основному металевих) і, відповідно, вартість виготовлення.

Слід зазначити що зниження маси виробів не є (і, безумовно, не повинно бути) самоціллю. Зниження маси повинно забезпечуватися без зменшення показників міцності, жорсткості і надійності (довговічності) об'єкта. Тому, з огляду на порівняно малу частку вартості матеріалів у загальній вартості об'єкта, у загальному машинобудуванні зберігається (часом невиправдано) тенденція: краще мати трохи більш важку машину, але надійну і довговічну.

Порівняльні якості об'єктів одного призначення оцінюють показником «питома маса», який враховує ступінь конструктивної досконалості об'єкта, а також ступінь застосування легких сплавів і неметалічних матеріалів.

Наприклад, якість конструкції металорізальних верстатів оцінюють показником

$$g = G / N_0,$$

де G – маса верстата (кг);

N_0 – номінальна потужність приводного двигуна (кВт).

Поняття «матеріалоемність» відрізняється від поняття «маса» – вони нерівнозначні. Матеріалоемність найкраще характеризується відповідно до об'єму елементів, що складають конструкцію.

Зниження маси і матеріалоемності об'єкта забезпечується раціональною конструкцією елементів об'єкта, що базується на наступних принципах:

- принцип рівного напруження перерізу (раціональна форма перерізу для кожного виду навантаження);

- принцип рівної міцності (зменшення концентрації навантаження та забезпечення рівномірного розподілу напружень у поперечних перерізах);

- принцип відносної жорсткості (забезпечення раціонального балансу жорсткості);

- принцип раціонального навантаження (усунення складних видів навантажень);
- принцип зменшення нерівномірності напружень шляхом видалення матеріалу з малонавантажених ділянок (призводить до зниження інерційних навантажень).

Наступним способом відпрацювання конструкції виробу на технологічність є застосування раціональних конструктивних схем з мінімальним числом ланок, компактних та багатопоточних схем, уточнення розрахункових напружень (підвищення надійності за рахунок, наприклад, експериментального виміру і натуральних випробувань), вибір відповідного матеріалу, застосування технологічних методів зміцнення матеріалів.

Слід зазначити, що вибір матеріалу визначається не тільки його масовоміцносними характеристиками, але й іншими важливими факторами, такими як: призначення і умови роботи деталі, фізико-механічні, технологічні й експлуатаційні властивості матеріалу, його вартість.

Найбільшою універсальністю володіють сталі, властивості яких визначаються в широких межах металургійними засобами (леговані сталі), а також термічною, хіміко-термічною і термомеханічною обробкою.

Сталі ще довго будуть основним матеріалом для виготовлення навантажених деталей.

Майже такими ж властивостями володіють титанові сплави (крім оброблюваності).

2.5.2 Жорсткість конструкцій. Конструкційні способи підвищення жорсткості

Жорсткість – це здатність системи опиратись дії зовнішніх навантажень з найменшими деформаціями (переміщеннями). Для машинобудування жорсткість – це здатність системи опиратись дії зовнішніх навантажень з деформаціями (переміщеннями), припустимими без порушення працездатності системи.

Таким чином, жорсткість визначає працездатність об'єкта в такій же мірі, як і міцність, та відповідно визначає масу (матеріаломісткість) конструкції.

Прагнучи полегшити конструкцію і максимально використати міцності властивості матеріалів, конструктор підвищує рівень на-

пружень в елементах конструкції, що приводить до збільшення деформацій.

Широке застосування рівноміцних, найбільш вигідних за масою конструкцій, викликає збільшення деформацій. Такі конструкції мають малу жорсткість.

Питання підвищення жорсткості особливо актуальне у зв'язку з застосуванням високоміцних матеріалів, елементи з яких різко збільшують деформації конструкцій.

Визначити величину деформацій розрахунковими аналітичними методами можна лише для нескладних конструкцій при простих видах навантаження (розтягання (стиск), зсув (кручення), згин) методами опору матеріалів.

В інших випадках доводиться мати справу з елементами конструкцій, жорсткість яких не піддається подібним розрахункам, а їхні перерізи визначаються технологією виготовлення (наприклад, лиття, прокат) або мають складну конфігурацію (корпусні деталі).

У цьому випадку застосовуються розрахунки на жорсткість (наприклад, метод кінцевих елементів) за допомогою сучасного програмного забезпечення (програми *COSMOS*, *ANSIS* і т.д.), фізичне моделювання та експериментальні випробування, велику роль відіграють досвід та інтуїція конструктора.

Жорсткість конструкції визначають наступні фактори: модулі пружності матеріалу, геометричні характеристики перерізів, конфігурація і конструкція, лінійні розміри, вид навантаження та тип (жорсткість) опор.

Фактори, що впливають на жорсткість, можна об'єднати в узагальненому питомому показнику жорсткості n_λ , який поєднує характеристики міцності та жорсткості, характеризує здатність матеріалів сприймати високі навантаження за найменших деформацій і оцінює вигідність матеріалів за масою.

Відносні значення n_λ для основних конструкційних (металевих) матеріалів можна представити відповідною діаграмою (рис. 2.12), де за 100% приймається показник n_λ для суперміцних сталей.

На практиці вибір матеріалу визначається не тільки його міцносними та жорсткісними характеристиками, але й технологічними та експлуатаційними властивостями. Тому переважне значення в забезпеченні міцності і жорсткості (за мінімальної можливої маси) мають конструктивні заходи (способи).

Конструктивні засоби підвищення жорсткості без істотного збільшення маси – це усунення вигину, заміна його розтяганням або стисканням.

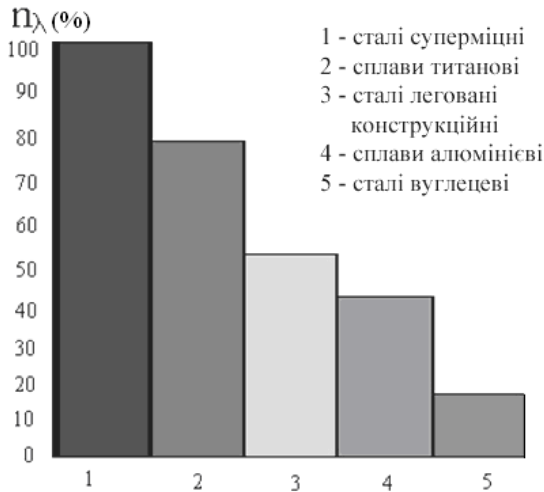


Рис. 2.12 – Питомий показник жорсткості основних конструкційних (металевих) матеріалів

Для елементів конструкцій, що працюють на вигин способом підвищення жорсткості, є вибір раціональної схеми опор та збільшення моментів інерції перерізів.

Деталі, що працюють переважно на стиск, посилюються ребрами.

Блокування деформацій (переміщень) виконується уведенням поперечних і діагональних зв'язків (ферми, рами, розчалочні конструкції) або залученням жорсткості суміжних деталей.

Для деталей коробчатого типу (базові деталі – станини) способами підвищення жорсткості без істотного збільшення маси є застосування оболонкових, склепінних, сферичних і тому подібних форм.

Для деталей типу дисків застосовуються конічні, чашкові, сферичні форми, раціональне поребріння, гофрування.

Для деталей типу плит використовують аркові, коробчасті і стільникові конструкції.

2.6 Основи художнього конструювання

Інженер-конструктор повинен забезпечити взаємодію вузлів і деталей машини, її високі експлуатаційні характеристики, максимальний ККД, мінімальну матеріалоємність (за оптимальної міцності і жорсткості) і високий рівень технологічності.

Водночас питання забезпечення конкурентоздатності продукції потребують враховувати не тільки вищезгадані технічні параметри, але й її зовнішній вигляд.

Художнє конструювання (*design*) виникло в середовищі інженерного конструювання у зв'язку з розвитком масового виробництва об'єктів, безпосередньо призначених для використання людиною, а також у зв'язку з загальним підвищенням споживчих вимог до якості промислових виробів.

Промислові вироби, що пройшли художньо-конструкторську розробку, повинні бути корисними і красивими.

Тому художник-конструктор забезпечує зорову цілісність форми виробу, правильне відображення у формі виробу його призначення і способу експлуатації, відповідність (домірність) виробу людині, відображення у формі виробу ознак пануючого на даний момент стилю у формоутворенні виробів даного виду.

Художнє конструювання – це комплексна міждисциплінарна конструкторсько-художня діяльність, що інтегрує елементи природно-наукових, технічних, гуманітарних знань, інженерного конструювання і художнього мислення.

Центральною проблемою дизайну є створення предметного світу, естетично оцінюваного як «розмірний», «гармонійний», «цілісний».

Дизайнер створює такі продукти і знаряддя праці, які самі набувають здатності «по-людськи відноситися до людини», тобто володіють естетичною цінністю.

Конструювання (проектування) промислового виробу лише тоді приводить до бажаного результату, коли конструктор, технолог і дизайнер працюють у тісному творчому контакті і коли кожний з них добре розуміє задачу іншого та її значення (рис. 2.13).

Мета вивчення основ художнього конструювання – це одержання мінімальних теоретичних знань у сфері дизайну.

Технічна естетика – це теорія дизайну, яка вивчає особливості художньої діяльності у сфері техніки.



Рис. 2.13 – Схема художнього конструювання

Ця галузь загальної естетики узагальнює практику масового виготовлення знарядь праці (верстатів, машин) та інших предметів, що поєднують у собі утилітарні (практично корисні) й естетичні якості, тобто закони краси, що діють у промисловому виробництві.

Естетика (загальна) – наука про національні, історично обумовлені сутності загальнолюдських цінностей, закони їхнього сприйняття, створення, оцінки й освоєння. Це – філософська наука про найбільш загальні принципи освоєння світу за законами краси, яка межує з теорією мистецтва.

Промислова естетика (мистецтво) – це увесь предметний світ, створюваний людиною засобами промислової техніки за законами краси і функціональності.

До елементів промислової естетики відноситься промисловий інтер'єр та промислова графіка (товарні і фірмові знаки), реклама, тара й упакування.

2.7 Система «людина-машина» («людина-машина-середовище»)

Людина (людина – оператор) займає основне місце в керуванні створеною нею технікою. Технічні засоби допомагають людині підсилувати її можливості з погляду фізичної сили, швидкості дії, продуктивності праці.

Головний принцип організації взаємодії в системі «людина-машина», а загалом «людина-машина-середовище», – це орієнтація на людину як суб'єкта праці і творчості, з метою найбільш повного і раціонального використання її інтелектуального і творчого потенціалу.

Наукова і практична задача організації систем «людина-машина-середовище» полягає в раціональному розподілі й узгодженні функцій між людиною і машиною при збереженні функції відповідальності за людиною. Головний принцип: «Машина – для людини, а не людина – для машини !!!».

Цю задачу вирішують психологія та інженерна психологія, ергономіка - (від грецького *ergon* – робота і *nomos* – закон).

Мета ергономіки – оптимізація предметного змісту, знарядь, умов і процесів праці, підвищення привабливості і задоволеності працюю.

Людина-оператор розглядається в першу чергу не як ланка системи, а саме як жива людина, що володіє такими властивостями, як: сприйняття, увага, швидкість реакції, пам'ять, мислення, потреба в спілкуванні, ємність і тривалість, образність і гнучкість оперативного мислення тощо.

В інженерній психології розглядають:

– сенсорний вхід (органи почуттів або рецептори людини-оператора) і моторний вихід (руховий або ефекторний апарат людини-оператора);

– процеси переробки інформації і задачі керування машинами (об'єктом);

– нормальні і критичні умови життєдіяльності людини-оператора.

При аналізі СЛМС застосовуються:

– проста схема взаємозв'язку – людина – оператор – об'єкт (рис. 2.14);

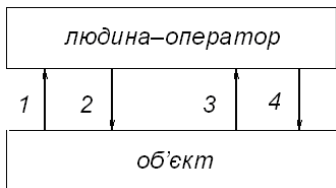


Рис. 2.14 – Схема взаємозв'язку - людина-оператор - об'єкт

– або трикутник (рис. 2.15) взаємозв'язків – людина – система керування – об'єкт (середовище).

В цих схемах взаємозв'язку:

1 – одержання людиною оператором від блока керування об'єкта різноманітної вихідної інформації у виді сигналів від приладів (відлікові, світлові, звукові);

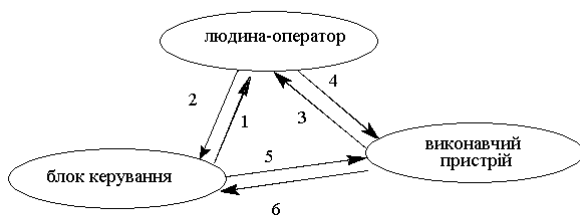


Рис. 2.15 – Схема людина-система керування-об'єкт (середовище)

2 – формування людиною сигналів керування у виді дій з настроювання, регулювання, керування об'єктом;

3 – безпосередній вплив об'єкта (середовища) на людину оператора (розташування елементів блока керування повинно відповідати психофізіологічним можливостям);

4 – вплив людини на об'єкт (середовище);

5 – вплив блока керування на об'єкт (середовище);

6 – вплив об'єкта (середовище) на блок керування.

2.7.1 Системний підхід

Щоб спростити аналіз складних процесів роботи людини-оператора, в системах взаємозв'язків застосовують спрощені моделі (рис. 2.16) поведінки людини-оператора.

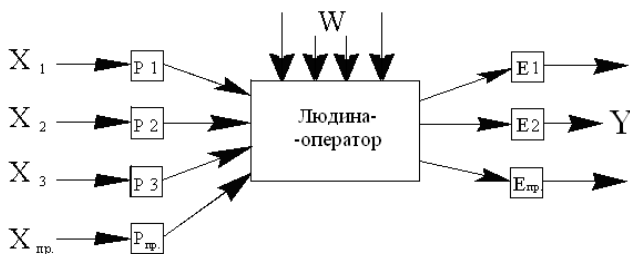


Рис. 2.16 Схема цільової функції коригування

X_i – джерела інформації (відповідні датчики); W – вплив зовнішнього середовища; P_1 – основні рецептори (органи почуттів): P_1 – зір; P_2 – слух; P_3 – дотик; $P_{пр.}$ – інші: нюх, смак, рівновага (вестибулярний апарат);

E_i – основні ефектори (формують сигнали керування): E_1 – пальці рук (точні рухи, але менш сильні); E_2 – ноги (менш точні рухи, але більш сильні); $E_{пр.}$ – інші звукові команди (мова), біоелектричні потенціали, параметри фізіологічної активності (потовиділення, частота пульсу й інше)

Найчастіше людина-оператор виступає в ролі «машини» з прийому і вироблення інформації, яка формує цільову функцію коригування $Y = F(X, W)$ (рис. 2.16).

Відповідно до органів почуттів на діяльність людини впливають: освітленість і колір середовища; шум, атмосферний тиск і вологість; характер поверхонь, з якими відбувається контакт; наявність запахів і токсичних речовин, робоча поза.

Для оптимізації зв'язку людини-оператора з устаткуванням необхідно знати: яку кількість інформації людина-оператор може прийняти, передати або переробити в одиницю часу («пропускна» здатність) і граничні швидкості різних реакцій; яка точність сприйняття і видачі різних сигналів: час «затримки» (обробки) сигналів; яка надійність роботи оператора-людини, тобто здатність протистояти завадам виробничого процесу.

При цьому питання оптимізації необхідно вирішувати шляхом «припасування» параметрів об'єкта конструювання під здібності і можливості людини, а не навпаки.

«Приладом» людини, за допомогою якого вона сприймає або формує сигнали, є аналізатори: рецептор - нервові шляхи - центр у корі великих півкуль.

Рецепторний апарат тісно зв'язаний з ефекторним (руховим) апаратом.

Якщо розглянути схему проходження сигналу по контуру керування: людина-оператор ↔ об'єкт, то можна виділити 8 характерних стадій (ланок):

- 1 - сприйняття показань (сигналів);
- 2 - перетворення показань індикатора у зручну форму для порівняння з програмою роботи;
- 3 - ухвалення рішення про зміну програми роботи;
- 4 - вплив на органи керування об'єктом;
- 5 - переміщення робочих елементів регуляторів;
- 6 - реакція об'єкта на вплив;
- 7 - робота об'єкта за новою програмою;
- 8 - відображення нового режиму роботи на індикаторах.

Основні характеристики цього процесу – це швидкість проходження сигналу по контуру керування, похибка і надійність ланок та швидкість обробки інформації в них.

Швидкість обертання сигналів по контуру керування визначається часом повного циклу регулювання:

$$T = T_0 + T_M,$$

де T_0 – час затримки сигналу оператором (стадії 1...5);
 T_M – час затримки сигналу об'єктом (стадії 6...8).

Завжди час затримки сигналу оператором значно більший за час затримки сигналу об'єктом ($T_0 \gg T_M$). Час затримки сигналу оператором визначається аналізаторами і тривалістю латентного періоду (час від моменту появи сигналу середнього рівня до відповіді на нього дією).

Крім того, необхідно враховувати кількість індикаторів і органів керування, а також темп роботи оператора (оптимально 1...5 одиниць (1 – «засинає», 5 – «перевантажений»)).

Швидкість обробки сигналу оператором залежить від характеру інформації (знайома або незнайома), конструкції індикатора (шкала, світлофор, звук), характеру зчитування інформації (команда, повідомлення, ситуація), розрізнення сигналу (наприклад, світловий сигнал повинен перевищувати рівень навколишнього освітлення в 3...5 разів).

2.7.2 Основні вимоги до конструкції індикаторів

Індикатори забезпечують людині-оператору прийом сигналів керування. Основний апарат прийому – органи почуттів, що є частиною аналізаторів.

При роботі з об'єктами керування людина-оператор звичайно використовує тільки три види аналізаторів: зоровий (візуальний), слуховий (аудіальний) і тактильний (дотик). Особливості цих аналізаторів людини (фізіологічні) ставлять відповідні вимоги до конструкції індикаторів.

Розрізняють бінокулярний і монокулярний зір (поле зору). Найвужча область розрізнення кольору – зелена, найбільш широка – жовта (навіть дальтоніки бачать цей колір).

Деякі характеристики ока нелінійні. Шкалу прибору треба використовувати на відстані до 500 мм від очей. Збільшення відстані до 5 м без пропорційного збільшення шкали дасть у 10 разів більшу похибку.

Середній час наведення двох очей в одну точку – близько 0,17 секунди, розрізнення площ двох фігур – до 2 секунд; здатність за кутом зору 3...12°, за яскравістю до 2%. Ці параметри забезпечуються при спостереженні протягом 0,5 с. Час адаптації ока до зміни освітленості – від 5 до 30...40 хвилин.

Візуальні індикатори можуть мати вигляд світлофорів, лічильників, шкал і світлопланів.

Світлофори – це сигнальна лампочка, табло або світна кнопка (клавіша), яка сигналізує про наявність або відсутність сигналу. У світлофорах застосовують усі кольори, крім синього, який сприяє поганому розрізненню індикаторів.

Лічильники – це найбільш точні пристрої. Але їх недоліком є те, що вони не можуть показувати напрямок і швидкість зміни параметру. Вони мають дуже малий темп подачі сигналів.

Шкали поділяються за формою та рухомістю. Основна вимога до шкал це чітке розрізнення розподілів і знаків.

Світлоплани – це електронно-променеві трубки, люмінесцентні і газорозрядні індикатори, рідинно-кристалічні індикатори і світло-випромінюючі діоди, виконані зазвичай у вигляді комбінованих дисплеїв.

Для полегшення роботи з приборами рекомендується використовувати мнемосхеми.

Слуховий аналізатор, основний елемент якого – вухо, сприймає прості (чисті тони) і складні (мова, музика) звукові коливання у широкому діапазоні частот (20...20000 Гц) і рівнів сигналу (0,002...100 Н/м²).

Слух забезпечує стереоефект (до 120 Дб), біоуральний слух має незначну здатність за кутами простору, але забезпечує прийом сигналів з будь-якої точки простору, у центрі якого знаходиться людина-оператор.

До основних рекомендацій з акустичних індикаторів можна віднести те, що час дії сигналу повинен бути більше 0,5 с. Якщо використовується декілька акустичних систем, то кут між ними повинен бути 15...20° (без повороту голови) або 3...4° (за можливості повернути голову на джерело звуку). Обов'язково треба враховувати ефекти адаптації, наявність шуму (зайвих сигналів) та модуляцію сигналу.

Тактильний аналізатор дає можливість на дотик визначати характерні форми органів керування і полегшувати або прискорювати процес керування. До тактильних індикаторів відносяться помітні на дотик рукоятки, кнопки, тумблери. Для кращого розрізнення рукояток, кнопок або тумблерів їх розміри повинні розрізнятися між собою більше ніж на 20 %.

З урахуванням вище наведених рекомендацій, у випадку, коли органи керування розташовані поруч, але результат їхньої дії різний, для органів керування треба використовувати різний колір і форми.

На підставі наведеного пропонуються загальні рекомендації до конструкцій індикаторів. Для рішення задачі орієнтації доцільно використовувати зорові аналізатори. Необхідно використовувати зорові аналізатори для зняття показників з багато-шкальних приладів та порівняння візуальних сигналів, що швидко слідують один за одним. Спостереження за джерелом інформації й одержання точної кількісної інформації та оцінки руху також найкраще проводити за допомогою зорових аналізаторів.

Використовувати слухові аналізатори треба для забезпечення індивідуального одно каналного зв'язку, передачі коротких повідомлень, сигналізації про завершення ряду слідуючих одна за одною операцій, для дублюючих сигналів.

Для розрізнення слухових сигналів між собою краще використовувати однаковий рівень звуку, але з різною частотою.

Тактильні аналізатори треба використовувати для тих випадків, коли зір або слух зайняті або коли потрібні підтверджуючі сигнали чи формуються прості команди керування.

Формування сигналів керування здійснюється регуляторами із застосуванням ефекторного апарата людини - оператора. В цьому випадку можливо два режими роботи: людина-інструмент (джерело сигналу) і людина - машина (джерело енергії).

При виборі або конструюванні регуляторів необхідно дотримуватися двох основних правил:

1. Не можна нехтувати руховими навичками людини. У протилежному випадку утруднюється процес керування.

2. Для досягнення максимального ефекту керування зусилля, прикладені людиною до регуляторів, повинні відповідати характеру дії регулятора.

За конструкцією всі регулятори можна поділити на:

– натискні (кнопки, клавіші, педалі). Чим рідше використовується регулятор і чим менше прикладене до нього зусилля, тим менше може бути діаметр поверхні натискання. Поверхня кнопки виконується вгнутою для полегшення фіксації пальця;

– рухомі регулятори – це здебільшого прості перемикачі, які, як і натискні, повинні мати два чітко фіксуючих крайніх положення (небажане виключення - трипозиційні);

– кутові регулятори – це головки тумблерів і важелів, які повинні мати чітко помітний кут відхилення і розміри (форму) головки для захоплення пальцями або всією рукою;

– обертальні регулятори – це різноманітні ручки керування з плавним або дискретним рухом робочого елемента.

Рукоятки керування можуть бути тактильними індикаторами, що дає можливість визначати характерні форми рукояток і полегшувати або прискорювати процес керування.

Великий вплив на точність і темп роботи людини – оператора справляють ступінь навченості, тренування і професійна придатність. Головна умова продуктивної праці – необхідність, здатність і бажання виконувати поставлене завдання.

Для забезпечення універсальності обслуговування об'єктів операторами з різними параметрами треба дотримуватися принципу максимальної стабільності характеристик об'єкта, а індикатори та органи керування групуються на панелях керування (приладу) за їхнім функціональним застосуванням.

Найбільш важливі і часто використовувані індикатори й органи керування розміщують в оптимальній зоні.

Аварійні індикатори розташовують у легкодоступних місцях поза межами оптимальної зони.

Другорядні індикатори розташовують відповідно до частоти використання поза межами оптимальної зони, керуючись правилами угрупування і взаємозв'язку між ними.

При груповому розміщенні індикаторів для контрольного зчитування за наявності в групі шести і більше індикаторів їх розташовують у вигляді двох рівнобіжних рядів (вертикальних або горизонтальних).

Не треба робити більш п'яти – шести рядів індикаторів. За наявності 25–30 і більше індикаторів рекомендується комплектувати їх у 2–3 зорovo помітні групи. Лицьові поверхні індикаторів слід розташовувати перпендикулярно до лінії погляду оператора, який знаходиться в робочій позі.

При розміщенні органів керування необхідно розташовувати їх в зоні досяжності. Людина-оператор не повинна змінювати робочу позу при керуванні і перехресувати руки (ноги) або закривати рукою індикатор при його включенні. Важливі і часто використовувані органи керування повинні бути розташовані у зоні легкої досяжності.

Органи керування необхідно розташовувати в послідовності, що відповідає послідовності дій (наприклад, вмикання - вимикання) і групуватися таким чином, щоб дії оператора здійснювалися зліва – направо і зверху – вниз.

При правильно розміщених органах керування людина-оператор, працюючи, не повинна думати про майбутні маніпуляції керування. Розташування функціонально однакових органів керування повинно бути однаковим у всіх групах. Це розташування повинно забезпечувати рівномірність навантаження обох рук і ніг людини-оператора. Поверхні, на яких розташовуються індикатори та органи керування, не повинні бути монотонними, зони їх розташування повинні бути добре освітленими.

Розміри органів керування повинні відповідати прикладеним зусиллям. Форма і фактура поверхні повинна забезпечувати зручне захоплення.

Колірне оформлення повинно бути погоджене з загальним колірним рішенням об'єкта.

Не слід використовувати «накладний» колір, тобто фарби, краще застосовувати матеріали відповідного кольору, хімічні або гальванічні покриття. Форма не повинна ускладнювати видалення забруднень.

Конструкція повинна гарантувати безпеку оператора.

2.7.3 Ергономічне відпрацювання конструкцій

Ергономіка вивчає функціональні можливості людини в трудовому процесі, з метою створення оптимальних умов і підвищення продуктивності праці та, відповідно, рівня безпеки.

Стандарти встановлюють чотири групи комплексних ергономічних показників, таких як гігієнічні, антропометричні, фізіологічні, психофізіологічні та психологічні. За цими показниками оцінюється якість продукції в цілому і, зокрема, відповідної конструкції.

До гігієнічних показників відносяться рівні освітленості, температури, вологості, запиленості і тиску повітря, мікроклімат, механічні і фізичні фактори, такі як: напруженість магнітних і електричних полів, радіація, токсичність, шум і вібрація, гравітаційні переваження і прискорення. Ці показники є предметом охорони праці і техніки безпеки.

Антропометричні показники визначаються відповідністю конструкції об'єкта розмірам і формі тіла людини та розподілові маси її тіла. Ці показники перевіряють порівнянням відповідних розмірів тіла людини при різних робочих позах з відповідними розмірами машини.

Фізіологічні і психофізіологічні показники визначаються відповідністю конструкції об'єкта фізіологічним можливостям людини: силовим, швидкісним, енергетичним, зоровим, слуховим, дотиковим, нюховим і смаковим.

Для перевірки цих показників аналізують розміри органів керування, їхню форму і прикладені зусилля, зони огляду робочої зони людини-оператора при керуванні відповідними регуляторами, аналізують характер рухів.

Зона огляду робочої зони людини-оператора (рис. 2.17) при керуванні регуляторами у $30\ldots 40^\circ$ відповідає максимальній здатності людського ока, $50\ldots 60^\circ$ – відповідає чіткому кольоровому, а 90° - чорно-білому зору.

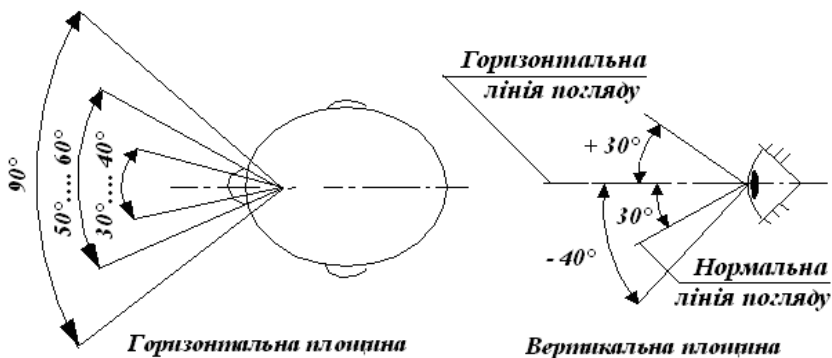


Рис. 2.17 – Оптимальне розташування візуальних індикаторів

Якщо людина-оператор повинна часто виконувати переключення, то величина зусилля, прикладеного до об'єкта керування, повинна бути зменшена в 2-3 рази у порівнянні з одноразовим включенням.

При аналізі робочих зон слід мати на увазі, що величина зусилля, прикладеного до об'єкта керування, залежить від напрямку (вгору, униз, убік), висоти розташування (від 300 до 1800 мм) та руки (у більшості людей права рука сильніше лівої в 1,2 рази).

В усіх випадках величина зусилля, прикладеного до об'єкта керування для рук не більше 150 Н, а для ніг не більше 250 Н.

Тривалість натискання на орган керування більше 3 секунд призводить до стомлення.

Психологічні показники конструкції виробу визначаються відповідністю закріплених і знову сформованих робочих навичок людини її можливостям зі сприйняття і переробки інформації.

В основі ергономічного відпрацювання конструкції лежить повна сукупність ергономічних параметрів, що дозволяють знайти оптимальне художньо-конструкторське рішення.

Основні етапи ергономічного відпрацювання конструкції визначаються стадіями розробки:

1) на стадії технічного завдання виконується попередній ергономічний аналіз аналогів і прототипів розроблюваного об'єкта (не тільки кращих, але і свідомо «поганих»), а також детальний аналіз конкретних умов функціонування об'єкта і виявлення найбільш важливих ергономічних показників;

2) на стадії ескізного проектування виконується пошуковий етап ергономічного аналізу, на якому розглядають декілька варіантів конструкції об'єкта (художньо-конструкторське рішення);

3) на стадії технічного проекту виконується остаточне художньо-конструкторське компонування об'єкта з ретельним ергономічним відпрацюванням панелей і пультів керування з індикаторами і регуляторами;

4) на стадії робочого проектування проводиться авторський нагляд за реалізацією прийнятих художньо-конструкторських рішень.

Ергономічне відпрацювання проводиться на основі ергономічного аналізу.

Ергономічний аналіз застосовує також інші різноманітні методи дослідження:

- соціологічні методи (опитування);
- візуальні (органометричні) методи;
- складання циклограм роботи людини-оператора з застосуванням хронометражу і фотохронометражу (фото-, кіно- або відеозйомка);
- електрофізіологічні методи.

До видів ергономічних досліджень, зокрема, відносяться:

- електроенцефалографія (мозок);
- електрооколографія (рухи яблука ока);
- електроміографія (м'язи);
- електрокардіографія (серце);

- динамометрія (рухи кінцівок);
- соматографія;
- антропометрія.

2.7.4 Ергономічний аналіз машини

Мета проведення ергономічного аналізу - відпрацювання ергономічних показників створюваної машини. Для цього використовуються експерименти на макетах і моделях, а безпосередньо при проектуванні - прийоми соматографії, що базуються на анатомії людського тіла та антропометрії. При ергономічному аналізі враховують наступні основні групи факторів, такі як:

- на скільки враховані антропометричні, психофізіологічні, біомеханічні і гігієнічні дані людини-оператора;
- чи забезпечує робоче місце людині-операторові можливість перебувати у зручній позі, достатній робочий простір, можливість зміни робочої пози (наприклад, стоячи-сидячи), зручний огляд усіх функціонально важливих вузлів і елементів об'єкта, умови для оперативного обслуговування і профілактики;
- чи створює колірне вирішення об'єкта позитивні емоції у людини-оператора і чи компенсуються несприятливі впливи робочого процесу;
- чи є інформація, що надходить до людини-оператора, наочною і такою, що відповідає сформованим у ній уявленням і стереотипам дій.

При ергономічному аналізі необхідно також враховувати кліматичні умови місцевості, мікроклімат приміщення і його інтер'єр, необхідний ритм роботи оператора, частоту виконання і точність робочих операцій, характеристики основних (типових) пошукових маршрутів оператора та необхідність і можливість зміни робочої пози, питання взаємодії з іншими операторами.

На підставі цього необхідно провести аналіз габаритів об'єкта, визначити:

- оперативні робочі зони і межі робочого місця в цілому й установити їхню відповідність антропометричним даним (рис. 2.18, 2.19);
- визначити обсяг і якість оперативної інформації, що подається на панелях об'єкта, і проаналізувати їхню відповідність психофізіологічним можливостям людини-оператора;
- визначити склад органів керування і проаналізувати їх з погляду хіротехніки – галузі ергономіки, що займається розробкою

найбільш раціональної форми рукояток керування (або ручного інструмента);

– проаналізувати взаємодію сенсорних і моторних зон, відповідно до органів керування та індикаторів;

– проаналізувати відповідність типових оперативних маршрутів біомеханічним вимогам.

Результати ергономічного аналізу дають можливість забезпечити рівномірний розподіл психофізіологічних навантажень на людину–оператора та природність, плавність і послідовність робочих операцій.

При цьому використовується схематичне зображення людського тіла в різних положеннях для визначення пропорційних співвідношень людини і машини.

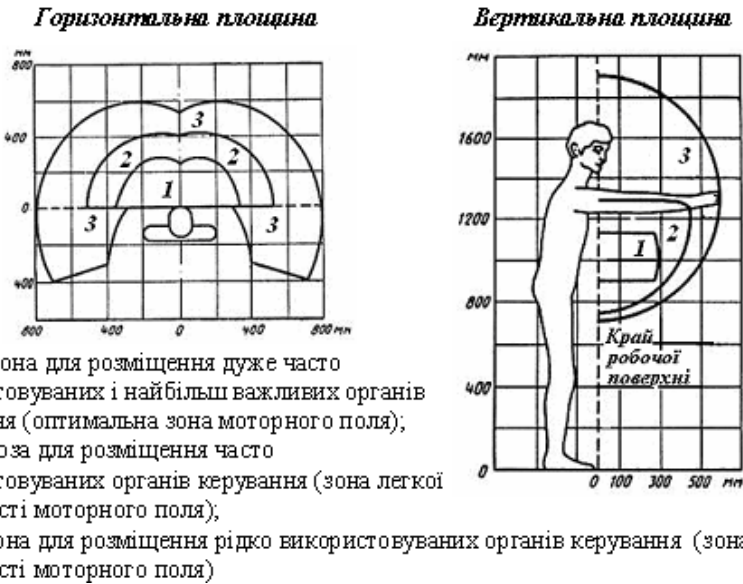


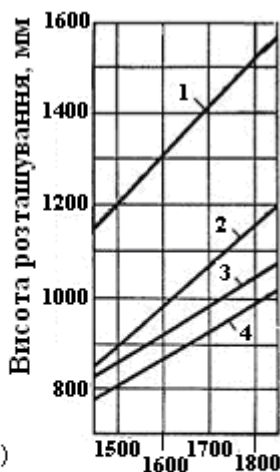
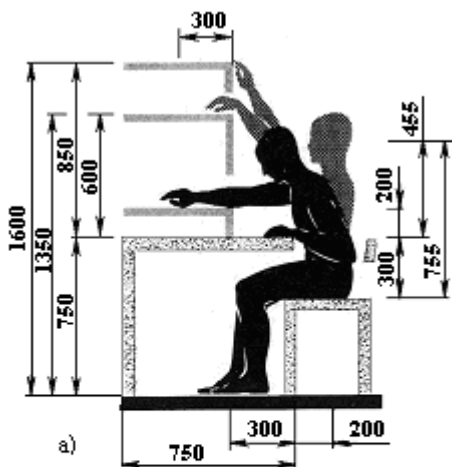
Рис. 2. 18 – Робочі зони людини-оператора

Під робочим простором у співвідношенні людини й машини розуміється той простір, на який поширюється вплив людини під час роботи.

Вважається, що робочий простір організований раціонально, якщо оператор легко й швидко може дістати й побачити всі елементи, необхідні для роботи.

Так, висота зони роботи руками повинна бути обрана з таким розрахунком, щоб оператор міг зручно сидіти, за необхідності опиратися на підлокітники й не був змушений приймати при роботі незручну робочу позу.

Органи керування повинні бути розташовані на 200...300 мм вище переднього краю сидіння й на відстані 450...600 мм від спинки крісла. У переведеному положенні «на себе» відстань від рукоятки важеля до спинки крісла повинна бути не менше 350 мм і не більше 700 мм.



а) Зони досяжності рук людини-оператора;

б) Номограма залежності від росту людини

висоти розташування засобів відображення інформації (1)

і висоти робочої поверхні - при легкій роботі(2),

- при роботі середньої ваги (3),

- при важкій роботі (4)

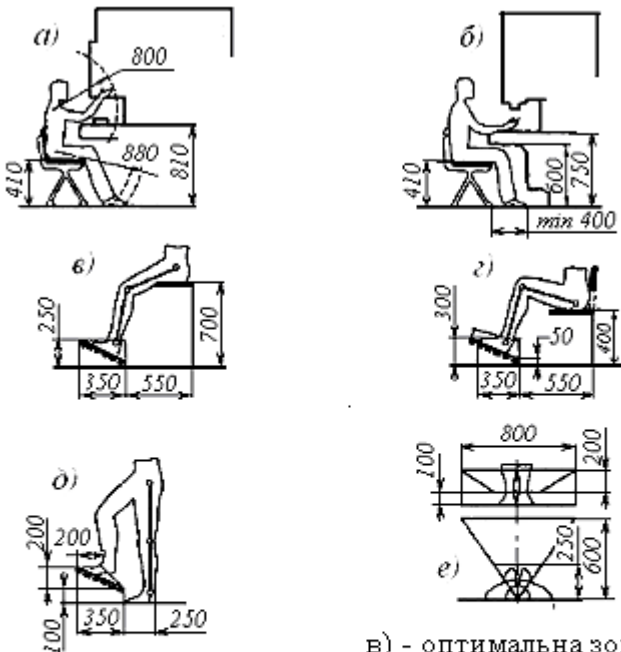
Рис. 2.19 – Зони досяжності рук людини

Залежно від ходу педалі (50...150 мм), відстань педаль від спинки крісла повинна бути 920...810 мм.

При аналізі робочого простору (рис.2.20) перевіряють його розміри (наприклад, кабіни водія, просторість, зручність і волю переміщення, чи зручно операторові займати робоче місце).

Оцінюють оптимальність розміщення робочого місця (крісла в кабіні) й устаткування, що входить до складу робочого місця (індикаторів, органів керування, інструмента, полиць та ін.).

Перевіряють наявність необхідних інструкцій, попереджувальних написів і знаків, які допоможуть операторові швидко, точно й безпечно виконувати робочі операції.



а), б) - схема робочого простору при роботі на верстатах;

г) - оптимальна зона руху ніг при низькому рівні посадочного місця;

в) - оптимальна зона руху ніг при високому рівні посадочного місця;

д) - оптимальна зона руху ніг для людини, що стоїть;
 е) - простір оптимального розташування педалей

Рис. 2.20 – Схема робочого простору

Оцінюють зручність огляду з кабіни, робочу позу оператора, її зручність і зміну під час виконання операцій, робочу зону для ніг, покриття підлоги.

Перевіряють досяжність оператором органів керування, наявних у кабіні, й іншого устаткування, чи не закривають руки оператора під час роботи прилади, чи не зменшується при цьому огляд органів керування.

При створенні робочого простору важливим фактором є робоче крісло оператора, призначення якого полягає не тільки в тім, щоб знизити навантаження на ноги людини, але й створити упор оператора для того, щоб він міг підтримувати стабільну позу під час роботи і розслабляти ті м'язи, які не беруть участі в роботі.

Перша ознака доброї конструкції крісла - відповідність його розмірів антропометричним даним оператора. Висота сидіння не повинна перевищувати висоту ноги до підколінного вузла при зігнутому під прямим кутом коліні. Якщо висота сидіння більше, оператор буде відчувати надмірний тиск на нижню частину стегон.

Бажано, щоб висота сидіння регулювалася. Глибина сидіння (відстань від спинки до переднього краю) повинна бути такою, щоб запобігти тиску краю сидіння на підколінну ямку та ікри ніг.

Ширина сидіння визначається, головним чином, достатньою площею для стегон і таза.

Підлокітники можуть обмежувати рух, але в деяких випадках забезпечують бічний опір для тіла оператора. Також підлокітники можуть використовуватися для упору рук, коли оператор сідає в крісло або встає з нього.

Спинка сидіння повинна забезпечити зручне положення для хребта оператора. Кут між навантаженим сидінням і спинкою повинен бути не менше 95 °.

Поверхня сидіння повинна бути горизонтальною, але краще мати нахил від переднього краю до спинки, рівний 5°; нахил уперед неприпустимий.

Оббивка (покриття) сидіння повинна бути досить шорсткуватою, щоб запобігти ковзанню тіла, але не настільки, щоб заважати тому, хто сидить, змінювати позу.

У той же час матеріал оббивки повинен бути міцним, повітропроникним, вібродемпфіруючим та таким, що легко миється.

Важливим етапом ергономічного аналізу є відповідна перевірка засобів відображення інформації (ЗВІ), тобто органів контролю й сигналізації. Інформація, що надходить від машини до оператора, має важливе значення для її ефективного використання, тому що про стан машини, характер відхилень робочих параметрів, результат своїх дій оператор судить за даними ЗВІ, основними з яких є контроль-но-вимірювальна апаратура, різноманітні лічильники, світлові табло, мнемосхеми, цифрові індикатори і т.д.

Основні ергономічні вимоги до ЗВІ: інформація, одержувана оператором від ЗВІ, повинна бути точною і своєчасною, в обсязі, який відповідає реальним можливостям людини з її переробки та є достатнім для оцінки ситуації, вибору правильного рішення і контролю за його виконанням.

Форма інформації повинна бути зручною для її безпосереднього використання (повинні бути виключені процеси перекодування, перерахування, переклад даних з однієї системи в іншу).

Оператор сприймає візуальну (зорову), звукову (акустичну) і тактильну (дотик) форми індикації. У машинобудуванні найчастіше застосовується візуальна індикація: стрілочні прилади, лічильники, лімби, графічні індикатори та ін.

На зчитування показань (процес прийому інформації) великою мірою впливають окремі елементи приладів: шкали, стрілки, цифри, штрихи та відстань між ними, компонування приладу і т.д.

Так, цифри на шкалах, риси розподілу, стрілки повинні добре контрастувати з лицьовою частиною приладу й бути досить освітленими. Важливими є наявність і розміщення написів, що відносяться до відповідних органів контролю та сигналізації, колірне рішення панелі.

Найчастіше використовуються рухомі шкали з фіксованою оцінкою. Цифри шкали повинні зростати в напрямку руху за ходом годинникової стрілки зліва - направо або знизу вгору. Початок і кінець шкали повинні бути чітко позначені.

Оптимальний розмір лінійних шкал становить 62...72 мм за довжиною, іноді допускається менше 55 або більше 100...125 мм. Оптимальна ширина штриха у стрілочних приладах дорівнює 0,8... 1,0 мм. Оцифровані штрихи повинні бути в 2-4 рази більшої товщини і в 2-2,5 рази довгими за інші. Стрілка не повинна закривати цифри на розпо-

ділах шкал. Її встановлюють так, щоб можливість помилки зчитування через візуальний паралакс була мінімальною.

Важливою ознакою приладу є довжина стрілки. Коли видний тільки її кінець або вона не дістає до розподілів шкали, помилки зчитування значно зростають.

Нормальна лінія спостереження (або погляду) оператора проходить на 10° нижче лінії обрію при роботі стоячи, та на 15° при роботі сидячи. Тому з урахуванням основних зон зорового поля людини ЗВІ рекомендується розташовувати по вертикалі в межах $0...30^\circ$ униз від лінії погляду.

Гранично припустимим розташуванням приладів слід вважати 30° догори й 45° униз від лінії погляду та по горизонталі під кутом $\pm 30^\circ$ від серединної площини. При цьому фронтальні частини індикаторів необхідно розмішувати перпендикулярно до лінії погляду. Другорядні прилади й пристрої, що не використовуються оператором в основній роботі, виносять за поле зору оператора.

Необхідно також мати на увазі, що час зчитування показань приладів залежить від перепадів відстаней між ними за глибиною, тобто від різниці відстаней до ока. Так, при переносі погляду із приладу, розташованого на відстані 56 см від ока, на прилад, розташований на відстані 59 см, час зчитування показань збільшується на $5...14\%$, а при переносі погляду із приладу на відстані 66 см від ока на прилад, що є на відстані 114 см, час зчитування збільшується на $8...21\%$.

При аналізі засобів відображення інформації визначаються застосовані в конструкції типи індикації (звукова, зорова, тактильна) і раціональність розподілу інформації між типами індикації. Встановлюється наявність пристроїв, що сигналізують про аварійні ситуації, способи подачі аварійного сигналу, розміщення його в зонах, оптимальних для сприйняття, наявність перешкод для сприйняття сигналу (шум та ін.).

Оцінюється наявність органів контролю та сигналізації в оптимальних зонах зорового поля оператора, зручність сприйняття панелі приладів, розміщення приладів за глибиною. Визначається кут нахилу панелі приладів до лінії погляду.

Зручність обслуговування машини забезпечується мінімальними витратами часу на виконання операцій керування, антропометричною відповідністю, невеликими витратами фізичних сил при маніпулюванні органами керування, раціональним розташуванням при-

ладів й органів керування, що звільняє оператора від зайвої напруги пам'яті й уваги.

За конструктивним виконанням органи керування розподіляються на ряд підгруп: кнопки, тумблери, рукоятки, селекторні перемикачі, педалі, важелі, штурвали і т.д. При їхньому виборі й розміщенні необхідно враховувати загальні інженерно-психологічні вимоги.

Органи керування повинні розташовуватися з урахуванням принципу економії рухів. Це означає, що кількість і траєкторії рухів операторів повинні бути зведені до мінімуму, самі рухи повинні бути простими й ритмічними.

В зоні оптимального візуального контролю й досяжності розташовують найбільш важливі й часто використовувані органи керування. В особливу групу виділяють аварійні та ті, котрими користуються «наосліп». Їх розташовують у місцях, легкодоступних при будь-якому положенні оператора.

Для полегшення керування, зменшення помилок і часу пошуку потрібних органів керування використовують різні методи кодування: кольори, форми, пояснювальні написи тощо. Написи повинні бути короткими й містити тільки загальноприйняті скорочення.

Прості керуючі рухи типу «увімкнення-вимкнення» звичайно виконуються при поступальних рухах рук або ніг за допомогою кнопок, рукояток, педалей, важелів, тумблерів, причому рух на себе й від себе здійснювати легше, ніж рух убік.

Кожен тип органів керування має свої конструктивні особливості, продиктовані особливостями людини. Так, форма кнопок, їхні розміри повинні враховувати анатомічну будову пальців руки людини. Найбільш зручні, особливо при частому використанні, кнопки чотирикутної форми із закругленими кутами або закругленою верхньою виїмкою. Для поліпшення фіксації пальця на кнопці в ній повинна бути неглибока насічка або виїмка. Оптимальне розташування кнопок - на рівні ліктя людини, що сидить.

Важільні вимикачі (тумблери) рекомендується розміщувати горизонтальними рядами. Відстань між ними повинна бути не менше 20 мм, а опір зусиллю при довжині тумблера до 30 мм становити 3...5 Н, при довжині 50 мм - 10 Н. Бажано, щоб перемикання супроводжувалося характерним «клацанням».

Маховики (штурвали) повинні мати нахил близько 45° у вертикальній площині, а центр маховика повинен розташовуватися

приблизно на висоті ліктя (близько 23 см від поверхні сидіння). Рекомендовані параметри маховиків і штурвалів керування наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Рекомендовані параметри маховиків і штурвалів керування

Діаметр маховиків, мм		150... 550
Окружне зусилля на ободі (Н), при роботі:	однією рукою	25... 150
	двома руками	25... 300

Поверхня ободу маховика повинна бути ретельно оброблена й не мати гострих ребер.

Для швидкого руху й перемикання в системах керування застосовуються важелі. Рух важеля до себе точніший, ніж від себе. Рух униз точніший, ніж праворуч - ліворуч.

Педалі повинні розміщатися відповідно до поздовжньої осі тіла оператора (відхилення не більше 100 мм).

Відстань між педалями по осях рекомендовано брати 200...450 мм.

Довжина часто й довгостроково використовуваних педалей - 280...300 мм, для короткочасного й рідкого натискання - 75 мм, ширина - 85 мм.

Хід педалей не повинен перевищувати 125...150 мм.

На їхніх поверхнях виконують насічки (рифлення).

Зусилля, що рекомендують для важелів і педалей керування, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Рекомендовані зусилля на засобах керування

Орган керування		Сила, Н
Рукоятка		20...40
Кнопки, тумблери, перемикачі:	«легкого типу»	1,4...1,6
	«важкого типу»	3...12
Ножні педалі керування, що використовуються:	рідко	до 300
	часто	10...50
Важелі ручного керування, що використовуються:	періодично	120...160
	постійно	20...40

Для досягнення оптимальних результатів прилади ЗВІ й органи керування машиною повинні бути розташовані в робочому прос-

торі відповідно до логіки діяльності людини. При цьому в основу розміщення приладів й органів керування можуть бути покладені наступні принципи:

- функціональної відповідності – прилади й органи керування групуються на панелі за спільністю відбиваних ними показників процесу (манометри в одній групі, витратоміри в іншій і т.д.);

- важливості та частоти використання – прилади найбільш відповідальні, що мають важливе значення й найбільш часто використовувані, містяться там, де умови для їхнього сприйняття й використання найкращі, у доступному для оператора місці, у межах оптимальної зони поля зору і поля досяжності;

- послідовності використання – прилади й відповідні їм органи керування розташовують усередині функціональних груп у тій послідовності, у якій людина-оператор звичайно зчитує їхні показання. Звичайно ця послідовність відповідає стереотипу читання книги – ліворуч-праворуч і зверху-вниз;

- погодженості розташування (картинності). Взаємне розташування приладів погоджують із просторовим розташуванням вузлів машини.

В особливу групу виділяють аварійні органи керування і ті, котрими користуються «наосліп». Вони повинні не тільки відрізнятися від звичайних, але й бути просторово віддаленими від останніх.

Фактори виробничого середовища (температура, повітря, освітленість, шум, вібрація та ін.) істотно впливають на функціональний стан працездатності оператора.

Так, висока температура в поєднанні з високою вологістю повітря негативно позначається на працездатності та деяких психологічних функціях людини. Знижується обсяг оперативної пам'яті, увага, погіршується протікання рахункових операцій та ін. Залежно від виду роботи, що виконується, оптимальною є температура повітря 13...24 °С.

При освітленні робочого місця оператора необхідно уникати різкого контрасту об'єкта робочої операції і навколишнього тіла, не допускати джерел виблисків в полі зору, ритмічного чергування темних і світлих поверхонь.

Вібрації - основний механічний фактор виробничого середовища. При вібраціях знижується гострота зору, з'являються головний біль, запаморочення, атрофія м'язів верхніх і нижніх кінцівок.

У більш важких випадках можлива поява так званої вібраційної хвороби. Варто мати на увазі, що людина гірше переносить вер-

тикальні коливання, ніж горизонтальні. Найнебезпечніша вібрація із частотою 6...8 Гц, тому що в цьому діапазоні лежить власна частота коливань тіла, голови й органів черевної порожнини людини.

Основні ергономічні критерії добре сконструйованої машини: безпека, ремонтпридатність і зручність обслуговування. Частозамінні деталі, вузли, блоки повинні бути не тільки легкодоступні, але й розташовані таким чином, щоб їхнє зняття або заміна не вимагали додаткового розбирання машини.

Періодичне змащення поверхонь тертя повинно здійснюватися без розбирання вузла. Окремі точки змащення слід супроводжувати написами із зазначенням сорту мастильних матеріалів і періодичності змащення.

У кожухах і корпусних деталях, особливо зварних, не повинно бути гострих країв і кутів, які можуть стати причиною травм під час роботи.

2.8 Оцінка результатів прийнятого художньо-конструкторського рішення

Для об'єктивної оцінки виконання експлуатаційних, компоновочних, естетичних, соціально-економічних, ергономічних і конструктивно-технологічних вимог застосовують спеціальні методики. До цих методик відносять групові або експертні методи оцінки (бали: 0...1 – погано; 1...2 – задовільно; 2...3 – добре; 3...4 – відмінно). Експертні методи оцінки можна застосовувати, коли є кваліфікована група експертів, але це оцінка «суб'єктивна».

Більш об'єктивним і, відповідно, більш складним є метод неповних інтегральних аналогів, тому що він використовує теорію інваріантів, критерії оцінки і критеріальні рівняння.

Відповідно до методик з оцінки художньо-конструкторського рішення застосовують показники:

Інформаційна виразність характеризує здатність об'єкта відбивати у своїй формі діючі в суспільстві естетичні уявлення і культурні норми, такі як, наприклад: оригінальність (відмінність від аналогів), стильова відповідність (стійкі ознаки форми, що відповідають визначеному періоду), відповідність моді (зовнішній вигляд, відповідність тимчасово пануючим естетичним смакам), раціональність форми (відповідність призначенню, конструкції, технології виготовлення і застосовуваних матеріалів).

Цілісність композиції характеризує гармонійну єдність частин і цілого, органічний взаємозв'язок елементів форми об'єкта і його погодженість з формою навколишніх об'єктів.

Досконалість виробничого виконання і стабільність товарного виду характеризують чистота виконання контурів, округлень і з'єднань елементів, якість нанесення покриття і обробки поверхонь, чіткість виконання фірмових знаків і покажчиків, досконалість комплекту ескізно-технологічної документації та інформаційних (реklamних) матеріалів, стійкість до ушкоджень.

Форма, зовнішні поверхні, їхня обробка і фарбування є основними елементами, що створюють естетичне сприйняття об'єкта.

При художньо-конструкторському відпрацюванні необхідно враховувати наступні вимоги до форми:

1) зовнішні обриси об'єкта повинні бути простими і чіткими. Треба забезпечити єдність форми і змісту для зовнішніх робочих органів. Форма «квадрат» є кращою, ніж «прямокутник», гострі кути округляються, але великий радіус округлення візуально робить конструкцію більш важкою. Проста форма полегшує видалення забруднень;

2) пропорції окремих частин забезпечують виділенням у конструкції вертикальних або горизонтальних ліній. При цьому враховують, що вертикальні лінії роблять об'єкт візуально «вище», а горизонтальні «нижче»;

3) форма об'єкта в цілому повинна бути гармонійно пов'язана з формою пультів керування;

4) елементи зовнішньої поверхні об'єкта, такі як, петлі і ручки кришок (люків, дверей), кришки і кожухи для рухомих частин не треба виділяти на тлі зовнішньої поверхні. Петлі і ручки повинні бути ретельно оброблені.

При художньо-конструкторському відпрацюванні елементів конструкції необхідно враховувати наступні вимоги до обробки і фарбування:

1) фарбування об'єкта повинно відповідати його конструкції і не збігатися з фарбуванням приміщення (або кольором навколишнього середовища);

2) строкате фарбування створює враження безладності і «дрібності» конструкції;

3) темне фарбування створює враження ваги і бруду, світлі кольори – враження легкості. Темні кольори застосовують тільки для фарбування фундаментів і опорних конструкцій;

4) травмонебезпечні деталі і частини виробів фарбують у яскраві, попереджуючі кольори. Для елементів об'єктів устаткування, що рухаються, (столи, салазки) при фарбуванні слід застосовувати «розтигровку», що активізує увагу персоналу;

5) органи керування фарбують у яскраві, добре помітні кольори;

6) внутрішні поверхні корпусних деталей фарбують для полегшення зборки у світлі кольори. Двері, люки, відкидні панелі фарбують у яскраві кольори, щоб вони чітко виділялися у відкритому положенні;

7) об'єкти, що випромінюють тепло, фарбують у сріблястий або голубий кольори.

На сприйняття форми і кольору значно впливає освітлення.

Основні вимоги до штучного освітлення робочих місць:

– краще застосовувати індивідуальні світильники, розташовані посередині довжини робочої зони на висоті 1900...2000 мм від підлоги і на відстані 150...200 мм від переднього краю робочої зони (при роботі стоячи). При інших роботах індивідуальні світильники встановлюються оператором у бажаному положенні відносно робочої зони;

– блискучі предмети слід висвітлювати розсіяним світлом. Дрібні темні предмети краще видні на світлому фоні, а світлі предмети краще видні на темному фоні;

– світло повинно падати на поверхню предмета під невеликим кутом, це краще виявляє фактуру;

– необхідно уникати різкої контрастності, освітленості об'єкта робочої операції і навколишнього середовища (місцеве плюс загальне освітлення);

– необхідно уникати джерел, що відбивають світло, а також ритмічного чергування темних і світлих поверхонь у полі зору. Це знімає у працюючих так звані післяобрази (людина бачить якийсь яскравий предмет, у той час як він уже покинув поле зору). Післяобрази знімаються також застосуванням додаткових кольорів при фарбуванні.

2.9 Основи композиції

Естетичний аналіз вимагає знання основ теорії композиції, тенденцій розвитку об'єктів даного виду, особливостей сприйняття кольору, наявності почуття матеріалу і стилю, професійного художнього смаку тощо.

Принципи «подобається – не подобається», «красиво – не красиво» як суб'єктивні категорії не можуть бути основою естетичного аналізу, відповідні методики якого дозволяють для конкретного об'єкта виявити об'ємно-просторову структуру, гармонійність форми, колірні рішення і т. д.

Розглянемо основи композиції, які відносяться до поняття «технічна форма», тобто стосовно до об'єктів утилітарного виробничо-технічного і побутового призначення, на відміну від поняття «декоративна форма», що відноситься до об'єктів винятково або переважно декоративного призначення.

Композиція (лат. *compositio* – складання, розташування, творчість) – це структура, взаємозв'язок найважливіших елементів об'єкта, який визначається його змістом та відображує задум автора (конструктора).

В основі композиції технічного об'єкта лежить вибір співвідпорядкованості елементів (або групи елементів).

Як елементи композиції виділяють геометричні, світлотіньові або колірні властивості форми об'єкта. Композиція характеризується категоріями (тектоніка і об'ємно-просторова структура об'єкта), властивостями й якостями (гармонійна цілісність форми, співвідпорядкованість, композиційна рівновага, симетрія, асиметрія та їхні сполучення, динамічність і статичність форми, єдність характеру форми), засобами (композиційні прийоми, пропорції і масштаб, контраст і нюанси, метрика і ритміка, тіні і пластика).

Число поєднань безлічі композиційних факторів дуже велике і тільки освіта, досвід і талант автора можуть допомогти йому знайти дійсно вдале рішення.

В основі композиції технічного об'єкта лежить наука тектоніка. Тектоніка це зрине відображення роботи конструкції і матеріалу у формі. У тектоніці відображується зв'язок форми і змісту виробу.

Наприклад, лита конструкція має таку форму, щоб однозначно було видно – це лита, а не зварена або яка-небудь інша конструкція. Тому говорять про тектоніку «литої форми», про тектоніку «штампованих опорних елементів», про тектоніку «пластмасових конструкцій» тощо.

Поняття «тектоніка» нерозривно зв'язує дві найважливіші характеристики об'єкта - його конструктивну основу (матеріал) і форму у всіх її проявах (у цілому і частково).

Конструктивна основа, крім матеріалу, включає силові елементи конструкції, як і відповідають характеру розподілу зусиль (си-

ловим потокам) та співвідношенню мас і окремих елементів, а форма повинна все це чітко відбивати.

2.9.1 Об'ємно - просторова структура

Усяка форма володіє двома властивостями: вона матеріальна і просторова.

Матеріальність форми визначається об'ємом, що обмежує частину простору визначених розмірів і конфігурації. Об'єм і простір – рівноправні елементи композиції.

Об'ємно-просторова властивість визначає характер взаємодії об'єму з простором. Об'єм повинен відображувати внутрішні закономірності, які властиві об'єкту, відбивати його функціонально-конструктивну основу та розвиватися в просторі у певній закономірності. Ідеальна об'ємно-просторова властивість дозволяє споживачу, який бачить форму виробу в одній проекції легко уявити, як він виглядає в інших.

Основні категорії композиції тісно взаємозалежні. Недотримання тектоніки, тобто помилкове відображення роботи конструктивної основи, порушує органічний зв'язок елементів об'ємно-просторових властивостей об'єкта, і навпаки. Такі недотримання виникають, коли інженер-конструктор розглядає форму маючи на увазі тільки її технічну основу, ніби «зсередини», а оформлювач тільки «ззовні». Тільки творчий союз інженера-конструктора та дизайнера, які йдуть до форми одночасно «зсередини» і «ззовні», у підсумку сприяє створенню цілісного, гармонічного виробу.

2.9.2 Властивості й якості композиції

Аналіз властивостей і якостей композиції дозволяє виділити наступні естетичні показники об'єкта: гармонійну цілісність форми, співвідпорядкованість елементів, композиційну рівновагу елементів, симетрію й асиметрію елементів та їхньої комбінації, динамічність і статичність елементів та їхній характер.

Основні властивості й якості композиції об'єкта можна, досить умовно, розділити на головні, що визначають дану форму, і другорядні. Однак оцінка якості композиції не може бути результатом механічного підсумовування оцінок за окремими їх властивостями.

Гармонійна цілісність форми відбиває логіку та органічні зв'язки конструктивного рішення з його композиційним втіленням. Ос-

новна якість композиції – це контраст та протиставлення у конструкції простого і складного.

Співвідпорядкованість елементів у конструкції визначається її закономірностями, що залежать від виду або характеру об'єкта.

В технологічному устаткуванні визначальними є базові елементи, що несуть основне конструктивне навантаження. Їхня форма визначається матеріалом, такою здатністю протистояти навантаженням, що характеризує міцність і жорсткість конструкції.

Лицева панель складного пульта керування є об'єктом, на якому у певній послідовності і відповідних сполученнях розташовані індикатори та органи керування. Їхня форма повинна відображувати інформаційну сутність пульта: що спостерігати, як натиснути, де переключити. Тому співвідпорядкованість елементів повинна базуватися на схемі зв'язків і необхідної послідовності дій керування.

Композиційна рівновага елементів і форми конструкції – це такий стан композиції об'єкта, при якому всі елементи збалансовані між собою. Така композиційна рівновага елементів і форми конструкції має назву «зорова композиційна урівноваженість» (рис. 2.21).

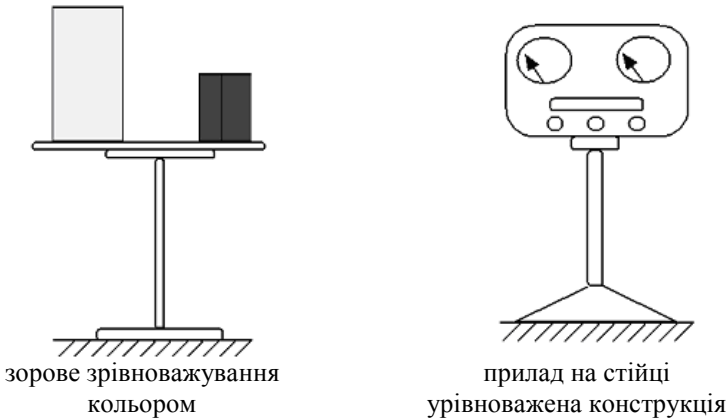


Рис. 2.21 – Класичні приклади композиційної рівноваги

Композиційна рівновага не є простою рівністю величин, вона залежить від розподілу основних мас відносно центра конструкції та характеру організації простору, обумовленого пропорціями і розташуванням осей, пластикою форми, колірними і тональними відношення.

2.9.3 Симетрія, асиметрія та їх комбінації

Під симетрією (грецьк. *symmetria*) в естетиці розуміють гармонійне розташування у просторі окремих частин цілого, домірність і відповідність між ними. Розрізняють симетрію: дзеркальну, центральну, площинну й осьову. Це найпростіші види симетрії, які є ознакою раціонального інженерного підходу.

Але не можна стверджувати, що симетрична композиція завжди краще за асиметричну.

Гармонія симетричної форми видна одразу. Уловити гармонію в асиметричній формі значно складніше. Умовою цілісності асиметричної форми є її композиційна врівноваженість, яка може бути досягнута талановитим дизайнером за рахунок комбінацій симетрії та асиметрії.

2.9.4 Динамічність і статичність форми

Динамічною називають форму активно односторонньо спрямовану, що як би вторгається у простір.

Статична форма – підкреслене вираження стану спокою, непорушності, стійкості. Тут слід зазначити, що динамічність і статичність форми оцінюють по горизонтальній осі, що зв'язано з особливостями сприйняття людини (рис. 2.22).

Єдність характеру форми – це важлива властивість композиції, що визначає однаковий підхід до формоутворення всіх елементів даної форми. Тому всі об'єкти одного призначення взагалі мало відрізняються один від одного.

Композиція сприймається як ціле, якщо вона побудована з порівняно невеликого числа елементів. Однак це твердження - відносне, тому що менша кількість елементів композиції не завжди спрощує її оцінку. Тому для сприйняття конструкції як єдиного цілого важливо, щоб композиція укладалася в кут зору, що не перевищує 40°.

На підставі цього конструкцію, для цілісного сприйняття площинної композиції ми повинні розглядати з відстані, яка приблизно дорівнює діагоналі прямокутника, що уявно обмежує конструкцію (рис. 2.22).

При роботі над формою необхідно враховувати оптичні ілюзії, тобто помилкове тлумачення розмірів і конфігурації предметів при їхньому зоровому сприйнятті. Для забезпечення гармонійності форми в композицію вводяться відповідні корективи.

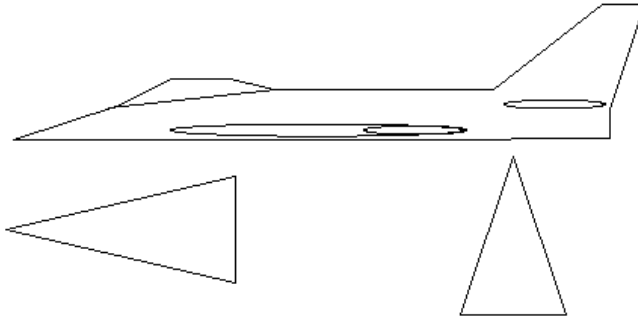


Рис. 2.22 – Динамічність і статичність форми

Оптичні ілюзії обумовлюються, головним чином, будовою зорового апарату людини, його зв'язками з мозком та чисто фізіологічними причинами.

Психологічні фактори сприйняття – це коливання уваги, увага, спостережливість, абстрактне мислення.

Ефект іррадіації світла полягає в тому, що біла фігура на чорному тлі здається більше, ніж така сама фігура чорного кольору на білому тлі. Тому при чередуванні чорних і білих смуг їх потрібно виконувати різної ширини. Чорні смуги потрібно виконувати ширше білих. Це стосується також штрихів шкал.

Око точніше оцінює ширину предметів, ніж їхню висоту або глибину. Контраст може привести до помилок в оцінці розмірів.

Знання та увага до фізіологічних і психологічних особливостей людського сприйняття дозволяє дизайнерові домагатися бажаного впливу форми та її узгодження в композиції.

Генеральний композиційний прийом, який приймається на початку художньо-конструкторської розробки, потім послідовно розвивається різними засобами композиції, виявляючи тим самим її основну ідею.

До них можна віднести варіанти художнього компоновання об'єкта: радіусні, лекальні або плоскі рубані форми утворюючих поверхонь, нюансне або контрастне рішення форми, матеріали, тощо.

2.9.5 Пропорції і масштаб

Пропорції або засіб гармонізації форми – це «класичний» засіб композиції, що стоїть на першому місці в арсеналі конструктора-

дизайнера. Пропорції визначаються розмірними відношеннями елементів форми і на них будується вся композиція.

Художники-конструктори використовують у своїй роботі системи пропорційності, вироблені багатовіковою практикою архітектури. Канонічне співвідношення для пропорційності – це закон «золотого перетину», що використовує ірраціональні відношення.

«**Золотий перетин**» характеризується таким відношенням нерівних частин, при якому ціле так відноситься до більшої частини, як велика частина до меншої.

Використовують і інші закономірності, такі як арифметична пропорція, геометрична, гармонійна тощо.

Масштаб (масштабність) – це особливий вид пропорційності об'єкта відповідно до людини. Масштаб – це міра відповідності предмета розмірам людського тіла, яка виявляється в процесі безпосереднього використання предмета людиною.

Масштабність – це сумірність предмета з людиною, предметно-образне сприйняття окремих предметів у їхній конкретній величині і формі.

Контраст – це протиставлення композиційних елементів виробу у вигляді форми, текстури, кольору, світлотіні і таке подібне один одному.

Нюанс – це поступова, тонка і взаємозалежна зміна властивостей композиційних елементів.

Контраст активізує форму і часто визначається функціональним компонуванням виробу. Його слід застосовувати обережно.

Нюанси форми сприймаються слабше і майже не залежать від функціонального компонування та об'ємно-просторової структури об'єкта. Тому вони є, в основному, сферою чисто художнього осмислення форми та матеріалу виробу і мають найкращі можливості реалізації.

Метричний повтор і ритм визначають закономірності повторення елементів композиції. Метричний повтор має постійний, або психологічно удаваний постійним, крок повторів.

Ритм – це закономірна зміна порядку структури елементів, а **ритміка**, це поступова зміна кроку повторів.

Тіні визначають собою пластичність форми, під якою розуміють її рельєфність, скульптурність, м'якість переходів основних утворюючих ліній або поверхонь.

Недоліки форми можна якоюсь мірою сховати тінями, тоді як світло, або відблиски безжалісно їх виявляють.

2.10 Елементи кольорового оформлення

Колір широко використовується в художньому конструюванні. Колір характеризується фізичними (об'єктивними) та психологічними (суб'єктивними) групами параметрів. До психологічних параметрів відносяться: яскравість, насиченість, колірний тон.

Яскравість – це еквівалент деякого ахроматичного сірого поля. Колір поверхні може бути ахроматичним (безбарвним) білим, мати відтінки сірого, чорним, або хроматичним (кольоровим), який сприймається оком людини тільки при достатньому рівні освітленості. Яскравість – це сила світла, випромінюваного з одиниці площі поверхні.

Освітлення змінюється повільніше за яскравість, тому контраст між двома кольоровими поверхнями визначається різницею їх освітлення, а не яскравості.

Колірний тон характеризується довжиною хвилі переважного випромінювання. Колірний тон можна охарактеризувати чистотою кольору (ступінь монохроматичності) та насиченістю.

Насиченість – це ступінь контрастності між розглянутим кольором і білим кольором.

На сприйняття кольору, крім рівня освітленості, впливають і види відображення світлових і колірних потоків від поверхонь.

Зв'язок між фізичними і психологічними параметрами кольору встановлюється за допомогою колірних моделей. Найпростіша колірна модель – це лінійна, спектр якої був отриманий Ньютоном при розкладанні сонячного променя тригранною призмою.

У практиці художнього конструювання використовується тривимірна модель колірного тіла. В ній використовується математичний опис кольору на підставі експериментально встановленої закономірності за допомогою колірного рівняння:

$$C = X \cdot x + Y \cdot y + Z \cdot z,$$

де C – будь-який потрібний нам колір;
 X, Y, Z – основні кольори (R (червоний), G (зелений), B (синій));
 x, y, z – відносні кількості основних кольорів ($x+y+z=1$).

З цього рівняння випливає, що для геометричної інтерпретації колірної рівняння можна використовувати кожен з трьох площин координат: XU , YZ або ZX , тому що, наприклад,

$$x = I - (y + z).$$

Якщо у загальноприйнятій системі координат XU побудувати колірний графік, то по дузі на площині XU будуть розташовані (рис. 2.23) усі спектральні кольори.

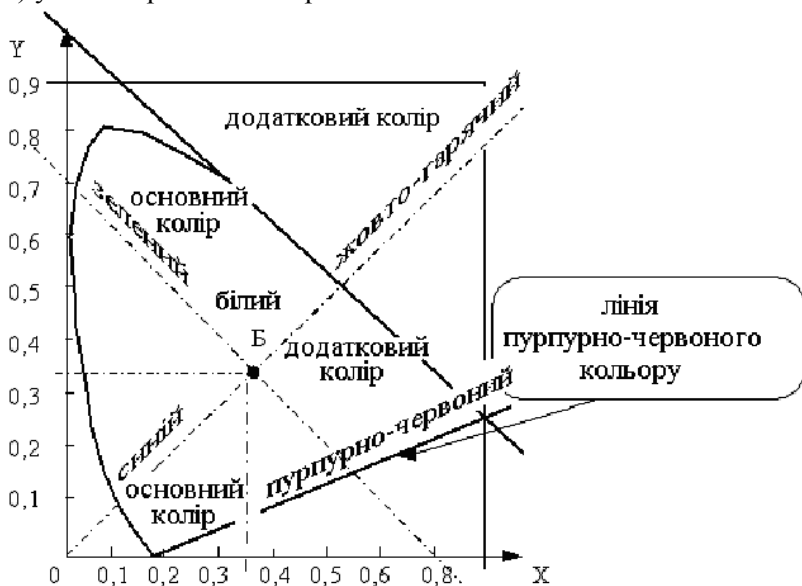


Рис. 2.23 – Колірний графік

По прямій, що стягує цю дугу, розташовані пурпурні кольори, що не є спектральними.

$$\left. \begin{array}{l} X_c = 0,33 \\ Y_c = 0,33 \end{array} \right\} - \text{координати визначають центр контуру} - Б \text{ (білий колір)}.$$

Кожна точка усередині замкнутого контуру відповідає певній кольоровості, тобто поєднанню колірної фону і насиченості. Це дозволяє позначати всі кольори координатами X та Y , що відповідають даній кольоровості. Така система є зручнішою, ніж використання рі-

зноманітних кольорів, наприклад, маренго, карий, фісташковий, слонової кістки тощо.

Особливості психологічного сприйняття кольору пов'язані в основному з практичним досвідом людини та її асоціативним мисленням.

Основні кольори характеризуються наступним чином:

– червоний колір – це колір вогню, небезпеки і крові. Він асоціюється з теплом і тому збільшує напругу м'язів, кров'яний тиск і ритм подиху. Червоний колір має стимулюючий вплив і викликає емоції;

– жовтогарячий колір одночасно і зігрівальний, і стимулюючий. Він дуже яскравий. Жовтогарячий колір за різної насиченості може і заспокоювати, і дратувати;

– жовтий колір має найбільшу світлимість у спектрі і стимулює зір. Він нагадує колір сонця, гарного настрою і веселощі. Деякі тони (жовто–зелені) діють як заспокоюючі;

– зелений колір – це колір природи, що заспокоює. Він сприяє деякому відпочинкові розуму і будить у людині терпіння. Діє освіжаюче і заспокійливо, зменшує занадто яскраве сонячне освітлення;

– блакитний колір – це колір неба і води. Він холодний та сприймається як світанок, свіжий і прозорий. Блакитний колір має заспокійливу дію;

– фіолетовий колір – особливо «шляхетний», це колір одягу вчених і священиків. Він викликає сум;

– чорний колір у великих кількостях гнітить. Він дуже корисний у невеликих кількостях, особливо для контрастів;

– білий колір – це символ чистоти. Якщо застосовується один або з кольорами зелено–блакитної частини спектру, то білий колір холодний. З кольорами жовто–жовтогарячої частини спектр білого кольору дає відчуття тепла.

Сприйняття кольорів залежить від характеру та темпераменту людини.

Червоний колір діє збуджуюче на холериків та підвищує їхню активність. У меланхоліків ця дія ледь помітна.

Синій колір слабо діє на холериків, незначною мірою знижуючи їхню активність, але зовсім придушує активність меланхоліків, змушуючи «піти в себе».

Крім цього, сприйняття кольорів визначається статтю, віком, станом здоров'я і навіть професією людини. Так, жінки більш

сприйнятливі до яскравого, строкатого колірною оточення, тоді як чоловіки його не сприймають зовсім, або це їх дратує. Це ж можна сказати про молодих і літніх людей.

Зелений колір добре діє на хворих, а для здорових його надлишок нудний.

Вибір колірних сполучень може виконуватись на основі контрастної та нюансної гармонії з використанням двох, трьох і більше кольорів.

Контраст – це сполучення кольорів, що розташовуються в кольоровому спектрі один проти одного; нюанс – це сполучення розташованих поруч кольорів. При спостереженні кольорових поверхонь або колірних плям, як і при спостереженні геометричних об'єктів, мають місце колірні ілюзії.

Колірні ілюзії – це зміна кольору при послідовних і рівнобіжних колірних контрастах. Колірні контрасти можуть бути послідовними та одночасними.

Послідовний колірний контраст виникає, якщо погляд переводять з поверхні одного кольору на поверхню іншого кольору або при спостереженні поверхні через світлофільтр, коли ми бачимо третій колір, що відрізняється від двох перших.

Причина колірного контрасту у зміні чутливості ока при тривалому (12...20 с) спостереженні колірного образу, а після цього раптово спостереження іншої кольорової поверхні. Так, наприклад, при спостереженні зеленої фігури і наступному переведенні погляду на білу поверхню ми побачимо слабку пурпурно-червону фігуру, а при переведенні погляду на синю поверхню ми побачимо фіолетову і так далі.

Одночасний колірний контраст – це відтінок кольорового зображення, який залежить від характеристик фону.

Не вдаючись у подробиці застосування кольору в художньому конструюванні, слід зазначити, що дизайнери на даний час користуються теорією погоджених кольорів. Сутність її в тому, щоб дати людині, що працює в умовах штучного предметного середовища, таке ж бачення кольорів, як і в природі.

2.10.1 Основні рекомендації з вибору колірних рішень

Основні рекомендації з вибору колірних рішень базуються на тому, що прийнято виділяти три основні зони: робоче місце, робоча зона, приміщення та інтер'єр у цілому.

Умовно робоче місце відповідає зонам точного зору, де людина може розрізнити найдрібніші предмети та відповідає куту зору близько 1° . Зона миттєвого зору відповідає куту зору близько 18° . Це область найкращого колірнього зору і достатньої відносної гостроти зору.

Робоча зона відповідає зоні ефективного зору, у якій кут зору складає близько 30° - це зона з гіршими характеристиками, але вона ще дозволяє людині нормально працювати з об'єктом виробництва.

Приміщення та інтер'єр в цілому – це зона повного огляду, у якій кут зору при нерухомій голові становить близько 120° . У межах цієї зони людина фіксує рух і колір, але не розрізняє деталей.

Таким чином, робоче місце відповідає панелі керування або частині пульта керування, на якій повинні бути зосереджені усі найбільш важливі органи керування (регулятори) і контролю (індикатори). У цій зоні, крім сигнальних (попереджувачих) і допоміжних кольорів, що мають чітко визначене інформативне навантаження, використовуються малонасичені кольори, у які фарбуються поверхні об'єкта або панелі.

Робоча зона охоплює закінчений об'єкт, або технологічне забезпечення в цілому (верстат, пульт керування і т. под.) і у просторі приміщення, що безпосередньо примикає до об'єкта.

Фарбування приміщення характерне тим, що основні його поверхні (стіни, підлога, стеля, технологічне забезпечення, інженерні комунікації) фарбуються в кольори відповідно до рекомендацій, що базуються на специфіці того або іншого виробництва, приміщення.

РОЗДІЛ 3. ДЕЯКІ ВІДОМОСТІ ПРО ДЕТАЛІ МАШИН ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТИ

Жодна деталь, як правило, не може бути сконструйована поза вузлом машини, який цю деталь включає. Тому деталі одержують свої форми і розміри в процесі розробки конструкцій вузлів.

З погляду застосування і поширення в машинобудуванні деталі можна поділити на типові (загального призначення і спеціальні) і оригінальні.

Типові деталі машин загального призначення застосовуються у всіх галузях машинобудування. До них відносяться шків, зубчасті колеса, зірочки ланцюгових передач, вали, осі, деталі підшипників ковзання і трансмісійних муфт, пружини, шпонки, кріпильні деталі.

Спеціальні типові деталі застосовуються тільки у машинах відповідного призначення, наприклад:

- у підйомно-транспортних машинах (барабани, блоки, зірочки вантажних і тягових ланцюгів, ходові колеса, храповики і храпові колеса, гаки і вантажні скоби, траверси, деталі кріплення канатів і ланцюгів, деталі гальм, деталі роликів опор транспортерів, ковші елеваторів тощо);

- в автотракторних двигунах (блоки і головки блоків циліндрів, гільзи, колінчаті і кулачкові вали, шатуни, поршні, поршневі пальці і кільця, штовхальники, коромисла, клапани тощо);

- у шасі автомобілів (деталі зчеплення, картери і вали коробок передач, карданні вали, хрестовини диференціалів, поворотні кулаки, осі передніх мостів, деталі кермової трапеції, гальм і т. под.);

- у металорізальних верстатах (корпусні деталі коробок швидкостей і подач, деталі супортів, задніх бабок і револьверних головок, шпинделі, маховички і рукояті, ходові гвинти, тощо).

Деякі типові деталі машин загального призначення при їхньому застосуванні в окремих галузях машинобудування мають специфічну конструкцію, властиву даній галузі, наприклад, зубчасті колеса коробок передач автомобілів (особливо з декількома вінцями), розрізні конічні підшипники ковзання шпинделів металорізальних верстатів і таке інше.

Оригінальні деталі конструюють відносно до визначеної машини і вони, як правило, не мають подібного собі зразка. Конструктивна подібність оригінальних деталей може бути лише випадковою. Окре-

мі елементи оригінальних деталей не відрізняються від відповідних елементів типових деталей машин загального призначення.

Конструктивні і технологічні елементи деталей, їх конструктивні форми утворюються сполученнями різних геометричних поверхонь. Окремі такі сполучення, а також деякі одиничні поверхні є елементами деталей.

На рис. 3.1 показаний вал редуктора у зборі з підшипниками і шестернею. Основні елементи цього вала:

- ступені для посадки підшипників і шестерні (1);
- бурт (2);
- проточки (3);
- шпонковий паз (4);
- центрові отвори (5) на торцях вала.

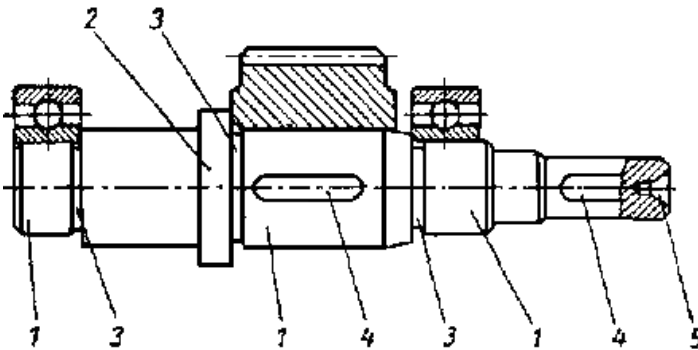


Рис. 3.1 – Вал редуктора у зборі з підшипниками і шестернею

Ступені, бурт і шпонковий паз вала сполучені з відповідними елементами інших деталей вузла. Розміри, форма і розташування зазначених елементів погоджені з цими деталями і установлені, враховуючи розрахункові і конструктивні вимоги, які обумовлені призначенням і роботою вузла.

Такі елементи будемо називати конструктивними.

Очевидно, що способи виготовлення деталей часто вимагають введення в їхню конструкцію елементів винятково технологічного характеру.

Але іноді той самий елемент може бути і конструктивним, і технологічним.

3.1 Функціонально-експлуатаційні вимоги

Відповідність конструкцій деталей їхньому призначенню й умовам роботи забезпечується конфігурацією, розмірами і взаємним розташуванням елементів.

Процес конструювання типових деталей зводиться до вибору найбільш придатного підходящого для конкретного випадку конструктивного різновиду типової деталі даного призначення, визначення її матеріалу, уточнення конструкції окремих елементів і встановлення їхніх розмірів.

Що ж стосується оригінальних деталей, конструкція яких створюється вперше, без прототипу, то їх розробляють «на місці» на основі конструкторського досвіду і використання конструктивних елементів типових деталей.

Необхідною вимогою до вдалої конструкції є забезпечення відповідної міцності і жорсткості її деталей.

Умовою міцності є обмеження фактичних робочих напружень у навантажених перетинах у межах напружень, що допускаються. Ця умова забезпечується призначенням відповідних матеріалів, необхідної термічної обробки, вибором доцільної форми перетинів і встановленням розрахункових розмірів конструкції.

Умовою жорсткості є обмеження величин прогину і кутів повороту в перетинах у межах відповідних припустимих значень. Жорсткість сталевих деталей забезпечується тими ж факторами, що і міцність, за винятком пружних властивостей матеріалу, які характеризуються модулями пружності, значення яких для будь-якої марки сталі майже однакові.

Слід мати на увазі, що відповідно зі збільшенням розмірів навантажених елементів і перетинів різко зростають габаритні розміри деталей. Наприклад, якщо для зубчастої передачі прийняти не набагато більше значення модуля (ніж це потрібно з розрахунку), то це приводить до значного збільшення діаметра колеса. Відповідно, збільшується і діаметр шестерні, але на меншу абсолютну величину. При цьому ширина вінця шестерні і колеса також збільшується. Аналогічний вплив на габаритні розміри шківів клинопасових передач і зірочок ланцюгових передач мають, відповідно, перетин ремня і крок ланцюга.

Зменшення розмірів і ваги деталей є істотним не тільки з погляду економії металу і зниження їхньої вартості. Сучасне машинобудування характеризується безперервним зростанням робочих па-

раметрів машин, а зайва вага деталей у ряді випадків є чинником, що гальмує можливість їхнього підвищення.

Для спільного забезпечення зазначених вимог при конструюванні необхідно ощадливо призначати розміри навантажених перетинів і елементів деталей, обґрунтовуючи їхній вибір відповідними розрахунками. При цьому не повинні мати місце завищені запаси міцності і зайва жорсткість, якщо тільки збільшення розмірів перетинів і елементів деталей не визначається якими-небудь конструктивними або технологічними міркуваннями.

Крім того, у кожному окремому випадку можуть виявитися чисто внутрішні засоби конструктивного характеру, що дозволяють трохи зменшити величину навантаження або його вплив на деталь, що розраховується. Використання таких засобів за незмінної величини зовнішнього навантаження і при забезпеченні заданих значень міцності і жорсткості приводить до зменшення розмірів навантажених перетинів і елементів деталей. Тому в процесі конструювання потрібно виявляти і застосовувати подібні засоби. Для загального орієнтування в даному питанні розглянемо наступні характерні приклади з практики конструювання.

Зближення опор і скорочення довжини консольних частин валів мають істотне значення (особливо коли на них насаджені шківів, шестерні, зірочки) з погляду зменшення згинальних моментів. У випадках з'єднання двох валів за допомогою муфти (тобто коли їхні виступаючі частини не несуть згинального навантаження, а здійснюється тільки передача крутного моменту від одного вала до іншого) треба також прагнути до скорочення довжини виступаючих частин валів, що з'єднуються, з метою економії металу, зниження ваги, зменшення габаритних розмірів вузла і зменшення можливого биття.

Ефект від зближення опор і скорочення довжини консольних частин особливо відчутний, коли лімітуючим фактором для вала є не міцність, а жорсткість, тому що прогин пропорційний третьому ступеню довжини.

Підвищення жорсткості вала, у свою чергу, знижує нерівномірність розподілу навантаження по довжині зубів коліс зубчастих передач і, відповідно, зменшує його концентрацію на окремих ділянках.

У закритих зубчастих передачах, наприклад, у редукторах, зближення опор приводить до укорочення валів і до зменшення ширини корпусу і кришки, у результаті чого істотно знижується вага зазначених деталей і, відповідно, витрата на них металу.

З огляду на приведені міркування, при конструюванні необхідно обґрунтовано й ощадливо призначити величину осьових зазорів, а також довжину маточин, проміжних втулок та інших деталей, насаджуваних на вали.

Ефективним способом скорочення довжини консольних ділянок валів є «вбудовування» деталей.

Приклад використання цього способу показаний на рис. 3.2, де показаний привід до заднього колеса автомобіля з цілком розвантаженою піввіссю, яка передає тільки крутний момент. Згинальний момент у цьому випадку сприймається рукавом картера заднього моста.

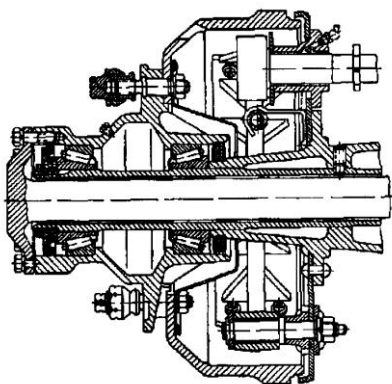


Рис. 3.2 – Варіант конструкції колісного вузла автомобіля

При передачі крутних моментів за допомогою з'єднань для зменшення навантаження, що припадає на з'єднуючі деталі (заклепки, болти, шпильки і тому подібне), потрібно розміщати останні на максимально можливій відстані від осі обертання. На рис. 3.3, а показане кріплення веденої кінчної шестерні заднього моста іншого автомобіля заклепками, заставні головки яких виконані з однобічним зрізом, що дозволяє розмістити їх на більшій відстані від центра.

В аналогічних болтових з'єднаннях рекомендується застосовувати болти зі зменшеною головкою, поставленою гранню впритул до поверхні виточення вінця (рис. 3.3, б). Менш вдале розташування цих же болтів з головкою нормальної величини показано на рис.

3.3, в. Розташування головок згідно рис. 3.3, б зручно ще і тим, що запобігає провертанню болтів при їхньому затягуванні. Застосування цього варіанта ефективно за відносно невеликого діаметра окружності розташування болтів. Величина можливого збільшення цього діаметра залежить від типу і діаметра болтів.

Іноді з метою розвантаження кріпильних деталей доводиться вирішувати цю задачу більш складним шляхом.

Наприклад, для зменшення зусиль, що діють на заклепки кріплення кронштейна, показано на рис. 3.4, а, довелося відмовитися від штампованого варіанта і перейти на литу конструкцію (рис. 3.4, б).

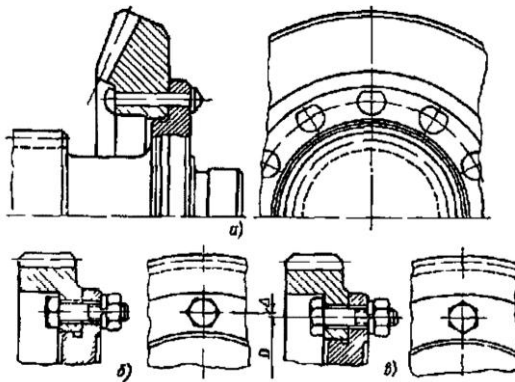


Рис. 3.3 – Кріплення конічної шестерні заднього моста автомобіля

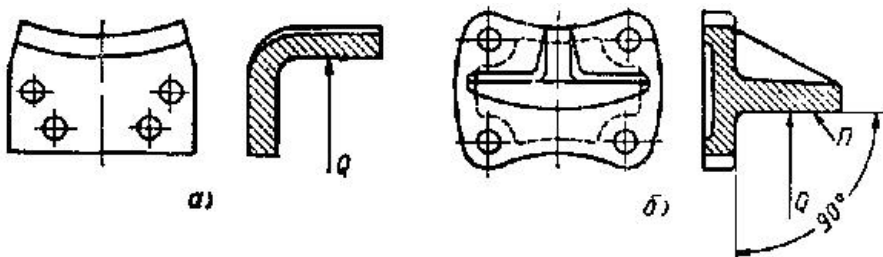


Рис. 3.4 – Варіант кріплення деталей заклепками

Якщо на вал насаджені дві косозубі шестерні або одна косозуба й одна конічна, то шляхом раціонального вибору напрямку нахилу

косих зубів можна трохи розвантажити підшипники від дії осьових і радіальних складових нормального зусилля в зачепленні.

Середній радіус сили тертя R_{mp} (рис. 3.5) є однією з величин, що визначають навантажувальну здатність фрикційних дискових муфт. Як відомо, чим більше значення цього радіуса, тим, за інших рівних умов, менше величина осьового зусилля, необхідного для стиску системи дисків.

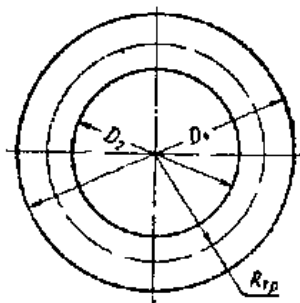


Рис. 3.5 – Середній радіус сили тертя

$$\text{З виразу } R_{mp} = \frac{D_1 + D_2}{4} \text{ ви-}$$

пливає, що при постійному зовнішньому діаметрі дисків D_1 величина R_{mp} зростає зі збільшенням внутрішнього діаметра D_2 . Таким чином, при заданому крутному моменті і визначених параметрах муфти можна трохи зменшити осьове зусилля, а отже, і робоче навантаження, сприймане її основними деталями, шляхом збільшення внутрішнього діаметра дисків.

При використанні цього конструктивного засобу потрібно враховувати й підвищення питомого тиску на робочих поверхнях дисків унаслідок зменшення їхньої площі.

Для збільшення втомливої міцності деталей при перемінних напруженнях необхідно використовувати відповідні конструктивно-технологічні засоби, спрямовані на зменшення концентрації місцевих напружень і підвищення витривалості.

Довговічність – здатність деталей протистояти різним видам зносу їхніх робочих поверхонь. Деталі машин можуть зазнавати наступних видів зносу:

- механічного (абразивного) зносу (шийки валів у підшипниках ковзання, вкладиші цих підшипників, робочі поверхні зубів шестерень, черв'ячних коліс і черв'яків);
- втомливий знос поверхневого шару металу, унаслідок чого відбувається його викришування (робочі поверхні коліс фрикційних передач, зубів шестерень закритих передач і елементів підшипників);
- знос – внаслідок заїдання поверхонь тертя (головним чином, робочі поверхні черв'яків і черв'ячних коліс, а також опор ковзання);

- корозійний знос;
- тепловий знос (вигоряння).

Для підвищення довговічності деталей при конструюванні необхідно використовувати всі можливі конструктивні і технологічні засоби запобігання і зменшення зносу. Такими засобами є:

- обмеження величин питомих тисків і контактних напружень в межах значень, що допускаються;
- призначення оптимальної чистоти обробки поверхонь тертя;
- вибір належних способів термічної обробки (цементація, ціанування, азотування, поверхневе гартування струмами високої частоти і т. ін.) з метою підвищення жорсткості поверхонь, що зношуються;
- застосування так званої зміцнюючої технології (обкатування галтелей роликками, обдування дробом та ін.);
- призначення матеріалів, що мають високі антифрикційні властивості;
- застосування відповідних мастильних матеріалів, для забезпечення належного змащення поверхонь тертя;
- забезпечення відведення тепла від поверхонь;
- призначення необхідних захисних металопокриттів або фарбування.

3.2 Виробничо-технологічні і техніко-економічні вимоги

Стан технологічних можливостей сучасного машинобудування дозволяє успішно справлятися з найрізноманітнішими завданнями, які виникають у зв'язку з виготовленням машин, і забезпечує їх високопродуктивне, раціональне виробництво, що обумовлює відповідне зниження собівартості продукції. Однак конструкція деталей, як правило, визначає технологію їхнього виготовлення, тому можливості зниження собівартості технологічними засобами завжди обмежуються заданою конструкцією. Кожну деталь за умови однакового виконання нею своїх функцій, тобто за незмінної якості, можна сконструювати в декількох різних варіантах.

Відповідно, при правильному технологічному відпрацюванні кожного варіанта трудомісткість виготовлення деталей виявиться різною – звідси і різна собівартість.

Варіант, конструкція якого відповідає вимогам найбільш раціональної технології, є технологічним. Технологічність конструкції – поняття відносне, тому що вимоги найбільш раціональної технології

повинні розглядатися стосовно до заданого випуску і конкретних виробничих умов. Крім цього, рівень технологічності важко установити, тому що наступне відпрацювання конструкції може призвести до подальшого підвищення ступеня її технологічності. Необхідно мати на увазі, що технологічність, яка обумовлює низьку собівартість конструкції, треба забезпечувати без якого-небудь зниження для її якості.

Висока технологічність конструкції призводить до скорочення термінів підготовки виробництва машин, вивільнення устаткування і робочої сили, стабілізації якості продукції і зниження її собівартості.

Поняття технологічності конструкції можна розглянути на наступному прикладі. Конструкція призматичних шпонкових пазів східчастого вала в умовах великосерійного і масового виробництва нетехнологічна, тому що продуктивність торцевих фрез, якими вони повинні фрезеруватися, дуже низка. Порівняно з цим варіантом, більш технологічним буде вал з пазами під сегментні шпонки, тому що ці пази фрезеруються спеціальними фрезами, продуктивність яких значно вище, ніж торцевих.

Подальше підвищення технологічності конструкції вала може здійснюватись шляхом призначення однакових типорозмірів шпонок на усіх ступенях вала. Технологічність тут зростає, по-перше, за рахунок того, що відпадає необхідність зміни фрези або передачі вала на інший верстат для фрезерування інших пазів і, по-друге, завдяки уніфікації шпонок, фрез і контрольно-вимірювальних інструментів. Безумовно, кожна зміна конструкції вала має бути розглянута і з погляду його працездатності, тобто відповідати умовам міцності.

3.3 Методи виготовлення заготовок

Формоутворення і розміроутворення деталей може здійснюватися різними технологічними засобами. Є деталі, всі елементи і поверхні яких утворюються шляхом механічної обробки (токарної, фрезерної, струганням, свердлінням, шліфуванням тощо). Такі деталі виготовляють з гарячекатаного круглого, листового і смугового металу, а також литих і кованих заготовок. Встановлення форм і розмірів заготовок у цьому випадку не є завданням конструктора, а цілком покладено на технологічну службу.

Деталей, які виготовляються цілком шляхом механічної обробки («оброблених кругом»), порівняно мало. Значна частина елементів і поверхонь багатьох деталей одержує свою остаточну форму

литтям, куванням, гарячим і холодним штампуванням та ін. Крім того, деталі можуть виготовлятися з круглих, шестигранних і квадратних прутків і сортового металу різних профілів (двотаврів, швелерів і т. под.) з частковою механічною обробкою. Необроблювані поверхні деталей прийнято називати «чорними».

Питання про те, яким методом повинна виготовлятися заготовка тієї або іншої деталі (зварюванням з окремих елементів, литтям, штампуванням або інакше), вирішується при конструюванні залежно від призначення, форми, розмірів і матеріалу деталі, масштабів випуску і конкретних виробничих умов.

Очевидно, що при конструюванні, крім надання деталям форм і розмірів, що відповідають їхньому функціональному призначенню і вимогам міцності, жорсткості, довговічності і т. под., конструктивна побудова кожної деталі повинна відповідати обраному методу одержання заготовок.

Для вирішення у процесі конструювання питання про метод одержання заготовок необхідне знання технології заготівельних цехів, уміння вибирати матеріал для їх виготовлення, уміння оцінювати виробничі можливості і техніко-економічну доцільність застосування обраного методу виготовлення заготовки в конкретних виробничих умовах.

Конструктивне улаштування типових деталей машин як загального призначення, так і спеціальних, описується в технічній літературі стосовно до відповідних методів одержання заготовок цих деталей.

Що ж стосується оригінальних деталей, то бувають випадки, коли комплекс конструктивних і експлуатаційних показників (конфігурація, розміри, складність, умови роботи, вимоги до матеріалу і тому подібне) визначає прийнятність для

виготовлення деталі лише єдиного методу одержання заготовок у заданих і навіть у різних виробничих умовах.

Наприклад, корпусна деталь, що має складні обриси, значну кількість виступаючих елементів, внутрішні порожнини, перегородки і криволінійні канали, у будь-якому випадку може бути виготовлена тільки способом лиття в одноразову стержневу форму.

Але у переважній більшості випадків оригінальні деталі машин можуть бути виконані з заготовок, одержуваних декількома методами. Тоді для правильного вибору найбільш придатного з них слід користуватися способом виключення.

При цьому оцінку різних методів рекомендується проводити в наступному порядку, виходячи з таких основних критеріїв:

- здатність даного методу забезпечити необхідне конструктивне формоутворення деталі;
- відповідність матеріалів, з яких можливе виготовлення заготовок при даному методі, вимогам до деталі та умовам її роботи і подальшої обробки;
- можливість застосування розглянутого методу в конкретних виробничих умовах даного підприємства.

Якщо в результаті виявиться, що для якої-небудь деталі будуть прийнятні кілька методів, то в такому випадку остаточний вибір найбільш оптимального варіанта повинен бути зроблений, виходячи з технологічної доцільності та з урахуванням потрібної кількості деталей.

3.4 Вибір матеріалів

Найбільш часто застосовуються у машинобудуванні метали, пластмаси, гума, дерево, шкіра, скло і навіть залізобетон.

При виборі матеріалів необхідно враховувати їхні властивості, умови роботи деталей, характер навантажень, вид і характер напружень, вартість і дефіцитність матеріалів.

Властивості матеріалів визначаються їхнім хімічним складом (наявністю складових елементів та їх кількісним співвідношенням), способом виготовлення (для металів – їхня металургія) і обробкою (для металів – термічна і хіміко-термічна обробка).

Перераховані фактори визначають фізико-хімічні, механічні і технологічні властивості матеріалів, які необхідно знати для їхнього доцільного вибору при конструюванні.

Фізико-хімічні властивості становлять загальну характеристику матеріалу.

Щільність матеріалу являє інтерес при оцінці загальної маси конструкції та її окремих вузлів, а також для складання зведених матеріальних специфікацій. Першорядне значення має маса при конструюванні деталей, у яких доводиться враховувати інерцію рухомих мас, наприклад маховики, деталі механізмів зворотно-поступального руху, деталі відцентрових муфт, регуляторів, тощо. Знання маси необхідно при конструюванні різних противаг і в тих випадках, коли при визначенні навантажень враховується власна вага конструкції. Важливе значення має вага матеріалів в авіаційних конструкціях.

Крім зазначеного, врахування щільності матеріалу є досить істотним для деталей із чавунних відливок, які працюють під тиском, корпусів і кришок насосів і золотникових коробок, циліндрів пресів тощо.

Теплоємність, теплопровідність, жаростійкість, лінійне розширення – властивості, що мають велике значення при конструюванні деталей, які працюють за високих температур.

Корозійна стійкість матеріалу дуже важлива для деталей, які діють під дією лугів, кислот, морської води, газів, вологого повітря, атмосферних опадів тощо.

Електропровідність, магнітна проникність та інші електричні і магнітні властивості матеріалів, як правило, для машинобудівного конструювання інтересу не представляють, але є одними із основних в галузі електромашинобудування.

Прозорість – оптична властивість, що характеризує скло, целулоїд, слюду, папір і деякі пластики.

В галузі машинобудування при проектуванні та розрахунках конструкцій важливе значення мають механічні властивості матеріалів, які визначають їх міцність.

Докладні описи механічних випробувань матеріалів на розтягання, стискання, зсув, кручення, згинання та твердість подані в спеціальних курсах з опору матеріалів. Обмежимося лише описом основного виду випробувань – на розтягання, в яких визначаються найбільш характерні та важливі властивості матеріалів: границя пропорційності, границя пружності, границя текучості та границя міцності (тимчасовий опір).

Границя міцності при розтяганні – умовне напруження, що відповідає максимальному навантаженню, яке може витримати зразок з даного матеріалу при розтяганні. Ця величина дорівнює значенню максимального зусилля, що розтягує зразок, віднесеного до одиниці площі його первісного перерізу.

Фактичні напруження при розриві зразків для пластичних матеріалів значно вищі за границю міцності, оскільки розриву передують поперечне місцеве звуження зразка – утворення «шийки». Для пластичних матеріалів границя міцності служить показником інших величин - границі текучості і границі витривалості, оскільки вона зв'язана певними залежностями з цими величинами і може бути базою при виборі допустимих напружень при розрахунку на міцність із пластичних металів.

Допустимі напруження для крихких матеріалів призначаються, виходячи безпосередньо з границі міцності.

Границя текучості σ_m – найменше напруження, за якого починається деформація металу майже при постійному навантаженні. Границя текучості характеризує ступінь пластичності і є основою при призначенні напружень, що допускаються для пластичних металів.

Відносне подовження δ і відносне звуження ψ також служать мірами пластичності.

Границя витривалості – це максимальне значення перемінного напруження при симетричному циклі, при якому зразок, виготовлений з даного матеріалу, не зазнає втомливих руйнувань практично нескінченно довго. Границя витривалості є основною динамічною характеристикою металу і служить критерієм його міцності при перемінних напруженнях.

Ударна в'язкість a_n – це робота, що витрачається для ударного зламу, віднесена до поперечного перерізу зразка в місці надрізу.

Твердість матеріалу – це відносна величина, що порівнює здатність одного матеріалу проникати в інший під механічним впливом. Твердість матеріалу характеризує його здатність чинити опір контактним зусиллям, що діють нормально до поверхонь деталей, стійкість проти зносу, що може бути механічним (тертьові поверхні) і втомливим (втомливий знос поверхневих шарів), інші механічні властивості, зв'язані з твердістю визначеними математичними залежностями, зокрема, границя міцності при розтяганні.

Модулі пружності при розтяганні і зсуві – величини, що характеризують пружну деформацію матеріалів, головним чином, при роботі на розтягання, вигин і кручення.

Технологічні властивості – це зварюваність, ливарні властивості (усадка, рідинотекучість, схильність до ліквації), штампованість, оброблюваність (механічна, термічна і хіміко-термічна).

За умовами роботи можна виділити деталі, які працюють за високих температур, зазнають впливу корозії від дії різних середовищ, впливу механічному зносу від дії тертя, забезпечують герметичність з'єднань та ізоляцію деталей, що з'єднуються (термічну, електричну і т. под.), забезпечують мінімальні втрати енергії на тертя, працюють в умовах пружних деформацій.

Сприймані деталями навантаження за характером їхньої дії в часі можуть бути постійними (статичними) і перемінними (динамічними).

Перемінні навантаження, у свою чергу, підрозділяються на навантаження періодичної і неперіодичної дії й ударні.

Вибір матеріалів для деталей, які зазнають впливу динамічних навантажень, представляє серйозне завдання. Матеріали, крім підвищеної статичної міцності, повинні мати деякі особливі механічні якості.

Під впливом прикладених навантажень у відповідних перетинах деталей виникають наступні прості види деформацій: розтягання, стискання, зсув (зріз), згинання і кручення. Дві або більше одночасно діючих простих деформацій визначають складний опір відповідної конструкції. Наприклад, стискання або розтягання із згинанням, стискання або розтягання з крученням, згинання і кручення.

У деяких випадках вид напруженого стану впливає на вибір матеріалу. Наприклад, чавун добре працює на стискання і значно гірше на розтягання.

За характером дії навантаження і, відповідно, напруження можуть бути постійними і перемінними. Постійні (статичні) не змінюються протягом тривалого часу ні за величиною, ні за напрямком.

Характер і границі зміни перемінних навантажень (напружень) можуть бути досить різноманітними. Піддаються систематизації і вивченню перемінні напруження, що змінюються за періодичним циклом.

Перемінні напруження можуть виникати не тільки під впливом динамічного навантаження, але в окремих випадках і при статичному. Наприклад, нормальні напруження в поперечних перерізах вала, що обертається і навантаженого постійною радіальною силою, змінюються за симетричним циклом.

При роботі деталей з перемінними напруженнями критерієм міцності є границя витривалості. Величина останньої залежить не тільки від якості матеріалу, але і від конструкції деталі, її розмірів, переходів перетинів, різних концентраторів напружень, стану поверхні, термічної і термохімічної обробки і, нарешті, середовища, у якому працюють деталі.

Основною вимогою правильного вибору матеріалу є забезпечення нормальних умов роботи деталі протягом певного часу експлуатації. Оптимальним вирішенням буде призначення такого матеріалу, який, забезпечуючи необхідну міцність, жорсткість, зносостійкість, оброблюваність і таке подібне, одночасно був би недорогим і доступним.

Дані про фактичну вартість різних матеріалів наводяться у відповідних цінниках і прейскурантах. Для загальної орієнтації при виборі матеріалів дуже зручні відомості, що характеризують відносну вартість їхніх найбільш часто застосовуваних марок і сортаменту. Такі відомості можуть бути складені на підставі офіційних даних відповідних цінників і прейскурантів. При цьому вартість якої-небудь марки матеріалу приймається за одиницю. Як приклад у табл. 3.1 подані відомості про відносну вартість декількох марок конструкційної сталі.

Таблиця 3.1 – Відносна вартість конструкційної сталі

Найменування сталі	Марка	Діаметр сортової сталі в мм						
		8 - 11	12 - 15	16 - 30	32 - 50	52 - 100	105 - 154	160 - 200
Вуглецева звичайної якості	Ст.3	0,81	0,79	0,77-0,76	0,75	0,74		
	Ст.5	0,91	0,89	0,86-0,85	0,85	0,84		
Вуглецева якісна	15; 35; 45	1,13	1,05	1,00	0,97	0,94	0,88	0,87
	65Г; 50Г2	1,23	1,13	1,09	1,07	1,05	0,98	0,96
Легована якісна	20Х; 40Х	1,41	1,32	1,26	1,21	1,17	1,11	1,07
Легована високоякісна	35ХЮА	2,07	1,94	1,80	1,75	1,71	1,60	1,55
Шарикопідшипникова	ШХ15	3,91-3,54	3,07	2,86-2,65	2,43	2,31	-	-
Примітка: За одиницю коефіцієнта вартості прийнята вартість 1 т якісної сталі марки 45 при діаметрі 16 - 30 мм.								

Вибір матеріалу (чавун, сталеве лиття і прокат, лиття і прокат кольорових металів та їхніх сплавів і т. под.) тісно пов'язаний з конструктивним оформленням деталей, яке визначає методи і способи одержання відповідних заготовок.

Таким чином, марку матеріалу слід вибирати на основі ретельного аналізу умов роботи деталей, характеру сприйманих ними навантажень, а також виду і характеру напружень, що мають місце в навантажених перетинах і на окремих поверхнях. Відповідно до цього аналізу треба встановлювати комплекс вимог до механічних і технологічних властивостей обраного матеріалу з врахуванням термічної або хіміко-термічної обробки деталей; при цьому треба врахувати економічні чинники, тобто вартість матеріалу.

У цьому зв'язку необхідно дуже обережно підходити до застосування легованої сталі. Її необхідно призначати лише для виготовлення деталей з наступною термічною або хіміко-термічною обробкою, після якої механічні властивості цієї сталі різко зростають і тільки тоді повною мірою виявляються її переваги перед вуглецевою.

Використання легованої сталі повинно бути обумовлене необхідністю забезпечення визначених високих механічних характеристик для відповідальних деталей при одночасному прагненні до максимального скорочення їх розмірів.

Наприклад, для швидкохідних валів, якщо діаметри їхніх ступіней визначаються, виходячи з вимог жорсткості, застосовувати леговану сталь нерационально, тому що величина модуля пружності у всіх видів сталі майже однакова. Що ж стосується міцності, то розрахунок на жорсткість дає такі розміри перетинів, за яких фактичні напруження найчастіше виявляються значно нижче допустимих, навіть для порівняно дешевої вуглецевої конструкційної сталі.

Необхідна твердість поверхонь відповідних ступіней вала може бути отримана шляхом поверхневого гартування струмом високої частоти (с.в.ч.). У зазначених випадках застосування легованої сталі може бути виправдане лише умовами працездатності шліців, якщо такі наявні.

Призначення легованої сталі для виготовлення валів може мати місце у випадках передачі ними значних крутних моментів, при порівняно невеликих поперечних навантаженнях.

Застосування високоякісної легованої сталі повинно мати місце тільки в тих випадках, коли від матеріалу деталі потрібна наявність яких-небудь особливих властивостей або необхідного комплексу досить високих механічних і технологічних характеристик.

При виборі матеріалу потрібно мати на увазі, що вимоги до його механічних властивостей у переважній більшості випадків не однакові для різних елементів і поверхонь деталей.

Диференціація механічних властивостей матеріалу може бути здійснена виділенням із загальної конструкції деталей елементів, що вимагають (за умовами їхньої роботи) виготовлення з дорогих і дефіцитних матеріалів. Однак використання цього конструктивного засобу не завжди може бути раціональним з економічної точки зору.

У ряді випадків диференціація механічних властивостей матеріалу виявляється необхідною навіть у межах одного елемента деталі. Як приклад, можна привести зубчасте колесо редуктора, яке не-

обхідно сконструювати відповідно до передачі ним значних ударних навантажень за великої окружної швидкості зуб'ів.

Колесо знаходиться в закритому корпусі і працює за наявності постійного змащення робочих поверхонь зуб'ів.

При цьому пред'являються досить жорсткі вимоги з обмеження габаритних розмірів і ваги редуктора.

Виходячи із зазначених умов роботи розглянутої деталі, до матеріалу її основного елемента – зубцюватого вінця – повинні бути пред'явлені наступні вимоги:

- висока твердість і зносостійкість поверхневого шару для опору, головним чином, прогресивному викришуванню робочих поверхонь зубів;

- значний загальний опір згинанню основної маси металу (міцність на згинання) зуб'ів за одночасної високої в'язкості матеріалу, що протидіє ударним навантаженням.

Досягнення зазначених високих механічних властивостей та їхня диференціація можуть бути здійснені тільки за рахунок відповідної термічної і хіміко-термічної обробки деталей. Тому при призначенні характеру і режиму цієї обробки необхідно, щоб вона задовольняла вимогам до матеріалу деталі відповідно умовам її роботи і технологічним властивостям обраного матеріалу (здатність до гартування, схильність до деформації і до гартівних тріщин і т. под.), а також узгоджувалася з розмірами і конфігурацією деталей.

Таким чином, для відповідальних навантажених деталей питання вибору матеріалу повинно розглядатися разом з питанням призначення термічної і хіміко-термічної обробки. При цьому необхідно приймати до уваги розміри деталей.

Наприклад, для розглянутого зубчастого колеса зазначеним умовам його роботи цілком задовольняє хромонікелева сталь марки 12ХНЗА, яка після цементації має досить тверду і зносостійку поверхню при дуже міцній і в'язкій серцевині.

Якби подібне колесо працювало в складі тихохідної, спокійно працюючої передачі, відповідна контактна міцність могла бути забезпечена при застосуванні вуглецевої конструкційної сталі з поверхневим загартуванням зуб'ів, а не дорогої легованої сталі.

Усе більше розширюється номенклатура деталей, виготовлених з неметалічних матеріалів, зокрема з пластмас. Це пояснюється високою технологічністю пластмасових деталей у серійному і масовому виробництві, а також фізико-хімічними і механічними власти-

востями пластмас, які у ряді випадків задовольняють вимоги, що випливають з умов роботи деталей.

Цілий ряд деталей машин доцільно виконувати з залізобетону. Це в першу чергу противаги, а також різні базові й опорні деталі (станини, рами, плити тощо).

Конструктору необхідно керуватися даними про хімічний склад, механічні, технологічні та інші властивості матеріалів, а також про вплив на ці властивості легуючих елементів, термічної і хіміко-термічної обробки.

Значені дані для різноманітної номенклатури машинобудівних матеріалів приводяться в різних джерелах, які широко використовуються при конструюванні. У цих джерелах, крім перерахованих даних, даються рекомендації з призначення матеріалу, що складаються згідно з одним з наступних принципів:

– для даної марки або декількох марок матеріалу рекомендується визначена номенклатура деталей;

– для даного типу деталей рекомендується визначена номенклатура марок матеріалу.

Користуючись рекомендаціями, складеними за першим принципом, у випадку неможливості знайти в довідковій літературі конкретні вказівки на вибір матеріалу для даної деталі, завжди можна використовувати відповідну аналогію. Рекомендації, що базуються на другому принципі, приводяться в підручниках з деталей машин.

У ряді випадків при конструюванні має значення не тільки якісний стандарт, що регламентує перераховані дані для кожної марки матеріалу, але і сортамент, що визначає його геометричну конфігурацію – профіль прокату, розміри профілю і відхилення розмірів, а також якість поверхні. Сортамент необхідний при призначенні матеріалу для елементів зварених деталей і для деталей, одержаних холодним штампуванням з листового і смугового матеріалу, а також механічною обробкою за умови, якщо які-небудь їхні поверхні залишаються необробленими.

Для деталей, одержуваних неповною механічною обробкою, при призначенні сортаменту доводиться робити вибір між гарячекатаним і каліброваним прокатом. З огляду на те, що вартість каліброваного прокату значно вище вартості такого ж гарячекатаного, застосовувати калібрований матеріал треба тільки в тих випадках, ко-

ли до поверхонь деталей, що залишаються необробленими, пред'являються високі вимоги якості і (або) точності.

У конструкторських відділах підприємств, що випускають у масовій кількості або великими серіями визначені вироби, з метою уніфікації встановлюється своя обмежена номенклатура марок і сортamentу застосовуваних матеріалів. При конструюванні слід вибирати матеріали в першу чергу з цієї номенклатури, і тільки у випадках обґрунтованої необхідності можна її не дотримуватись.

3.5 Економія металів і зменшення ваги машин

У загальній вартості більшості об'єктів виробництва загально-го машинобудування вартість металу становить від 35 до 45 % собівартості, тобто усіх коштів, затрачених на їх виготовлення.

Тому економія металу є одним з найважливіших шляхів зниження собівартості продукції в машинобудуванні.

Проблема економії металу вирішується у виробництві шляхом зменшення припусків, більш раціонального використання матеріалу з урахуванням одержання мінімальних відходів та їх повторного використання, застосування технологічних заходів щодо усунення або зменшення браку тощо.

Однак конструкція деталей, як правило, визначає технологію їхнього виготовлення і витрати на них металу, отже, можливості його економії значною мірою обмежуються заданою конструкцією.

Тому проблема економії металу, поряд з технологічними заходами, найбільш ефективно вирішується засобами конструктивного характеру.

Основні з них:

- конструктивна простота машини;
- конструювання деталей з урахуванням застосування прогресивних методів виготовлення заготовок;
- зниження ваги деталей;
- зменшення в загальній конструкції частки деталей та їх елементів, що вимагають виготовлення з дорогих і дефіцитних металів;
- заміна металів неметалічними матеріалами.

Конструктивна простота машини забезпечується, насамперед, відсутністю зайвих механізмів, агрегатів і деталей, наявність яких не обумовлюється функціональним призначенням і умовами роботи машини.

Розглянемо як приклад конструкцію пристрою для керування відкриттям і закриттям кришки розвантажувального люка цистерни автомобіля-цементовоза. У початковому варіанті для відкриття і закриття кришки розвантажувального люка передбачався спеціальний пневматичний циліндр.

Перед вивантаженням машини водій повинен був вийти з кабіни та звільнити кришку від відкидних болтів, що притискають її до горловини цистерни, і тільки після цього, повернувшись до кабіни, міг привести в дію самоскидний привід механізму, який перекидає цистерну, і циліндр, що відкриває кришку.

Той же процес, тільки у зворотному напрямку, мав би місце при поверненні розвантаженої цистерни до вихідного стану і закритті кришки люка.

При перегляді конструкції, з метою підвищення її технологічності й економії металу, пневматичний привід кришки було замінено механічним, що складається з декількох простих тяг і важелів.

Герметичне притиснення кришки до горловини стало здійснюватися спеціальними гаками-захоплювачами, система яких кінематично зв'язана з підйомом і опусканням цистерни при її розвантаженні.

Таким чином, цей процес став здійснюватися автоматично й у даному випадку механічний привід виявився більш доцільним, ніж пневматичний.

У результаті поліпшення конструкції були виключені циліндр, кран для його керування, а також складна пневмосистема, що призвело до значної економії металу і підвищення технологічності конструкції.

Конструювання деталей з урахуванням застосування прогресивних методів виготовлення заготовок, що за своїми формами і розмірами наближаються до форм і розмірів готових деталей. Це, наприклад, заготовки, одержувані високоточним литтям (у кокілі, в оболонкові форми і по виплавлюваних моделях), а також заготовки, виготовлені штампуванням.

Формоутворення і розміроутворення таких заготовок настільки наближається до формоутворення і розміроутворення готових деталей, що вони майже не вимагають механічної обробки, а в багатьох випадках вона відпадає зовсім, що виключає втрати металу на стружку.

Із зазначених методів найбільш прогресивним взагалі і, зокрема, з погляду питань, розглянутих у даному розділі, є метод холодного листового штампування.

Важливе значення для зниження собівартості продукції має економія дорогих і дефіцитних кольорових металів, у першу чергу, бронзи та латуні, і особливо бронзи, яка містить олово. У той же час високі антифрикційні властивості й інші конструктивні якості цих металів у ряді випадків роблять їх незамінними для деталей, що зазнають тертя ковзання.

Винятково ефективним засобом економії бронзи і латуні при конструюванні опор ковзання є застосування тонкостінних згорнутих із стрічки циліндричних втулок замість виготовлених на токарних верстатах з литих заготовок труб або пруткового матеріалу.

Таке виробництво пов'язане з великою витратою металу, поперше, завдяки необхідності призначення значної товщини стінок, яка диктується не конструктивними вимогами, а умовами обробки і запресовки втулки в корпус підшипника і, по-друге, внаслідок значного відходу металу в стружку при знятті припуску.

Альтернативні втулки виготовляються в основному з латунної або бронзової стрічки товщиною від 0,8 до 2 мм.

Спеціальна технологія виробництва згорнутих із стрічки втулок передбачає відсутність припуску по зовнішній поверхні.

Припуск по внутрішній поверхні (не на бік, а на діаметр) встановлюється залежно від величини останнього і прийнятої технології обробки отвору в межах 0,03 - 0,7 мм для діапазону внутрішніх діаметрів у межах 10 - 80 мм.

Розглянемо приклад економії бронзи при заміні втулки, виточеної з литої заготовки (рис.3.6, а), втулкою, згорнутою зі стрічки (рис. 3.6, б).

Маса готових втулок: точеної - 0,24 кг і згорнутої - 0,07 кг, а маса заготовок: литої - 0,67 кг і завернутої - 0,092 кг. Отже, економія бронзи складає 86 %.

Припуск на обробку по внутрішньому діаметру згорнутої втулки прийнято найбільший – 0,70 мм (0,35 мм на сторону). Товщина стрічки 1,65 мм.

Припуск на обробку точеної втулки $\Delta = 3$ мм (щільність бронзи і латуні прийнята однаковою і рівною $8,7 \text{ Г/см}^3$).

Термін служби згорнутих втулок більше, ніж точених, внаслідок їх більш високого опору зносу завдяки наклепаній поверхні.

Наклеп створюється при виготовленні (прокаті) стрічки, а також у процесі обробки внутрішньої поверхні втулки. Це є додатковим чинником економії металу, що виявляється в процесі експлуатації машини.

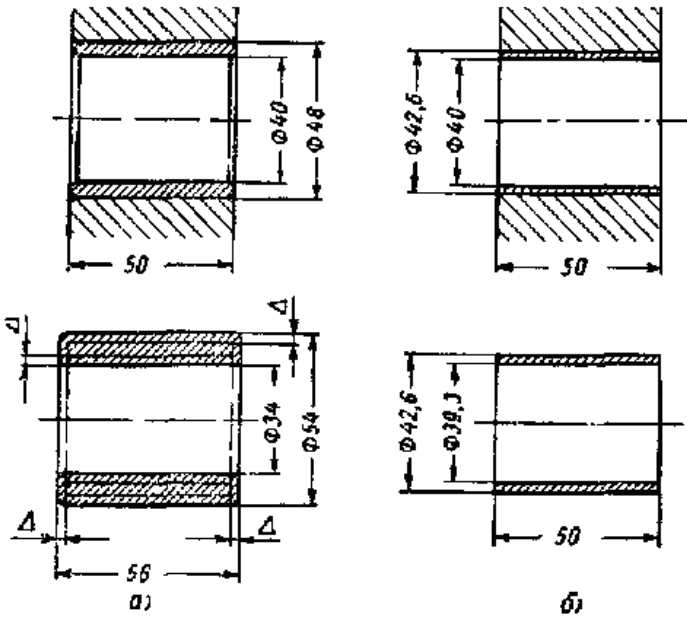


Рис. 3.6 – Приклад економії бронзи при заміні втулки

Висока технологічність згорнутих втулок обумовлена:

- прогресивним методом їхнього виготовлення – вирубкою і згортанням у штампах;
- одержанням отворів, канавок і поглиблень для змащення в процесі штампування;
- незначним обсягом механічної обробки – тільки по внутрішньому діаметру втулок, запресованих в підшипник;
- можливістю утворення фасок і фіксування втулок від провертання шляхом пластичної деформації матеріалу втулки після її установки на місце. Завдяки незначній товщині згорнуті втулки можна встановлювати в тонкостінних елементах (рис. 3.7 а, б).

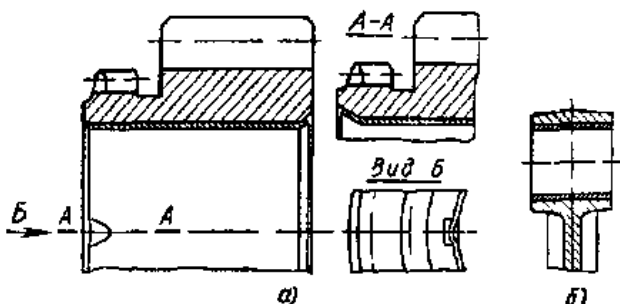


Рис. 3.7 – Застосування згорнутих втулок

Застосування згорнутих втулок обмежується значними витратами на виготовлення штампів. Тому вони є поширеними в основному в масовому виробництві автомобілів. Для розширення можливості переходу на завернуті втулки велике значення має їхня уніфікація, що дозволяє збільшити розміри серій.

Методика конструювання згорнутих втулок, вибору товщини стрічки, призначення операційних розмірів і оформлення робочих креслень приведена в інструкціях конструкторських відділів автомобільних заводів.

Як зазначалось, зниження ваги деталей є основним засобом економії металу, але воно може бути продиктовано і чисто конструктивними міркуваннями.

Наприклад, для деталей, що рухаються з перемінною швидкістю, велике значення має зменшення інерційних сил, що здійснюється зниженням маси, а отже, і ваги деталей. Це особливо важливо при сучасних тенденціях в машинобудуванні, спрямованих на підвищення робочих параметрів машин, а в авіації максимальне зменшення ваги всіх деталей є однією з основних вимог при конструюванні.

Про деякі можливості реалізації заходів зниження маси деталей і, відповідно, ваги конструкції згадувалося при розгляді питань про міцність і жорсткість деталей.

Наприклад, згідно зі стандартом для клинопасових передач при потужності в межах 1 - 2 кВт і швидкості руху паса понад 10 м/с рекомендуються два його перетини О і А. При розрахунковому діаметрі меншого шківів $D_f=63$ мм і коловій швидкості ременя $V=12,6$ м/с пас (рис. 3.8, а) перетину О може передати потужність $N_o = 0,75$ кВт.

При розрахунковому діаметрі меншого шківa $D_1 = 125$ мм і відповідній швидкості ременя $V = 25$ м/с пас (рис. 3.8, б) перетину А здатний передати потужність $N_0 = 2,21$ кВт.

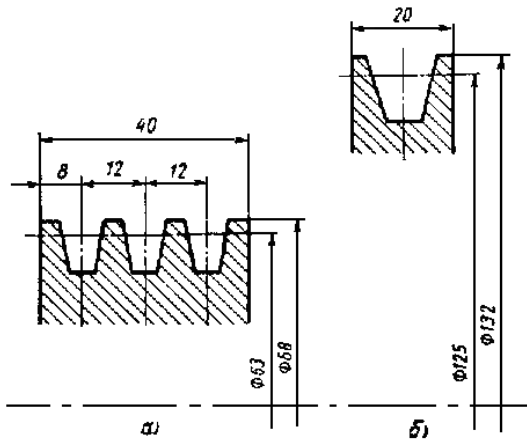


Рис. 3.8 – Шківa клинопасових передач

Таким чином, за прaцездaтністю передача з трьома ременями перетину О еквівaлентна передачі з одним ременем перетину А.

Із зіставлення цих варіaнтів очевидно, що використання трьох ременів перетину О дає зменшення діаметра шківa в 2 рази і таке ж збільшення його ширини. Обсяг циліндричних тіл пропорційний їхньому діаметру в другому ступені, а ширині – у першому. Звідси очевидно, що застосування першого варіaнта приводить до значного зменшення маси основного елемента шківa – його обода.

Зниження маси шківів клинопасових передач за рахунок застосування ременів малих перетинів особливо помітно на великих шківaх, тому що тут, крім обода, велике значення має величина диска.

Крім того, при першому варіaнті передача буде значно компактніше не тільки завдяки меншим діаметрам шківів, але і за рахунок зменшення відстані між осями валів. Ця обставина досить істотна для транспортних машин.

Конструювання з урахуванням видалення зайвого «непрацюючого» металу – захід, ефективний з погляду економії металу тільки в тих випадках, коли він реалізується в заготовках зварених, литих, кутих і штампованих деталей.

Якщо ж формоутворення здійснюється механічною обробкою, то зайвий метал, що знімається при цьому перетворюється на стружку. У таких випадках значно зменшується маса деталей, але прямої економії металу нема.

Економія металу здійснюється за рахунок зменшення товщини стінок і заміни масивних, суцільних перетинів полегшеними. Цей захід супроводжується введенням ребер, окантовок, видавок і т. ін., а також застосуванням полегшених перетинів, які мають добрий опір при згинанні.

Треба мати на увазі, що при застосуванні несущільних перерізів з виступаючими елементами в литих і штампованих деталях необхідно враховувати й умову їхнього формоутворення.

Суттєвого зниження собівартості продукції можна досягти шляхом зменшення загальної конструкції деталей та елементів, виготовлених з дорогих і дефіцитних металів.

Елементи, що входять до складу більшості деталей машин, в аспекті умов їхньої роботи і навантаженості можуть бути розділені на дві категорії.

До першої відносяться елементи, що зазнають під впливом прикладених статичних і динамічних, об'ємних і поверхневих навантажень значних напружень, та елементи, що працюють на стирання і т. под.

До другої категорії слід віднести елементи, на які діють порівняно невеликі навантаження, головним чином постійні, а також елементи, зовсім не навантажені.

Необхідна працездатність елементів першої категорії при одночасному прагненні до можливого зменшення їхніх розмірів забезпечується призначенням високоякісних матеріалів із застосуванням відповідної термічної і хіміко-термічної обробки, а також зміцнюючої технології.

Однак такі матеріали відрізняються високою вартістю і найчастіше є дефіцитними. У зв'язку з цим їхнє застосування недоцільне для елементів, віднесених до другої категорії, що можуть вільно працювати, будучи виготовленими з порівняно дешевих і недефіцитних матеріалів.

У зв'язку з цим для можливості диференціації матеріалів у межах однієї деталі вдаються до її поділу на складові частини. Наприклад, зубчасті колеса часто конструюють складеними (рис. 3.9).

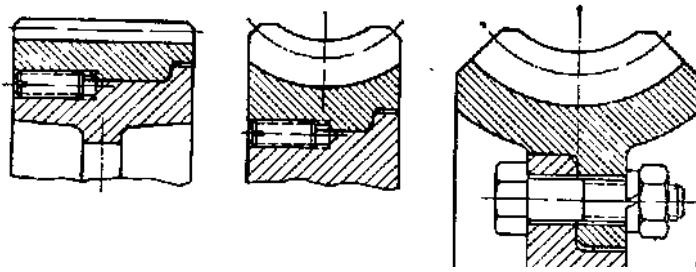


Рис. 3.9 – Складені зубчасті колеса

Цей захід дає економію дорогих дефіцитних матеріалів не тільки при виготовленні машин, але і при їхньому ремонті, тому що замість цілої деталі замінюється тільки її частина, що стала непридатною.

Необхідно мати на увазі, що виготовлення складених деталей складніше і дорожче, ніж цільних. У випадках, пов'язаних з можливістю економії дефіцитних металів, наприклад олов'янистої бронзи, це не враховується. Якщо ж справа стосується скорочення витрати дорогих, але порівняно недефіцитних металів, то здійснення даного заходу доцільно, коли кошти, отримані від їхньої економії, перевищують різницю між вартістю виробництва складених і цільних деталей.

Правильне вирішення цього питання може бути отримано тільки на основі досить складних техніко-економічних розрахунків, що враховують ряд різних факторів. У процесі конструювання нових об'єктів виробництва виконання таких розрахунків для конструкторів практично неможливо. Тому слід орієнтуватися на існуючі аналогічні деталі і рекомендації, що подані у відповідній літературі.

3.6 Технологічні вимоги до конструкції деталей, отриманих різними способами

3.6.1 Зварені деталі

Елементи, що складають зварені заготовки деталей, можуть бути виготовлені із сортового прокатного металу холодним штампуванням, вільним куванням і гарячим об'ємним штампуванням або отримані шляхом лиття.

Відповідно до методів одержання елементів зварені заготовки можуть бути: штамповано-зварні, зварювально-ковані-прокатні, зварювально-литі-прокатні і т. под.

Технологічні вимоги до конструкції зварених заготовок деталей машин визначаються конструкцією їхніх елементів, способом зварювання, конструкцією з'єднань і їхнім розташуванням.

Розглянемо, як впливає конструкція елементів на технологію їх виготовлення. При розробці елементів деталей із сортового металу розміри поверхонь, які не потребують механічної обробки, слід призначати за відповідним стандартом. Наприклад, зовнішній діаметр втулки не слід брати рівним 55 мм, тому що в сортаменті на гарячекатану круглу сталь цього діаметра немає. Найближчі до нього діаметри – 53 і 56 мм.

При виконанні робочих креслень зварених деталей, залежно від вимог до точності витримування розмірів і взаємного розташування оброблюваних поверхонь, конструктор вирішує, чи буде остаточна обробка того або іншого елемента зроблена до зварювання або після нього.

Значною мірою це залежить від вимог до точності конструкції. Якщо вона висока, то остаточну обробку деталей необхідно робити після її зварювання, що повинно бути враховано в робочих кресленнях, бо у цьому випадку необхідно враховувати припуски на остаточну механічну обробку після зварювання.

Ребра і косинки не повинні мати гострих кутів, бо у зоні їх зварювання не забезпечується повноцінність шва. Тому перед зварюванням гострі кути треба зрізати так, щоб ширина площадки, що утвориться, була в 2-3 рази більше катета шва.

Кути елементів, вигнутих з листового і смугового металу, повинні бути виконані по зовнішньому і внутрішньому контурах концентричними радіусами.

Конструктор, прагнучи забезпечити найбільшу компактність деталі, намагається звичайно призначити мінімальний радіус вигину. Однак це ускладнює відповідну операцію і підвищує ймовірність появи тріщин у вигнутій зоні. Тому можливості зменшення її внутрішнього радіуса обмежені визначеними нормами залежно від матеріалу деталі, його стану (відпалений або наклепаний) і напрямку волокон.

Максимальна простота конфігурації елементів зварених деталей із сортового прокату є основною умовою технологічності їхньої конструкції.

Контури елементів, що вирізуються з листового металу, повинні бути обмежені прямими лініями. Винятками з цього правила є елементи, яким спеціально надаються криволінійні обриси з яких-небудь конструктивних міркувань.

При конструюванні зварених шківів, зубчастих коліс і подібних до них деталей, якщо різниця між шириною вінця і довжиною маточини незначна, не слід робити ребра трапецієподібної форми. Ребра постійної ширини значно технологічніші, тому що в цьому випадку відпадає різання по контуру і вони можуть бути виготовлені зі смугового прокату.

Необхідно також стежити за можливістю уніфікації застосованого сортаменту, не допускаючи необґрунтованого збільшення його розмірів (товщини листового металу, діаметрів прутків і труб, номерів профілів тощо).

Спосіб зварювання (табл. 3.2) визначається типом виробництва деталей (одиничне, серійне, масове), конструкцією деталі, матеріалом її елементів, товщиною або площею перетину елементів, що з'єднуються, видом з'єднання і пропонованих вимог до зварювального шва.

Найкращі результати як з погляду якості з'єднання, так і у відношенні продуктивності, дає автоматичне і напівавтоматичне електродугове зварювання під шаром флюсу.

Застосування автоматичного зварювання раціональне для виконання безперервних прямолінійних і кільцевих швів значної довжини, а також для безперервних кільцевих і плавних криволінійних швів, навіть порівняно невеликих деталей в умовах багатосерійного або масового виробництва.

Застосування ж напівавтоматичного зварювання під шаром флюсу допускає виконання переривчастих швів довільного обрису й обмеженої довжини.

Залежно від матеріалу елементів, що зварюються, й їхньої товщини автоматичне і напівавтоматичне електродугове зварювання можна виконувати металевим електродом, що плавиться, і неплавкими вугільним або вольфрамовим електродами.

Ручне електрозварювання з відкритою дугою застосовується переважно при одиничному і дрібносерійному виробництві. Воно відрізняється високою універсальністю, тому що застосовується для зварювання деталей різноманітної форми і величини.

Його недоліками є мала продуктивність і знижена якість швів порівняно зі швами, що виконуються автоматичним або напівавтоматичним зварюванням. Воно може здійснюватися як металевими електродами, що плавляться, так і неплавкими вугільними.

Вибір електрода визначається матеріалом елементів, що зварюються, їхньою товщиною і видом зварюваного з'єднання.

Найбільш раціональне застосування вугільних електродів, що не плавляться, при зварюванні з'єднань, для яких не потрібен присадочний матеріал, наприклад з'єднання з відбортовкою.

Аргонно-дугове й атомно-водневе зварювання застосовуються при з'єднанні тонкостінних елементів з різних профілів, листового металу, труб і т. под.

У зв'язку з відносно високою вартістю ці способи зварювання слід застосовувати тільки в тих випадках, коли це продиктовано конструктивними металургійними і технологічними вимогами, тобто коли інші способи зварювання не можуть забезпечити належної якості з'єднань.

Електрошлакове зварювання застосовується для виконання безперервних вертикальних і кільцевих стикових швів. Його особливістю є велика товщина елементів, що зварюються (до 400 мм і більше).

Застосування електрошлакового зварювання винятково доцільне при виготовленні таких конструкцій, як станини потужного ковальсько-пресового і прокатного устаткування, товстостінні зварені барабани і резервуари високого тиску, вали гідравлічних турбін.

Газове зварювання відрізняється ще більшою універсальністю, ніж ручне електрозварювання електродом, що плавиться, тому що воно дає можливість здійснювати з'єднання не тільки деталей найрізноманітнішої форми і величини, але і виконаних з різних металів.

Таблиця 3.2 – Конструктивні показники використання основних способів зварювання, що застосовуються у машинобудуванні

Спосіб зварювання		Матеріали, що зварюються	Товщина металу в мм	Вид з'єднання
Електродугова				
Автоматичний або напівавтоматичний	Ручний			
Під шаром флюсу плавким металевим електродом	Плавким електродом з відкритою дугою	Сталь, алюміній, мідь	Вище 1,5	Стикові, внахльст, таврові, кутові

Продовження таблиці 3.2

	Під шаром флюсу неплавким вугільним або вольфрамовим електродом	Неплавким вугільним електродом з відкритою дугою	Вуглецева сталь, кольорові метали та сплави, кольорові метали з чорними (наприклад, мідь зі сталлю, латунь зі сталлю)	1 - 5	Стикові, внахльост, кутові, таврові
	Аргонно-дуговий		Нержавіюча сталь, алюмінієві та магнієві сплави, кислотоупорна та жаростійка сталь, сплави з високим вмістом хрому, нікель та його сплави	1 - 5	Те ж саме
	Атомно-водневий		Маловуглецева сталь, алюміній та його сплави	0,5 - 6	Те ж саме
Електрошлаковий		-	Вуглецева та легована сталь	20 - 400 і більше	Стикове зварювання вертикальних та кільцевих швів
	-	Газовий	Сталь і чавун. Алюміній та його сплави, мідь та її сплави	0,3-5 (частіше до 2) 0,3-10	Стикові, внахльост, кутові, таврові, з відбортовкою

Продовження таблиці 3.2

	Стикове	-	Сталь, алюміній	-	Стикові
Контактне електрозварювання	Точковий	-	Маловуглецева сталь Низьколегована сталь Нержавіюча сталь Жароміцні сплави Алюмінієві та мідні сплави	До 12 » 10 » 6 » 3 » 2,5	Внахльост, приварювання накладних елементів
	Рельєфний	-	Маловуглецева сталь	» 4	Те ж саме
	Роликовий	-	Маловуглецева сталь Нержавіюча сталь Жароміцні сплави Алюмінієві сплави Мідні сплави	» 2 » 1,75 } » 1,5 }	Внахльост

Воно забезпечує одержання якісних, добре сформованих швів, зручне для з'єднання тонкостінних і трубчастих елементів а також забезпечує найбільш якісне зварювання сірого чавуну. Його недоліком є значна деформація деталей, особливо при з'єднаннях з кутовими швами.

Продуктивність газового зварювання, а отже, і економічна доцільність його застосування різко падають з підвищенням товщини елементів, що зварюються.

Стикове зварювання застосовується для подовження конструктивних елементів, а також для утворення елементів із замкнутим контуром (ободи коліс, вінці зубчастих коліс, обичайки і таке інше). Перетин елементів – круглий і прямокутний (суцільний і пустотілий), а також профільний.

Точкове і рельєфне зварювання застосовуються при виготовленні штамповано-зварних деталей з листового і смугового металу, а також для прикріплення облицювань до каркасів.

Роликове зварювання може бути перервним і безперервним, застосовується, головним чином, при виготовленні тонкостінних резервуарів. Безперервне роликове зварювання забезпечує міцнощільне з'єднання.

На кресленнях готових деталей вказують шви, а на робочих кресленнях окремих елементів – підготовку крайок цих елементів до зварювання, якщо така повинна мати місце.

Стосовно до точкового і рельєфного зварювання необхідне призначення (відповідно до встановлених норм) товщини елементів, що зварюються, відстані між точками і розташування швів відносно крайок. Необхідно також доступ до приступність місць зварювання.

Підготовка крайок елементів до зварювання полягає в односторонньому або двосторонньому знятті фасок по всій довжині передбачуваного шва. Крайкам важко навантажених швів, що з'єднують елементи значної товщини, додають у перетині увігнутий криволінійний профіль. Способи обробки крайок: стругання, фрезерування, газове різання.

Мета підготовки крайок – підвищення міцності шва за рахунок збільшення поверхонь зіткнення елементів, що зварюються, з наплавленим металом.

3.6.2 Литі деталі

Ливарна технологія має декілька способів виконання виливків і утворення ливарних форм. Найявні способи дають можливість одержання деталей машин найрізноманітнішої конструкції зі складними внутрішніми порожнинами й елементами перемінного перетину. Конструювання таких деталей стосовно до інших методів виготовлення заготовок часто виявляється недоцільним, а в ряді випадків і взагалі неможливим. З технологічної точки зору метод лиття характеризується високою універсальністю і можливістю застосування у будь-яких виробничих умовах.

Основними критеріями, що визначають вибір матеріалу для виготовлення литих деталей, є їх конструктивні форми, цільове призначення й умови роботи, характер і величина навантажень і напружень.

Найбільш широко розповсюджена в машинобудуванні вилівка із сірого чавуну. Це зумовлено відповідними технологічними яко-

стями процесу, які задовольняють умови лиття деталей найскладнішої конфігурації, відносною дешевиною виробництва лиття із сірого чавуну і його доброю механічною оброблюваністю.

Важливими конструктивними властивостями сірого чавуну є його здатність поглинати вібрації, зносостійкість і незалежність границі витривалості від незначних концентраторів напружень (подряпини, риси і таке інше).

Сірий чавун дуже добре працює на стиск, за невисоких навантажень задовільно працює на згинання і непридатний для деталей, що зазнають розтягання.

Основними недоліками звичайного сірого чавуну є низькі механічні властивості і крихкість, що обмежує можливості його використання.

Через низькі механічні властивості сірого чавуну доводиться збільшувати товщину стінок деталей, що призводить до збільшення ваги конструкції і витрати металу.

Прикладами застосування виливків із сірого чавуну є:

- у загальному машинобудуванні – станини, стійки плити, корпуси, кронштейни, деталі підшипників ковзання і муфт, зубчасті колеса, шківни, маховики;

- в автотракторобудуванні – блоки і головки циліндрів, гільзи, поршні, поршневі кільця, маховики, картери, кришки;

- у верстатобудуванні – станини, столи, траверси, супорти, корпуси, задні бабки, зубчасті колеса допоміжних механізмів, шківни, деталі фрикційних муфт і органів керування;

- у підйомно-транспортних машинах – барабани, блоки, гальмові шківни і колодки, муфти, корпуси підшипників, деталі роликів опор транспортерів, зубчасті колеса, шківни, маховики.

Виливки з ковкого чавуну відрізняються гарною механічною оброблюваністю, допускають холодне виправлення, штампування, карбування, прокатку, різання і згинання. Ці якості дозволяють виправляти деформовані виливки складної конфігурації (наприклад, усіякі важелі і кронштейни), одержувати гладкі правильні «чорні» поверхні шляхом їхнього карбування і застосовувати за допомогою заклепок з'єднання в деталях з ковкого чавуну.

Прикладами застосування виливків з ковкого чавуну є:

- в автотракторобудуванні – картери задніх мостів і рульових пристроїв, педалі гальм і зчеплень, важелі і кронштейни;

– у підйомно-транспортних машинах і пристроях – тягові ланцюги, храповики, литі деталі тельферів;

– у водо-газо-паропровідних установках – різні з'єднувальні фітінгові деталі (косинці, трійники, муфти, накидні гайки тощо).

Багато деталей сільськогосподарських, текстильних, поліграфічних і інших машин виготовляють з ковкого чавуну.

Ливарні властивості сталі значно нижче ливарних властивостей чавуну. Сталь, у зв'язку з малою рідинотекучістю, погано заповнює форми, виявляє велику схильність до ліквідації й утворення порожнин. У зв'язку зі значною усадкою можливість короблення і виникнення усадочних раковин і тріщин у сталевих виливків зустрічається частіше, ніж у чавунних. Сталеві виливки значно складніше піддаються очищенню, ніж чавунні. У зв'язку з цим сталь не застосовують для виготовлення виливків складної конфігурації з тонкими стінками і підвищеними вимогами до зовнішнього вигляду і точності розмірів.

Виливка важких, грубих деталей, що сприймають динамічні навантаження, для яких за умовами їхньої роботи сірий чавун неприйнятний, виконують зі сталі, а не з ковкого чавуну з наступних міркувань:

– сталеві виливки мають кращі механічні властивості, ніж ковкий чавун;

– через простоту форми, велику товщину стінок і порівняно невисокі вимоги до точності і зовнішнього вигляду таких виливків ливарні властивості сталі виявляються досить задовільними;

– віджиг великих, товстостінних виливків з білого чавуну для одержання ковкого займає багато часу, що економічно не виправдовується;

– сталеві виливки більш доступні для виготовлення на машинобудівних підприємствах, ніж виливки з ковкого чавуну.

Зі сталі відливають станини молотів і кувальних машин, станини і великі деталі формувальних машин, ходові колеса кранів, траки гусеничних машин, литі рами тракторів. Крім того, зі сталі відливають елементи заготовок зварно–литих деталей.

Виливка зі сплавів кольорових металів це виливка з бронзи та її сплавів. Бронза володіє високими антифрикційними властивостями, завдяки чому є найкращим матеріалом для підшипників, повзунів, коліс черв'ячних передач і інших деталей, що зазнають тертя ковзання.

Однак з метою економії дефіцитних і дорогих кольорових металів застосування бронзових і латунних деталей взагалі і виливків з цих сплавів, зокрема, повинно бути зведене до мінімуму.

Особливо це відноситься до олов'янистої бронзи.

Для перерахованих і аналогічних до них деталей використання бронзи може і повинно зводитися до уведення втулок, накладок вкладишів, зубцюватих вінців і т. под., установлюються тільки в місцях, що безпосередньо працюють на тертя.

Застосування бронзових і латунних виливків може бути пов'язане з роботою деталей у важких корозійних умовах (у морській воді, у вологому або кислотному середовищах, при високій температурі тощо).

Іноді застосування деталей, які відлиті із бронзи або латуні, обумовлюється також спеціальними вимогами до цих деталей, пов'язаними з теплопровідністю, електропровідністю, антимагнітністю і т. ін.

Отже, деталі, виготовлені цілком із бронзових або латунних виливків, можуть мати місце тільки в особливих випадках і тільки тоді, коли заміна цих сплавів іншими - неможлива.

Виливка з алюмінієвих і магнієвих сплавів відрізняється низькою питомою вагою і при відповідному складі має високі механічні і ливарні якості.

Алюмінієві сплави із вмістом у великих кількостях кремнію (8 – 14%) називаються силумінами, ливарні якості яких є дуже високими. Завдяки високій рідинотекучості вони добре заповнюють форми складних тонкостінних виливків. Силумінові виливки мають добру стійкість проти корозії і зберігають достатню міцність за підвищеної температури.

Якщо питома вага алюмінієвих сплавів приблизно дорівнює $2,7 \text{ г/см}^3$, то для магнієвих сплавів вона складає $1,8 \text{ г/см}^3$. Алюмінієві і магнієві сплави широко застосовуються для виробництва виливків авіаmotorних і літакових деталей.

Алюмінієві сплави застосовують для виробництва поршнів, головок циліндрів і ряду інших деталей автомобілів і мотоциклів. У верстатобудуванні й в інших галузях машинобудування з цих сплавів виготовляють кришки, які часто відкриваються, щитки, шківни тощо.

У приладобудуванні їх використовують для виготовлення корпусів, кришок і інших деталей приладів.

З цинкових сплавів під тиском відливають деталі, які не потребують (або майже не потребують) наступної механічної обробки.

До таких деталей відносяться корпуси бензонасосів автомобільних двигунів, дверні і віконні рукоятки, арматура і різні декоративні лицювальні деталі легкових автомобілів, автобусів і тролейбусів.

У сучасному ливарному виробництві застосовують наступні способи лиття: в одноразові піщані форми, у постійні металеві форми (кокільне, під тиском, відцентрове), точне лиття за виплавленими моделями і в оболонкові форми.

При виборі найбільш придатного способу лиття для виготовлення заготовки тієї або іншої деталі слід виходити з наступних факторів:

- придатності даного способу для забезпечення необхідного конструктивного формоутворення і необхідної величини виливка;
- відповідності металу або сплаву, з яких можливе одержання виливка даним способом лиття, вимогам до матеріалу деталі, умовам її подальшої обробки й експлуатації;
- технологічних можливостей даного способу у відношенні забезпечення вимог до точності розмірів і чистоти поверхонь виливка, застосовності способу в конкретних виробничих умовах даного підприємства;
- техніко-економічної доцільності використання даного способу з урахуванням кількості заготовок, що відливаються.

Лиття в одноразові піщані форми відрізняється високою універсальністю, тому що воно забезпечує одержання різних за величиною і складністю виливків в умовах як індивідуального, так і масового виробництва. Виняток складають заготовки дуже дрібних деталей, що мають складну конфігурацію.

Для лиття в одноразові форми обов'язковою умовою є максимальна простота конструкції деталі, що відливається, в основу якої повинна бути покладена яка-небудь найпростіша геометрична фігура або сполучення декількох таких фігур. Необхідні елементи литих деталей у вигляді приливів, бобишек, буртів, площадок, фланців, ребер тощо повинні примикати до зазначених простих геометричних фігур, що складають основну частину виливка.

Правила конструювання елементів виливків у зв'язку з вимогами якості литих деталей і технологічності процесу розглядаються в наступному порядку:

- попередження ливарних дефектів;
- технологічність литих деталей з погляду виготовлення модельного оснащення і зручностей формування;
- прояви можливих відхилень при виробництві виливків.

3.6.2.1 Попередження ливарних дефектів

До числа основних дефектів лиття, на усунення або зменшення яких може впливати конструктивне оформлення деталей, відносяться короблення виливків і утворення в них внутрішніх напружень, раковин і тріщин. Ці дефекти виникають в результаті усадки, яка є наслідком затвердіння металу й охолодження виливків. Величина усадки для кожного металу відома, й її враховують при виготовленні моделей, які роблять відповідно більше за розмірами. Однак, ряд інших дефектів лиття, що виникають внаслідок усадки, тісно зв'язаний з конструктивним рішенням елементів виливків і литих деталей у цілому.

При вільному проходженні процесу усадки затверділий вилівок одержує розміри, трохи зменшені, ніж відповідні розміри форми, але дорівнюють розмірам, заданим на кресленні деталі. Практично процес усадки не протікає вільно і зустрічає деякий опір. Елементи деталі, що відливається, які виступають від основної поверхні в напрямку, поперечному до напрямку усадки основного тіла вилівка, «затискають» між собою матеріал форми і викликають так зване механічне гальмування усадки.

При литті в одноразові піщані форми їхній ущільнений матеріал, стискаючись між виступаючими елементами виливків, загальмовує усадку і, в якійсь мірі перешкоджаючи їй, створює появу внутрішніх напружень в елементах деталей.

Зв'язані один з одним але різні за товщиною, конфігурацією і розташуванням, елементи виливків остигають і стають твердими не одночасно. Тому їхня усадка виходить різною. У той час, як в одних частинах вилівка усадка буде протікати більш-менш вільно, в інших – виникає опір, який називають термічним гальмуванням усадки.

В елементах виливків, усадка яких піддана термічному гальмуванню, також будуть мати місце внутрішні напруження, що викликають деформацію (короблення) і тріщини виливків.

Крім того, усадка часто призводить до утворення у виливках так званих усадочних раковин. При затвердінні виливків завжди раніше охолоджуються і переходять у твердий стан зовнішні поверхні, які утворюють тверду оболонку.

Усадочні раковини виникають, коли при затвердінні якогось елементу вилівка ще рідкий метал, який знаходиться усередині затверділої оболонки, що утворилася, зменшуючись в обсязі

при своєму подальшому охолодженні, втрачає зв'язок із джерелом рідкого металу і позбавляється можливості поповнення.

Вимоги до конструкції литих деталей, спрямовані на попередження ливарних дефектів і забезпечення одержання якісного лиття, передбачають правильний вибір товщини елементів литих деталей, відповідну конфігурацію елементів виливків та усунення зайвих місцевих скупчень металу.

3.6.2.2 Вибір товщини елементів

Працездатність литих деталей доволі часто може бути забезпечена за досить малої товщини стінок, ребер, перегородок та інших елементів. Це пояснюється тим, що подібні елементи найчастіше дуже незначною мірою навантажені або взагалі не зазнають дії навантаження. Для ряду литих деталей основним критерієм їхньої працездатності є не міцність, а жорсткість, що легко забезпечується не за рахунок збільшення товщини перетинів, а шляхом уведення ребер, виступів, окантовок, заміною плоских поверхонь криволінійними.

Механічні властивості металу і, зокрема чавуну, у виливках визначаються не тільки його хімічним складом, але і швидкістю охолодження при затвердінні, що є функцією товщини перетинів елементів виливка. Тому потрібно враховувати, що окремі елементи однієї й тієї ж литої деталі можуть мати чавун різної структури, а звідси і його різні механічні властивості внаслідок неоднакової швидкості охолодження цих елементів.

Зі збільшенням товщини перетинів елементів виливків зменшується швидкість їхнього охолодження і знижуються механічні властивості чавуну. Таким чином, зменшення товщини перетину елементів сприяє підвищенню якості чавуну і збільшенню його міцності, а також приводить до значного зниження ваги деталей і економії металу.

Однак варто мати на увазі, що зі зменшенням товщини елементів погіршуються умови заповнення форм розплавленим металом, що потребує підвищення його рідинотекучості. Підвищення ж рідинотекучості пов'язане з перегрівом рідкого чавуну, що, у свою чергу, знижує якість лиття.

При призначенні товщини стінок литих деталей їхнє мінімально-допустиме значення слід вибирати залежно від величини виливків, їхньої конфігурації і від розташування стінок (зовнішніх або

внутрішніх). Чим більше величина виливка, тим більше повинна бути мінімальна товщина стінки.

Виливок простої конфігурації забезпечує порівняно рівномірне заповнення форми рідким металом, тому його можна конструювати з більш тонкими стінками, ніж складні. Внутрішні стінки (щоб уникнути появи тріщин у зв'язку з гіршими умовами їхнього остигання) повинні бути тонше зовнішніх приблизно на 20%.

При призначенні товщини (B) стінок виливків із сірого чавуну при литті в піщані форми можна користуватися даними таблиці 3.3. Так званий приведений габарит виливка (H) визначається за формулою:

$$H = \frac{l}{3}(2l + b + h),$$

де l – довжина; b – ширина; h – висота виливка.

Для виливків зі сталі товщину стінок слід приймати приблизно на 30% більше.

Унаслідок можливого зсуву ливарних стержнів фактично одержувані величини товщини стінок можуть відхилитися від величин, заданих у кресленні. Це потрібно враховувати при конструюванні литих деталей, особливо тонкостінних. Товщину ребер слід приймати в межах 0,6 – 0,8 від товщини стінок, до яких вони примикають.

Таблиця 3.3 – Мінімальна товщина (B) зовнішніх стінок виливків із сірого чавуну в залежно від приведенного габариту (H)

Приведений габарит H , м	Товщина стінки B , мм
0,5	6
0,5 – 1	6 – 8
1,0 – 1,25	8 – 10
1,25 – 1,5	10 – 12
2,0	14
2,5	16
3 – 4	18 – 22
4 – 5	22 – 24
5 – 9	24 – 30

В окремих випадках можна конструювати деталі з особливо тонкими стінками. Такі деталі складаються з двох частин: одна з листової сталі, а інша – лита.

Конструкція подібної деталі (гальмового барабана автомобіля) показана на рис. 3.10. Барабан виконують у такий спосіб: штампований сталевий диск *1* вставляють у форму перед її заливанням; у процесі затвердіння вилівка диск і чавунна частина барабана (його обід *2*) зварюються.

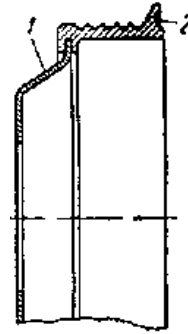


Рис. 3.10 – Гальмовий барабан автомобіля

Спряження елементів виливків. Призначена конструктором мінімальна товщина стінки основного тіла литої деталі дуже рідко може залишитися постійною.

У ряді випадків конструкція деталі в її окремих частинах вимагає більш товстих стінок. Крім того, до основного тіла вилівка завжди примикають різні конструктивні елементи у виді фланців, ребер, площадок, припливів, бобишек і тому подібного.

Товщина цих елементів визначається з конструктивних міркувань і іноді значно відрізняється від товщини стінки, що сполучається з ними, але як за однакової, так і за різної товщини елементів їхнє сполучення обов'язкове повинно бути плавним.

В другому випадку це особливо істотно, тому що при недотриманні даної умови, у результаті нерівномірного охолодження суміжних елементів, виникнуть місцеві «термічні» напруги, сконцентровані в зонах різких переходів перетинів, і призведуть до короблення і появи тріщин.

Плавність сполучень, у першу чергу, забезпечується заокругленням відповідних кутів, які називають галтелями.

Для забезпечення плавності переходу перетинів і усунення в місцях сполучень зайвих скупчень металу можна рекомендувати наступну побудову переходів:

– за рівної товщини (δ) елементів, що сполучаються (рис. 3.11 а, б, в), радіус галтелі (r) і радіус заокруглення виступаючого кута (R) дорівнюють:

$$r = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{3} \right) \delta; \quad R = \delta + r;$$

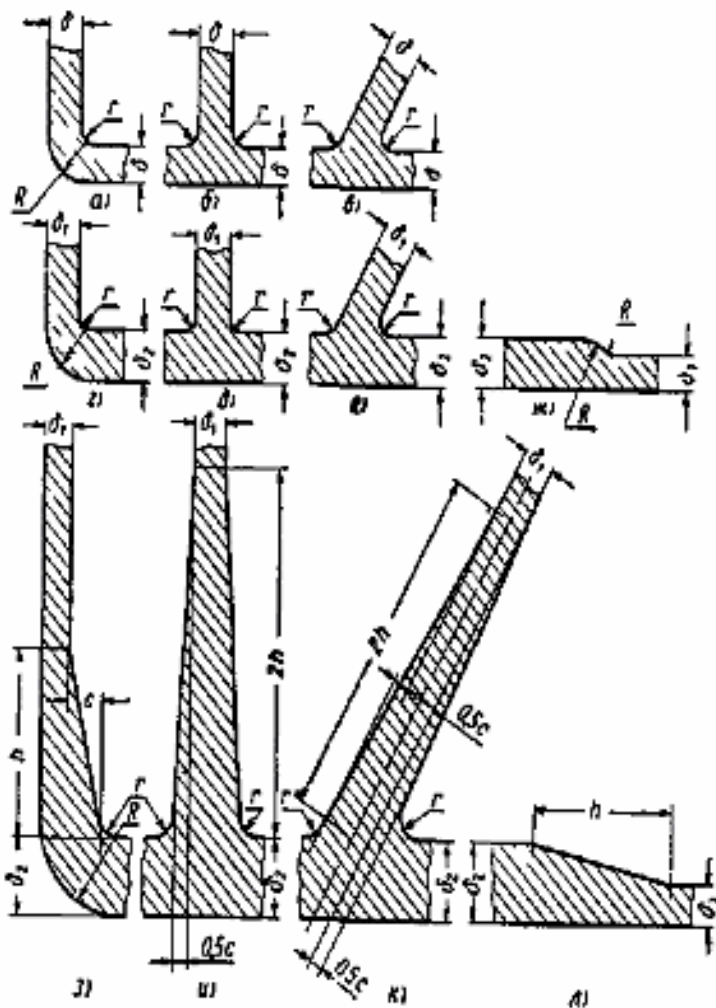


Рис. 3.11 – Ливарні заокруглення

– за умови, що $\delta_2 \leq 2\delta_1$, (рис. 3.11, г, д, е, ж):

$$r = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{3} \right) \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}; \quad R = \delta_1 + r;$$

– за умови, якщо $\delta_2 \geq 2\delta_1$ (рис. 3.11, з, і, к, л):

$$r = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{3} \right) \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}; \quad R = \delta_2 + r;$$

– розміри перехідної ділянки:

$$h \geq 4(\delta_2 - \delta_1); \quad c = \delta_2 - \delta_1.$$

Приведені дані відносяться до виливків із сірого чавуну, а для сталевого лиття величину h рекомендується приймати на 25 % більше.

Якщо поверхня Π підлягає обробці (рис. 3.12), то для визначення параметрів елементів сполучення у величину потрібно включити припуск на обробку (3 - 4 мм).

У випадках, подібних до представленого на рис. 3.12, а, радіус заокруглення виступаючого кута r не повинен перевищувати величину припуску Δ . Для усунення зайвого скупчення металу такі сполучення часто виконують, так як показано на рис. 3.12, б.

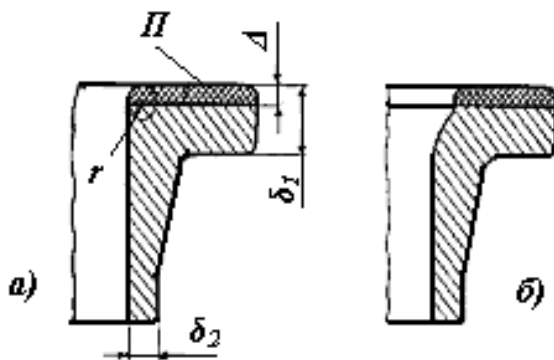


Рис. 3.12 – Припуск на обробку виливків

На рис. 3.13 показані приклади, коли радіуси R заокруглень призначаються з конструктивних міркувань.

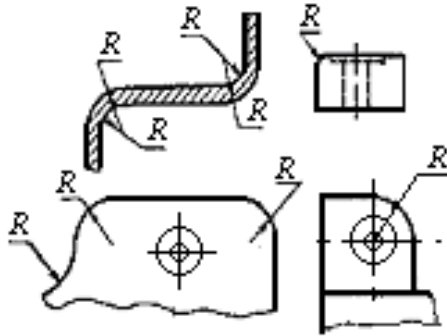


Рис. 3.13 – Ливарні заокруглення

Майже в кожному виливку є місця, у яких конструкцією не передбачаються заокруглення виступаючих кутів (наприклад, крайки ребер, литих отворів і тому подібне). Однак це не означає, що тут може мати місце різке сполучення без усякого заокруглення. Справа в тім, що при звичайних способах лиття в піскові форми рідинотекучість розплавленого металу і гідростатичний тиск, з яким він надходить у порожнини форми, не можуть забезпечити чіткого заповнення вхідних кутів останньої. Якщо форма і буде мати різкі вхідні кути, то метал усе рівно їх не заповнить і сам утворить невеликі заокруглення, що називається ливарними.

Тому, коли мається на увазі, що сполучення поверхонь, що утворюють виступаючі кути, не повинні мати спеціального конструктивного заокруглення, тоді в кресленнях такі сполучення здійснюються з ливарними заокругленнями.

Радіус ливарного заокруглення слід вибирати в межах 1,5–3 мм і обумовити в кресленнях відповідним написом.

Стандартом установлений наступний ряд нормальних радіусів заокруглень галтелей виливків у мм 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40. З цього ж ряду рекомендується вибирати значення радіусів для конструктивних заокруглень зовнішніх кутів виливків.

З метою уніфікації елементів моделей, скорочення номенклатури шаблонів і інструментів рекомендується за можливістю зменшувати число різних радіусів галтелей і заокруглень.

При сполученнях, що утворюють гострий кут, створюється скупчення металу (рис 3.14, а), для усунення якого треба застосову-

вати прийоми, показані на рис. 3.14, б та в, де вилучені ділянки зайвого металу показані затемненими.

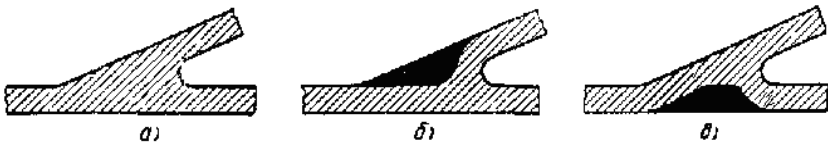


Рис. 3.14 – Ливарні сполучення

Для посилення зв'язку між елементами литих деталей слід вводити ребра, у яких для усунення місцевого скупчення металу іноді передбачаються спеціальні отвори.

Уведення ребер є не тільки конструктивним заходом, спрямованим на підвищення міцності і, головним чином, жорсткості литих деталей, але і технологічним. Завдяки ребрам поліпшуються умови заповнення порожнин форми рідким металом, а також трохи усувається нерівномірність температури різних за товщиною елементів виливка під час його охолодження.

Для спрощення виготовлення модельного оснащення слід намагатися, щоб обриси литих деталей були обмежені площинами і поверхнями обертання.

Способи формування, якими оперує ливарна технологія, дозволяють успішно справлятися з одержанням виливків досить складної конфігурації. Однак при конструюванні литих деталей необхідно враховувати й ускладнення формування, які найчастіше мають місце завдяки технологічній недоцільності конструкції виливка і його окремих елементів. З ускладненням формування зростає вартість деталей, а іноді й імовірність одержання неякісного лиття і браку.

Кожна деталь може бути відформована по-різному не тільки у зв'язку з можливістю застосування того або іншого способу формування, але й у межах обраного способу – за рахунок зміни її положення у формі. Положення деталі у формі визначається в процесі її конструювання і знаходить своє відображення в конструктивному оформленні робочих креслень.

При конструктивній побудові литих деталей необхідно виходити від конкретних баз, якими є поверхні розйомів форм і моделей, а поверхні елементів виливка, спрямовані за рухом моделей, при їх-

ньому вийманні з форми, повинні мати деякий ухил до цього напрямку. За наявності ухилу полегшується виймання моделі і зберігаються якості ливарної форми. Наприклад, при вийманні циліндричної моделі протягом усього шляху вона буде торкатися стінок форми, і виникаюче при цьому тертя, роблячи опір рухові моделі, буде сприяти псуванню і руйнуванню форми.

При конструктивному оформленню литих деталей у результаті додання ухилів відповідні торцеві і циліндричні поверхні тіл обертавання перетворюються в конічні.

Ливарні ухили, що називаються ще формувальними, як уже було відзначено, є технологічним заходом. Характеризуючи ухили з погляду конструктивних міркувань, можна визначити два випадки: конструкція допускає ухили значно більшої величини, ніж це передбачається вимогами формування (рис. 3.15, а, б); наявність ухилу небажана або навіть неприпустима. Чим більше ухил, тим, природно, легше виймати модель і менше імовірність ушкодження форми. Тому в першому випадку рекомендуються ливарні ухили замінити так званими конструктивними.

Зазвичай, величина конструктивних ухилів значно більше, ніж ливарних, і не регламентується, але щоб уникнути зайвих стовщень елементів і скупчень металу в місцях переходу, надмірні конструктивні ухили не слід вводити. Кут α допускається приймати в межах 30–45° тільки для несильно виступаючих площадок і бобишек (рис. 3.15, в).

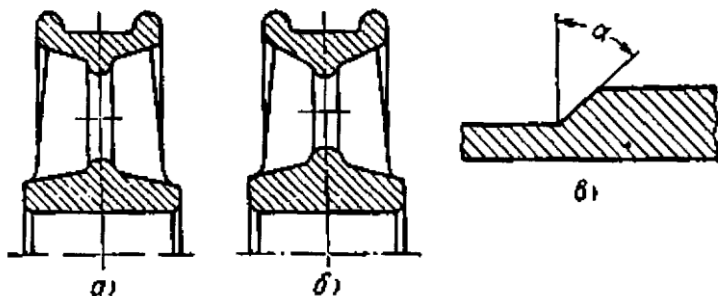


Рис. 3.15 – Ливарні ухили

Звичайно, для простих деталей дуже легко орієнтуватися у встановленні їхнього положення щодо площини розйому форми й у

тім, які поверхні повинні виконуватися з ухилами. Однак у практиці конструювання часто доводиться розробляти такі деталі, для яких рішення зазначених питань є складним.

Як загальне правило, можна вказати, що ухили повинні передбачатися на відповідних поверхнях стінок і елементів литих деталей, розташованих у напрямку виконання моделей і їхніх окремих частин з форм, а також у напрямку відділення від стрижнів (при їхньому формуванні) стінок ливарних ящиків і вкладишів, які вибиваються.

Слід зазначити, що іноді висловлюється думка, нібито завдання формувальних ухилів є функцією технологів-ливарників і модельників і не входить в обов'язок конструкторів. Це зовсім невірно. Конструктор, розробляючи деталь, повинен зобразити її на робочому кресленні точно так, як вона буде виглядати в остаточно готовому вигляді.

Якщо вилівок піддається всебічній обробці, то на робочому кресленні деталі, природно, не може бути поверхонь з ливарними ухилами. У цьому випадку завдання формувальних ухилів і переходів є компетенцією винятково технологів-ливарників і модельників.

Що ж стосується поверхонь литих деталей, які не підлягають механічній обробці, то вони, якщо це потрібно за умовами формування, обов'язково повинні бути показані на робочих кресленнях з відповідними ухилами. І справа не тільки в геометричній правильності зображення деталей і у вказівці основного напрямку формування. У ряді випадків ухили треба враховувати при призначенні розмірів.

Лиття в постійні металеві форми різко підвищує продуктивність формування, поліпшує умови праці в ливарних цехах, забезпечує високу якість виливків (підвищується точність їхніх розмірів і чистота поверхонь, поліпшується структура металу) і забезпечує багаторазове використання форм.

Можливість застосування лиття в металеві форми обмежується високою вартістю виготовлення останніх, зростаючої зі збільшенням розмірів виливків, ускладненням їхньої конструкції і зниженням технологічності.

Кількість виливків, яку можна одержати в металевій формі зі збереженням їхніх розмірів у заданих межах, характеризує її стійкість, що залежить у першу чергу від температури плавлення сплаву (з підвищенням температури стійкість знижується).

Рентабельність застосування лиття в металеві форми визначається їхньою вартістю і стійкістю. Для підвищення рентабельності при конструюванні литих деталей стосовно до заданого способу лиття слід прагнути до зниження вартості виготовлення форм за рахунок максимальної простоти і технологічності конструкцій деталей і до підвищення стійкості форм, використовуючи лиття в металеві форми, головним чином, для деталей з легких сплавів.

Спосіб лиття в постійні металеві форми поєднує лиття кокільне, під тиском і відцентрове.

Лиття в кокіль застосовується переважно в багатосерійному і масовому виробництвах для одержання виливків з алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів. Можливо лиття у кокіль чавунних, а також і сталевих заготовок деталей машин.

Залежно від конфігурації вилівка кокіль може бути нероз'ємним і роз'ємним. Може бути цілком кокільне лиття і напівкокільне. При цілком кокільному литті форма (кокіль) і стержень виконуються з металу, при напівкокільному – кокіль металевий, а стержень земляний.

Цілком кокільне лиття застосовується для виливків з легкоплавких сплавів кольорових металів. Для одержання заготовок з чорних металів користуються полукокілним литтям.

З огляду на знижену стійкість кокілів при відливанні чавунних і сталевих заготовок, застосування кокільного лиття для чорних металів слід рекомендувати тільки для простих деталей.

Що ж стосується сплавів кольорових металів, то досвід багатьох машинобудівних підприємств показує можливість і доцільність використання кокільного лиття для одержання деталей досить складної форми (наприклад, головки циліндрів авіаційних двигунів з повітряним охолодженням).

Серйозним недоліком лиття в кокіль є знижена заповнюваність порожнин форми рідким металом, унаслідок його швидкого остигання і втрати рідинотекучості. Цей недолік усувається шляхом подачі розплавленого металу у форму під великим тиском. При даному способі процес лиття здійснюється в сталевій формі зі сталевим стержнем.

Найважливішою конструктивною і технологічною перевагою лиття під тиском є висока точність розмірів виливків і чистота їхніх поверхонь. У більшості випадків спосіб лиття під тиском застосовують для лиття готових деталей, що не вимагають наступної механіч-

ної обробки. При литті під тиском можна одержувати отвори дуже малого діаметра (до 1 мм) і різьблення. Механічні властивості металу деталей, отриманих литтям під тиском, вище, ніж литтям у кокіль.

Лиття під тиском застосовують у масовому виробництві для виливків зі свинцево-олов'янистих, цинкових, алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів.

Вимоги у відношенні плавності сполучення окремих елементів виливків, відсутності вхідних гострих кутів і місцевих скупчень металу при кокільному литті під тиском повинні дотримуватися ще більш точно, ніж при литті в одноразові піскові форми.

Стосовно до зазначених видів лиття деталі треба конструювати так, щоб вони могли бути безперешкодно витягнуті з форми. Розйом форми повинен бути плоским. Відповідні зовнішні і внутрішні поверхні елементів деталей, повинні бути конічними або з необхідними ухілами.

Конструкція внутрішніх порожнин повинна забезпечувати можливість вільного видалення з них металевих стержнів.

Наприклад, на рис. 3.16, а і б показана технологічно правильно вирішена конструкція коліна, сконструйованого стосовно до цілком кокільного лиття і лиття під тиском, а на рис. 3.16, в – неправильно, тому що в цьому випадку стержень витягти неможливо.

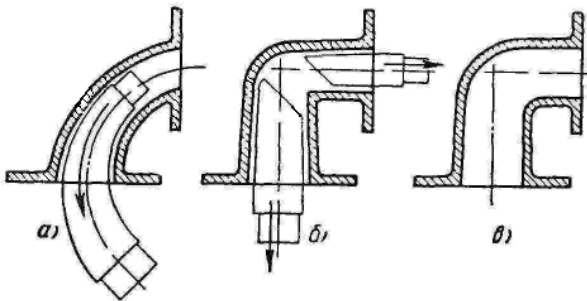


Рис. 3.16 – Технологічні варіанти конструкції коліна

При конструюванні деталей, виготовлення яких передбачається литтям під тиском, необхідно враховувати можливість їхнього виконання на відповідних ливарних машинах (маються на увазі потужність і робочі розміри машини).

Іноді потрібно, щоб в окремих місцях матеріал деталі мав ті або інші механічні властивості, які властиві легкоплавким ливарним сплавам. Наприклад, високу міцність, зносостійкість, антифрикційні властивості тощо.

У таких випадках слід передбачити застосування армованих виливків – заливання спеціальних вставок, виконаних з відповідного металу і встановлюваних у певних місцях. Така вставка може являти собою сталеву втулку з різьбленням, втулку з антифрикційної бронзи і тому подібне.

Зовнішня поверхня вставок повинна мати рифлення, накатку, гребені і таке інше для забезпечення надійного зв'язку з основним металом вилівка.

При відцентровому литті розплавлений метал надходить до обертової металевої форми. Під дією відцентрових сил рідкий метал рівномірно розподіляється по циліндричній поверхні форми і приймає вид порожнього тіла обертання (кільця, втулки, труби).

Обертання форми продовжується якийсь час і після заливання відповідної порції металу до його затвердіння. Форма може обертатися навколо вертикальної або горизонтальної осі. Способом відцентрового лиття з вертикальною віссю обертання відливають заготовки бронзових вінців черв'ячних коліс.

При відцентровому литті стержень не потрібний, а форми виготовляють, головним чином, з чавуну або сталі.

Метал при відцентровому литті ущільнюється й одержує дрібнозернисту структуру, завдяки чому підвищується його міцність. Наприклад, межа міцності черв'ячного вінця з бронзи марки Бр.ОЦС 6-6-3 при литті в піщану форму, у кокіль і при відцентровому литті відповідно становить 15 – 20, 18 – 22 та 22 - 28 МПа.

Відцентрове лиття застосовують у серійному і масовому виробництвах для виливків з чавуну, сталі і сплавів кольорових металів.

Відцентровим способом можна відливати заготовки деталей, що представляють собою тіла обертання зі східчастою і фасонною зовнішньою поверхнею. Цей спосіб дуже зручний для одержання біметалічних заготовок деталей, наприклад, для заливання сталевих вкладишів бронзою.

Лиття по виплавлених моделях застосовують замість лиття під тиском, тому що останній не прийнятний для виливків з чорних металів, а також виливків, що мають складну конфігурацію з висту-

паючими елементами, поглибленнями і закритими внутрішніми порожнинами.

Крім того, цей спосіб забезпечує високу чистоту поверхонь виливків і точність їхніх розмірів, але трохи меншу, ніж при литті під тиском. Він застосовується в серійному і масовому виробництві для лиття із сірого чавуну, сталі, мідних сплавів і, що особливо важливо, з важко оброблюваних сплавів або сплавів, що взагалі не піддаються механічній обробці.

Технологічна особливість даного способу – це можливість одержання моновідливих практично будь-якої складності, вигнутих у різних площинах, з будь-яким просторовим розташуванням елементів (наприклад, для художнього лиття).

Конструктивною особливістю виливків, одержуваних даним способом, є відсутність ливарних ухилів і площин розйомів.

Для зниження вартості виробництва точних виливків, головним чином, з чавуну і сталі, у ряді випадків замість лиття по виплавлених моделях застосовують більш дешевий спосіб – лиття в оболонкові форми, що значно уступає литтю по виплавлених моделях у відношенні вимог до конструкції виливків.

Він прийнятний тільки для порівняно простих деталей, які конструюються з урахуванням формування з одною плоскою поверхнею розйому форми. Формування всіх зовнішніх елементів виливків, виготовлених даним способом, можливе тільки в напрямку, перпендикулярному до площини розйому форми.

Одержання внутрішніх порожнин здійснюється за допомогою стержнів, при цьому часто використовують надзвичайно ефективні в економічних відношенні оболонкові стержні. Застосування даного способу винятково раціонально в серійному виробництві для виливки навантажених сталевих деталей, якщо розміри серій не виправдують їхнього виготовлення штампуванням.

3.6.3 Деталі, виготовлені вільним куванням і гарячим об'ємним штампуванням

В загальному машинобудуванні вільне кування і гаряче об'ємне штампування застосовуються, головним чином, для виготовлення заготовок деталей машин з вуглецевої і легованої сталі різних марок.

Метод вільного кування здавна застосовувався у виробництві металевих виробів різного призначення. Деталі, які конструюють

стосовно до одержання їхніх заготовок методом вільного кування, повинні складатися з найбільш простих, прямолінійних і плоских елементів. Виконання вільним куванням перетинань кількох циліндричних поверхонь і циліндричних із плоскими викликає значні технологічні утруднення. На основних поверхнях деталей небажана наявність бобишек, платиків та інших виступаючих елементів, а наявність ребер жорсткості – неприпустима. У зв'язку з цим вільне кування забезпечує тільки грубе наближення форм необроблюваних елементів і поверхонь до форм, необхідних за конструктивними вимогами. При цьому чим елементарніше буде конструкція деталі, що визначилася її призначенням і умовами роботи, тим менш різко проявиться подальше спрощення її геометричних форм, пов'язане із застосуванням методу вільного кування.

Формоутворення ряду елементів деталей може виявитися недоцільним, а іноді й неможливим для вільного кування і здійсненням тільки за допомогою подальших операцій механічної обробки. У таких випадках кування виконують за суто спрощеною конфігурацією, залишаючи на механічну обробку великі припуски і напуски. Зазначені обставини обумовлюють, при значному обсязі механічної обробки заготовок, одержуваних вільним куванням, грубі конструктивні форми і збільшену вагу готових деталей, а також велику втрату металу.

Основними вимогами до методів одержання заготовок, є максимальне наближення форм і розмірів останніх до форм і розмірів готових деталей, підвищення точності і чистоти поверхонь заготовок і, отже, зменшення обсягу механічної обробки. Усім цим вимогам метод вільного кування не відповідає.

У зв'язку з викладеним, даний метод виготовлення заготовок деталей машин застосовується тільки в індивідуальному і дрібносерійному виробництві. У серійному виробництві до методу вільного кування вдаються винятково тоді, коли форми і розміри деталей не дозволяють використовувати інші методи одержання заготовок.

Продуктивність вільного кування і якість кувань значно підвищуються при застосуванні підкладних штампів, замість універсального ковальського оснащення.

Гаряче об'ємне штампування застосовується в серійному і масовому виробництві для одержання заготовок відповідальних деталей машин, виготовлених з конструкційної вуглецевої і легованої сталі різних марок. Крім штампування, виготовлення таких деталей

можливо шляхом механічної обробки із сортового прокату, кутих болванок і заготовок, зварюванням з окремих елементів і литтям по виплавлених моделях.

Найважливішим техніко-економічним критерієм, що характеризує методи і способи одержання заготовок, є максимальне наближення останніх за формою, розмірами і якістю поверхні до готових деталей.

Одержання деталей із сортового прокату, кутих болванок і заготовок зовсім не відповідає цьому критерію і припустимо тільки лише в індивідуальному виробництві.

Зварювання заготовок деталей з окремих елементів прийнятні в дрібносерійному виробництві.

Точне лиття значно уступає штампуванню за продуктивністю і за рядом механічних властивостей металу заготовки.

Гаряче об'ємне штампування забезпечує формоутворення і розміроутворення заготовок, настільки близьке до готових деталей, що обробка різанням проводиться тільки для утворення її окремих елементів деталей (отворів, пазів, зубів і тому подібне), а також для досягнення необхідної чистоти і точності відповідних поверхонь цих деталей. Однак і в цих випадках, у зв'язку з розширенням упровадження нових методів штампування тиском (калібрування, карбування, редукування, обкатування і тому подібне), питома вага обробки різанням повинна послідовно зменшуватися.

Розглянутий спосіб має і ряд недоліків. Він значно уступає точному литтю за чистотою поверхні і точністю розмірів заготовок, а також за можливостями його застосування для деталей різної складності. Технологія даного способу дозволяє його використання тільки для деталей відносно простої конфігурації, що допускають вільний витяг зі штампів, як правило, в напрямку дії зусилля молота або преса. Внутрішні порожнини можливі тільки в зазначеному напрямку і тільки відкриті та неглибокі. Збільшення розмірів деталей також обмежує можливості застосування штампування у зв'язку з різким зростанням потужності ковальсько-пресового устаткування та вартості штампів.

Істотним недоліком даного способу є збільшена вага деталей, у зв'язку з зайвими, з погляду конструктивних вимог, місцевими скупченнями металу, які виникають завдяки напускам, створюваним ухилами і великими радіусами заокруглень вхідних кутів штампувань.

При визначенні техніко-економічної раціональності застосування гарячого об'ємного штампування велике значення має вартість штампів, що зростає зі збільшенням розмірів деталей і ускладненням їхньої конструкції. Тому при конструюванні штампованих деталей необхідно прагнути до їхньої максимальної простоти і технологічності. Найбільш доцільне використання штампування для невеликих деталей, що мають форму тіл обертання, тому що в цьому випадку виготовлення штампів здійснюється найбільш просто.

Найважливішими факторами, що визначають технологічні вимоги до деталей, виготовлених методом гарячого об'ємного штампування, є вибір виду і положення поверхні розйому штампа, призначення ухилів, радіусів заокруглень зовнішніх і внутрішніх кутів.

Гаряче об'ємне штампування заготовок деталей машин виконують на молотах, пресах і горизонтально-кувальних машинах. Штампи молотів складаються з двох частин – верхньої і нижньої, штампи пресів звичайно також складаються з двох зазначених частин. Стик верхньої і нижньої половин штампа здійснюється по поверхні його розйому, яка може бути плоскою, східчастою або криволінійною.

Бічні поверхні штампованих деталей, розташовані за напрямком дії зусилля штампування, треба виконувати з ухілами. Ухили необхідні для забезпечення можливості відділення поковки від частин штампа.

У робочих кресленнях штампованих деталей відповідні неопрацьовані поверхні треба креслити з ухілами, тому що вони визначають положення ліній розйому і без них уявлення про конструкції деталі і про фактичні розміри перерізу її елементів не може бути вірним.

Вибір типу поверхні розйому та її положення впливає на вартість виготовлення штампів, а отже, і на вартість поковок, величину відходів металу в стружку, вагу деталей і обсяг наступної механічної обробки. Знайти в процесі конструювання правильне рішення цього питання буває не завжди просто, тому що зроблений вибір може бути вірним з погляду одного якого-небудь фактора і може суперечити іншим. При криволінійному або східчастому розйомі штампів трудомісткість і вартість їхнього виготовлення різко збільшуються (рис. 3.17, а).

Тому потрібно за можливістю уникати таких конструкцій, Одночасно слід мати на увазі, що спрямлений важіль із східчастою поверхнею розйому (рис. 3.17, б), має меншу вагу, ніж при плоскому розйому (рис. 3.17, в).

Щоб витягти готову поковку зі штампу доводиться переборювати сили тертя, які мають місце між її бічними стінками і стінками штампа. Сили тертя між бічними стінками виникають у процесі штампування і залишаються після припинення дії зусилля молота або преса завдяки пружним деформаціям кування і штампа.

Для зменшення вертикальної складової сил тертя в бічні сторони поковки і відповідні сторони внутрішньої порожнини штампів повинні бути виконані з ухилами.

Величина ухилів повинна бути мінімальною, необхідною, тому що при їхньому збільшенні зростає площа напусків і підвищується вага деталей.

Усадка металу при охолодженні поковок значно впливає на величину ухилів. Цей вплив неоднаковий для різних ділянок поковки. Частина поковок, що внаслідок усадки відходять від стінок штампа, називаються зовнішніми, а поверхні поковок, що охоплюють стінки виступаючих елементів штампа, – внутрішніми (рис. 3.18, а). Внутрішні стінки у результаті усадки ще більше притискаються до відповідних стінок штампів. Очевидно, що ухил зовнішніх стінок може бути меншим, ніж ухил внутрішніх.

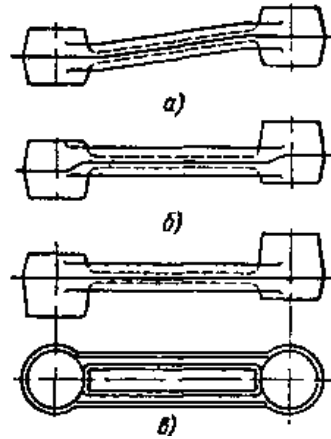


Рис. 3.17 – Види розйомів штампів

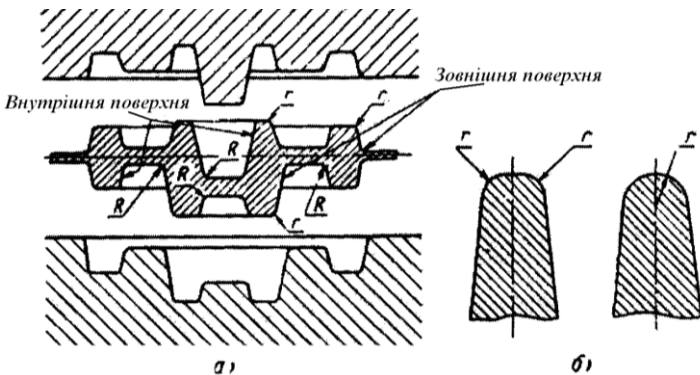


Рис. 3.18 - Ухили зовнішніх та внутрішніх стінок поковок

Вплив на величину ухилів має також вид устаткування, на якому виготовляються поковки, і конструкція штампа.

З урахуванням зазначених факторів значення ухилів регламентовані стандартом і знаходяться в межах 1° - 10° .

Для спрощення умов виготовлення штампів рекомендується за можливістю уніфікувати значення ухилів, округляючи їх у велику сторону і приводячи до однієї величини.

Кути переходів від однієї поверхні поковки треба виконувати з заокругленнями. Радіус заокруглення виступаючого кута позначається через r , а вхідного – через R (рис. 3.18, а). Виступаючим і вхідним кутам кування відповідають вхідні і виступаючі кути порожнини штампів. Заокруглення виступаючих кутів поковок забезпечують плавні сполучення вхідних кутів штампів, які необхідні для запобігання виникнення тріщин під час загартування штампів і в процесі їхньої експлуатації. Крім цього, заокруглення виступаючих кутів поковок необхідні для полегшення їхнього формоутворення, тому що сильно утруднено надходження металу в кути порожнини штампів.

При конструюванні штампованих деталей радіуси заокруглень виступаючих кутів треба задавати в робочих кресленнях тільки для поверхонь, що не піддаються механічній обробці (поверхні ребер, глухих бобишек і подібних до них елементів). Якщо ж одна з поверхонь, що утворюють виступаючий кут, підлягає механічній обробці, то радіус заокруглення такого кута може бути заданий у кресленні поковок.

Значення радіусів заокруглень виступаючих кутів регламентовані стандартом у межах $0,8 - 8$ мм залежно від ваги заготовки, причому для полегшення формоутворення ребер рекомендується приймати найбільші значення радіусів на їхніх крайках, відповідно до одного з варіантів, представлених на рис. 3.18, б.

Для підвищення стійкості штампів, попередження браку кувань і забезпечення плавних сполучень у внутрішніх кутах останні також треба виконувати з заокругленнями. Радіуси заокруглень внутрішніх кутів слід приймати приблизно в $3 - 4$ рази більше радіусів заокруглень зовнішніх кутів, прийнятих для даної деталі.

Отримані значення радіусів заокруглень кутів потрібно округлювати до найближчих цифр із нормального ряду та рекомендується за можливістю уніфікувати як у межах однієї деталі, так і ряду близьких деталей.

Необхідно мати на увазі, що надмірно великі значення радіусів заокруглень внутрішніх кутів приводять до підвищення ваги деталей і перевитрат металу.

Слід уникати конструкцій штампованих деталей з ребрами жорсткості, особливо з високими і тонкими. У разі потреби введення ребер краще два тонких ребра замінити одним товстим (рис. 3.19).

У ряді випадків доцільно вдаватися до поділу поковок на складові частини, штамповані окремо і з'єднувані потім зварюванням. Застосування такого прийому (рис. 3.20) до подвійного зубчастого колеса дало можливість знизити вагу деталі за рахунок додання їй кращих конструктивних форм, спростити виготовлення штампів, полегшити штампування і зменшити відходи металу.

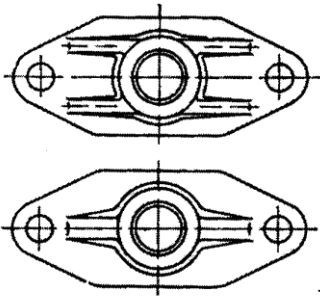


Рис. 3.19

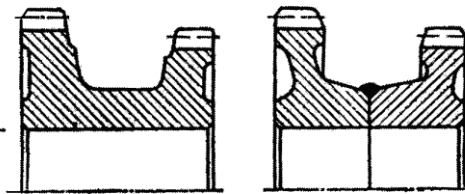


Рис. 3.20

Багато вказівок до технологічності конструкцій деталей, одержуваних об'ємним штампуванням, приведені у спеціальній літературі.

Конструювання деталей відповідно до їхнього штампування на горизонтально-кувальних машинах має свої технологічні особливості. Основними конструктивно-технологічними перевагами виготовлення поковок на горизонтально-кувальних машинах є:

- зниження ваги деталей, у зв'язку з невеликою величиною ухилів, особливо на зовнішніх поверхнях;
- можливість штампування кувань із глибокими внутрішніми порожнинами і наскрізними отворами;
- підвищена точність поковок;
- малі відходи;
- висока продуктивність.

При конструюванні деталей відповідно до їхнього штампування на горизонтально-кувальних машинах необхідно враховувати наступне:

Даний спосіб використовується, головним чином, для одержання поволок деталей, що мають форму тіл обертання. Однак його застосування можливе і для деталей з асиметричним розташуванням елементів, а також і з виступаючими елементами.

Величина ухилів для різних поверхонь поволок диференціюється залежно від положення поверхні відносно напрямку удару, від того, зовнішня це поверхня або внутрішня, а також і від того, якою частиною штампа вона утвориться. Відповідно до цього умовно можна вказати наступні поверхні кувань, штамповані на горизонтально-кувальних машинах (рис. 3.21):

а) поверхні, розташовані за напрямком удару: I і II – відповідно зовнішня і внутрішня, утворені пуансоном; III – зовнішня, утворені матрицею;

б) поверхні, розташовані перпендикулярно до напрямку удару: IV – зовнішня, утворена пуансоном; V – зовнішня, утворена матрицею; VI – внутрішня, утворена матрицею.

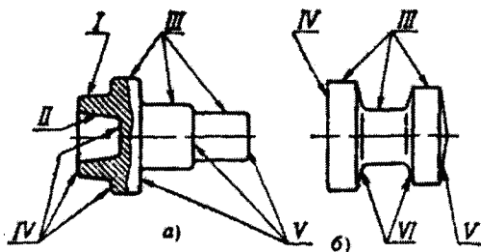


Рис. 3.21.

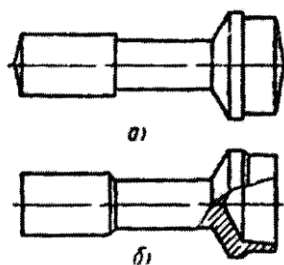


Рис. 3.22

Радіуси заокруглень зовнішніх кутів приймають 1,5 – 2 мм, а внутрішніх – у 1,5 - 2 рази більшими.

Товщина стінок деталей із глибокими глухими порожнинами або наскрізними отворами повинна бути не менше 0,15 зовнішнього діаметра деталі в даному перетині.

При застосуванні даного способу необхідно цілком використовувати надані ним можливості зниження ваги деталей і економії

металу. Ці можливості знаходять своє відображення в конструктивному оформленні деталей і у встановленні розмірів окремих елементів.

Наприклад, на рис. 3.22, а зображена поковка деталі (шліцевий кінець карданного вала автомобіля ЗІЛ), сконструйована відповідно до умов штампування на молоті, а на рис. 3.22, б показана ця ж деталь, переконструйована для її штампування на горизонтальнокувальній машині. У результаті зробленої виїмки вага деталі зменшилась більш ніж на 1,5 кг.

Як другий приклад приведемо деталь, показану на рис. 3.23. Діаметр фланця цієї деталі визначається з умови розміщення на ньому головок заклепок. При обраних заклепках і встановлених розмірах маточини d і l у величину діаметра фланця D входить подвоєна висота напуску Δ , утвореного ухилом маточини, при штампуванні розглянутої деталі на молоті (рис. 3.23, а).

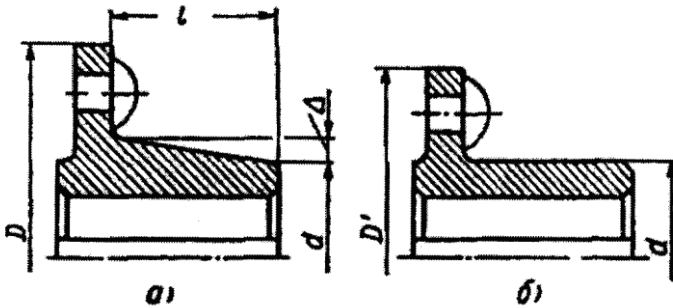


Рис. 3.23

Якщо ця деталь буде штампуватися на горизонтальнокувальній машині (рис. 3.23, б), то ухил маточини виявиться непотрібним. Тоді діаметр D фланця зменшиться на величину 2Δ . Наприклад, прийнявши $l = 50$ мм і $\alpha = 7^\circ$, одержимо зменшення діаметра фланця ($D-D'$) приблизно на 12 мм.

3.6.4 Деталі, виготовлені холодним штампуванням

Метод одержання заготовок деталей машин холодним штампуванням з листового матеріалу є найбільш прогресивним. Фактично це метод одержання готових деталей, а не заготовок, тому що механічну обробку після штампування застосовують рідко й у незнач-

ному обсязі (нарізування, чиста обробка отворів, свердління отворів малого діаметра і тому подібне).

Для виготовлення деталей холодним листовим штампуванням придатні будь-які металеві і неметалеві матеріали, що поставляються у виді листів, стрічок і смуг.

Найбільш поширеними в машинобудуванні для виготовлення деталей цим методом є сталь різних марок і неметалеві матеріали (папір, картон, гетинакс, азбестовий картон, пароніт, фібра, текстоліт, гальмова азбестова стрічка, шкіра, повсть, целулоїд, гума та ін.).

Холодним листовим штампуванням можна одержувати наступні деталі:

- плоскі деталі з зовнішнім і внутрішнім контуром різної конфігурації (рис. 3.24 - 3.26);
- плоскі деталі з відігнутими елементами як по зовнішньому, так і по внутрішньому контуру (рис. 3.27 - 3.29);
- плоскі скручені деталі (рис. 3.30);
- деталі, вигнуті в одній або декількох площинах (рис. 3.31-3.33);
- деталі, що мають різні формовані елементи (рис. 3.34);
- порожні формовані деталі з замкнутим контуром будь-якої форми (рис. 3.35);
- деталі, що збираються прийомами холодного штампування з окремих штампованих елементів (рис. 3.36).

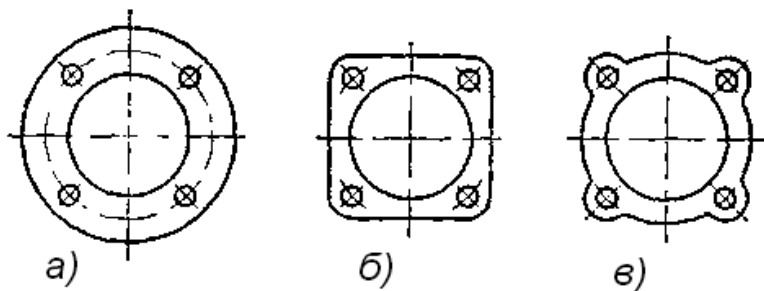


Рис. 3.24

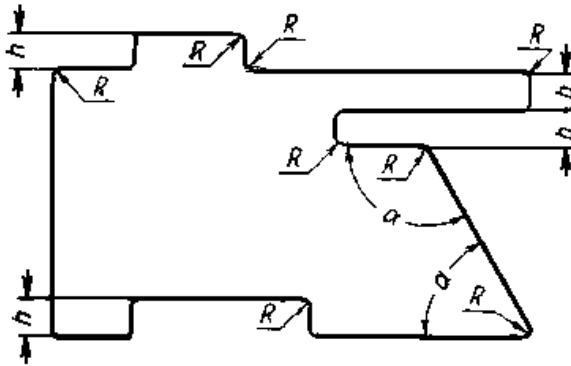


Рис. 3.25

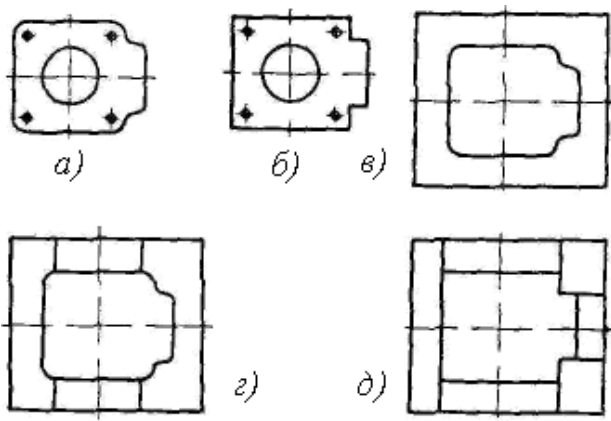


Рис. 3.26

Цей метод непридатний для виготовлення деталей, елементи яких повинні мати різну товщину. Однак при комбінуванні холодного штампування зі зварюванням або пайкою твердими припоями легко виконати не тільки місцеві стовщення за рахунок накладних елементів (наприклад, у місцях нарізки різьблення), але і значно розширюється можливість номенклатури конструктивних форм штампованих деталей.

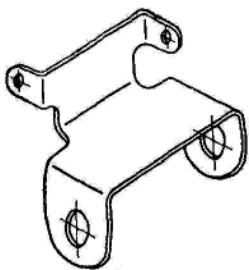


Рис. 3.27

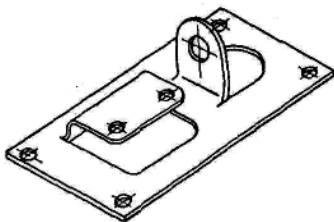


Рис. 3.28

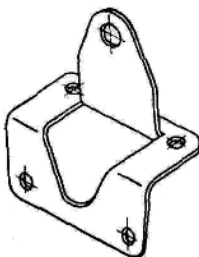


Рис. 3.29

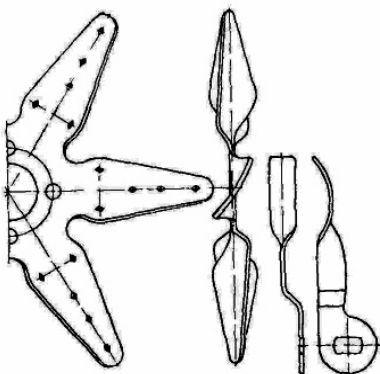


Рис. 3.30

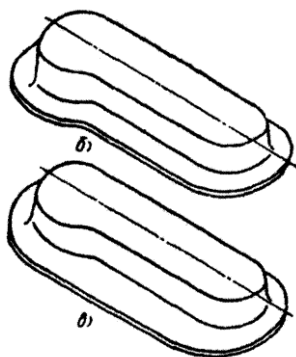
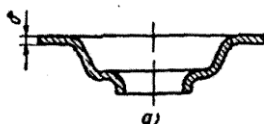


Рис. 3.31

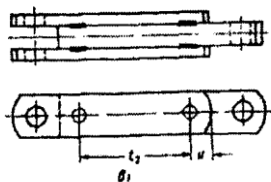
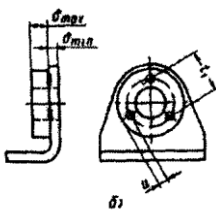
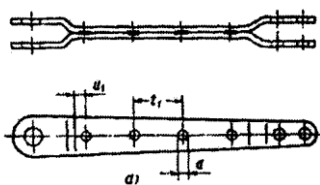


Рис. 3.32

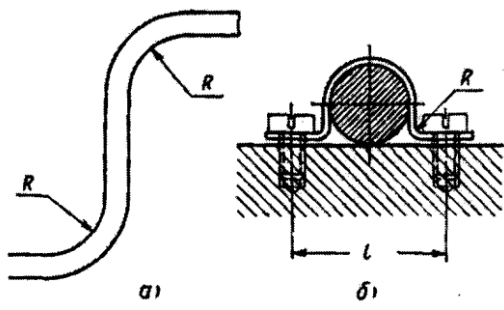


Рис. 3.33

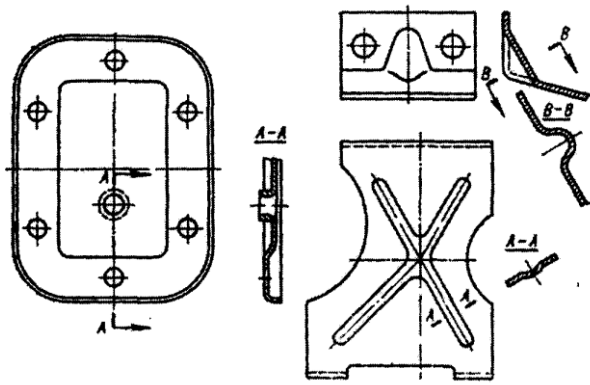


Рис. 3.34

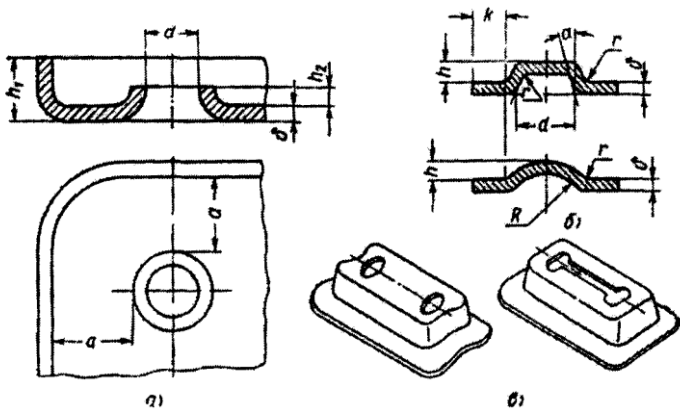


Рис. 3.35

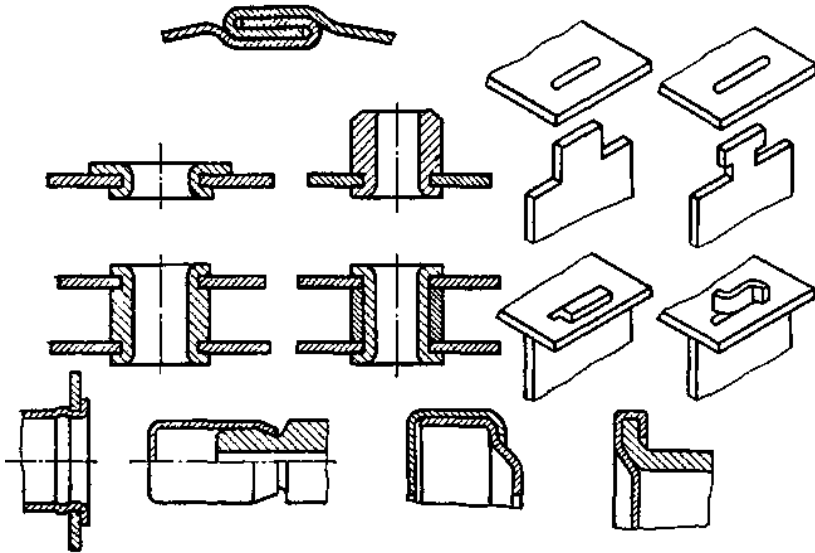


Рис. 3.36

З конструктивної точки зору розглянутий метод характеризується наступними основними позитивними особливостями:

- можливістю його використання для виготовлення деталей машин різного призначення з різноманітними конструктивними формами (кронштейни, важелі, кришки, шківні клинопасових передач, корпуси приладів, не навантажені частини картерів). Область застосування даного методу значно розширюється за рахунок розробки конструкцій, що складаються з окремих частин, які з'єднуються між собою прийомами того ж холодного штампування, без кріпильних деталей або за допомогою зварювання і пайки тугоплавкими припоями;
- забезпеченням необхідної твердості і жорсткості деталей за їхньої малої ваги шляхом профілювання, відбортовки крайок, введення ребер і таке інше;
- точністю формоутворення і розміроутворення деталей, що забезпечує їхню взаємозамінність;
- високою якістю поверхні деталей при застосуванні холоднокатаного матеріалу.

Технологічні переваги даного методу наступні:

- найвища, порівняно з іншими методами, продуктивність;
- простота технологічного процесу, що забезпечує можливість

одержання деталей складних форм за відносно невеликої кількості простих операцій;

- можливість залучення у виробництві основних робітників низької кваліфікації;

- висока пристосованість устаткування й інструмента до різних масштабів виробництва (від серійного до масового) і можливість автоматизації процесів;

- стабільність якості і низька вартість деталей.

Техніко-економічним фактором, що обмежує можливість застосування даного методу, є величина партії, тому що за недостатньої кількості штампованих деталей не виправдовується вартість виготовлення штамів.

Таким чином, холодне листове штампування є самим раціональним методом їхнього виготовлення деталей. У зв'язку з цим необхідно деталі, які підходять для виготовлення холодним штампуванням, конструювати відповідно до вимог цього методу, якщо масштаб виробництва допускає можливість його використання. Для розширення цієї можливості в дрібносерійному виробництві велике значення має уніфікація деталей.

Збільшення обсягу використання холодного штампування найбільш ефективно здійснюється під час первинної розробки конструкцій. Однак значний ефект дає перехід на холодне штампування також і деталей, вже освоєних виробництвом і що виготовляються іншими методами.

Сам факт переходу на штамповані і штамповано-зварні деталі замість литих або кутих є чинником підвищення технологічності машини, до складу якої входять ці деталі. Однак розширення номенклатури штампованих і штамповано-зварних деталей дає найбільший техніко-економічний ефект, якщо конструкція цих деталей та їхніх елементів буде відповідати вимогам технологічності, відповідно до методу холодного штампування.

Вирішальним критерієм працездатності сталевих штампованих деталей у переважній більшості випадків є їхня жорсткість, а не міцність. Тому найчастіше вдається обходитися звичайними вуглецевими конструкційними сталями і якісно. При цьому рекомендується користуватися марками сталі із низьким вмістом вуглецю (як більш дешевими) й з найбільшою здатністю до формоутворення. Крім цього, застосування низьковуглецевої сталі призводить до зме-

ншення зусилля штампування на всіх операціях і, відповідно, до можливості використання менш потужних пресів і зниження витрати енергії.

Сортамент матеріалу обумовлює його геометричний вид (лист, стрічка, смуга), розміри (товщина для листа, товщина і ширина для стрічки або смуги) і стан поверхні.

При виборі сортаменту сталі слід мати на увазі, що холоднокатаний матеріал дорожче гарячекатаного і що з підвищенням чистоти поверхні і точності прокату вартість матеріалу підвищується. Тому без достатніх підстав не слід застосовувати дорогий сортамент там, де можна обійтися більш дешевим.

Деякі дані, що характеризують сортамент сталі, яка має найбільше застосування при холодному листовому штампуванні, приведені в таблиці 3.4.

При виборі сортаменту сталі основним показником є товщина металу, що є найважливішим конструктивним параметром листоштампованої деталі. Якщо деталь не розраховують на міцність, то товщину металу вибирають виходячи з умови забезпечення жорсткості, а не з конструктивних міркувань.

Для плоских і вигнутих деталей потрібно прагнути вибрати найменшу товщину, тому що необхідна жорсткість легко забезпечується шляхом профілювання, уведення ребер і місцевих видавок (рис. 3.34). Зменшення ж товщини металу знижує його витрату, вагу деталей і зусилля штампування.

Для деталей, виготовлених глибокою витяжкою, до зменшення товщини металу слід підходити обережно, тому що чим тонше метал, тим більше імовірність виникнення тріщин і розривів.

Холоднокатану сталь з високою точністю прокату й особливо високою якістю поверхні треба призначати для деталей, які одержують шляхом глибокої витяжки, з наступним декоративним покриттям (хромування, нікелювання), високоякісним фарбуванням, а також, коли за конструктивними вимогами необхідний жорсткий допуск на товщину штампованої деталі. В інших випадках потрібно застосовувати більш дешеву гарячекатану сталь.

Вибір між холоднокатаною листовою сталлю і холоднокатаною стрічкою проводиться на основі наступних міркувань. Стрічка характеризується ще більш високими показниками точності прокату і якості поверхні, отже, вартість її вище, ніж листової сталі. Стрічку

застосовують, якщо в діапазоні сортаменту листової сталі не можна підібрати необхідну для деталі товщину, а також, коли точність прокату і якість поверхні холоднокатаної листової сталі не задовольняють конструктивним вимогам. Застосування стрічки доцільно, якщо її ширина збігається із шириною деталі.

Таблиця 3.4 – Дані, що характеризують сортамент сталі, яка має найбільше застосування при холодному листовому штампуванні

Сортамент сталі		Діапазон товщини, мм	Відхилення за товщиною, мм	Примітка
Сталь прокатна тонколистова	Холоднокатана	0,2 – 4	$\pm 0,13$	Відхилення зазначені для матеріалу товщиною 2 мм
	Горячекатана		$\pm 0,18$	
Стрічка сталева низьковуглецева холоднокатана	Нормальної точності	0,05 – 3,6	- 0,13	
	Підвищеної точності		- 0,10	
Сталь горячекатана товстолистова		4 – 160	$\pm 0,4$	Відхилення зазначені для матеріалу товщиною 4 мм при ширині листа 600-1000мм
Сталь прокатна смугова		4 – 60	+0,3 - 0,5	Відхилення зазначені для матеріалу товщиною 4 мм

При виборі стрічки необхідно перевірити, чи входить прийнята марка сталі до номенклатури, з якої виготовляється дана стрічка. Наприклад, стрічка сталева, низьковуглецева холодної прокатики за стандартом виконується зі сталі марок Ст. 1, 08 і 10. Отже, для деталей зі сталі марки Ст. 3 зазначена стрічка неприйнятна.

Прокатну смугову сталь застосовують замість горячекатаної товстолистової, якщо її ширина співпадає з шириною деталі.

Загальна конфігурація листоштампованих деталей і шляху економії металу при холодному листовому штампуванні. Вимоги те-

хнологічності стосовно до загальної конфігурації листоштампованих деталей спрямовані на зниження вартості виготовлення штампів і підвищення їхньої стійкості, а також на забезпечення мінімальних втрат металу у відходи.

При виготовленні штампів самим трудомістким, а отже, і найбільш дорогим, є процес виконання їхніх робочих частин (пуансонів і матриць). Навіть в умовах сучасного інструментально-штампового цеху з першокласним устаткуванням при виготовленні пуансонів і матриць завжди має місце деякий обсяг ручної слюсарної роботи. Питома вага слюсарної роботи зростає з ускладненням конфігурації штампованих деталей, а отже і конфігурації пуансонів і матриць.

Найбільш сприйнятливі (з даної точки зору) деталі, які мають круглий контур, тому що в цьому випадку пуансон і матрицю обробляють точним високопродуктивним шліфуванням.

Варто уникати криволінійних контурів з різною кривизною на окремих ділянках, за можливістю обмежуючи обриси деталей прямими лініями і дугами окружностей.

На рис. 3.24 показані три конструктивних варіанти штампованих прокладок, що відрізняються конфігурацією зовнішнього контуру, який визначився обрисом фланця кришки; найбільш технологічна кругла прокладка (рис. 3.24, а) і найменш – прокладка з фасонним контуром (рис. 3.24, в). Проміжне місце займає прокладка, що має прямолінійні сторони (рис. 3.24 б). Дуже несприятливі з погляду виготовлення і стійкості штампів деталі, що мають довгі і вузькі прорізи і виступаючі елементи (рис. 3.25).

Для подальшого підвищення ефективності застосування методу холодного листового штампування при конструюванні штампованих деталей необхідно використовувати всі можливі конструктивні засоби економії металу. Це особливо істотно тому, що в загальній вартості штампованих деталей вартість металу складає 70–80 %.

З цих засобів основним є раціональний розкрій металу, яким займаються технологи, що виконують точні креслення розгорток деталей (якщо деталь не плоска) і вибирають найбільш доцільний варіант їхнього розміщення. Економічний ефект, одержуваний при самому раціональному варіанті розкрою, обмежений заданою конструкцією деталі. Іноді незначна зміна конфігурації зовнішнього контуру деталі дає можливість значно поліпшити розкрій і зменшити відходи. На пошук такої можливості повинна бути звернена особлива увага при розробці конструкцій листоштампованих деталей. Для

цього в процесі компонування вузлів викреслюються контури штапованих деталей (для вигнутих деталей – контури розгортки); потім, користуючись пергаментом або калькою, підбирають найбільш раціональний розкрій і досліджують можливість його поліпшення шляхом коректування конфігурації деталей. При цьому може знадобитися деяке ускладнення конфігурації, яке буде суперечити викладеним раніше вимогам технологічності стосовно до умов виготовлення штампів. Однак оптимальним рішенням даного питання все-таки буде рішення на користь поліпшення розкрою.

Наступним конструктивним засобом економії металу є розширення можливості використання відходів шляхом узгодження конфігурації і розмірів зовнішнього контуру однієї деталі з внутрішнім контуром іншої, за умови виконання цих деталей з матеріалу однієї і тієї ж марки і товщини.

У ряді випадків конструкція й умови роботи тих або інших деталей допускають на своїх вільних поверхнях наявність вікон різної конфігурації і величини. Ці вікна є результатом вирубки з даної деталі інших деталей, більш дрібних, штапованих з того ж матеріалу. Само собою зрозуміло, що можливість утворення таких вікон повинна бути обґрунтована з погляду забезпечення необхідної міцності і жорсткості деталі, що послабляється.

Для розширення можливостей економії металу зазначеними способами велике значення має уніфікація матеріалу різних деталей за марками, товщиною і технічними вимогами.

При вирубці плоских деталей і заготовок вигнутих деталей мінімально припустимі розміри виступаючих елементів і поглиблень визначаються за співвідношеннями

$$b \geq 1,5\delta k; \quad h \geq 1,5\delta k,$$

де δ – товщина матеріалу;

k – коефіцієнт, який для високовуглецевої і легованої сталі становить 1,3 - 1,5, для м'якої сталі – 1, для м'яких кольорових металів і сплавів (мідь, алюміній, латунь) 0,75 - 0,8.

У разі потреби утворення в деталях виступів і западин з меншою величиною розмірів b і h , ніж зазначено, такі можуть бути виконані тільки механічною обробкою.

Довгі і вузькі виступи і прорізи також небажані, тому що застосовувані для їхньої вирубки матриці і пуансон будуть мати неміцні консольні ділянки.

Лінії контуру деталей, що вирубуються, утворюють виступаючі і вхідні кути. Технологічно можлива вирубка з закругленими кутами і без заокруглень.

Для одержання заокруглень матриця повинна бути виконана або цільною, або складеною зі стиками окремих частин, розташованих поза закругленими ділянками. Деталі з незакругленими кутами вирубують у штампах зі складеними матрицями, частини яких стикаються.

Радіуси заокруглень призначають з конструктивних міркувань. Однак щоб уникнути появи тріщин у вхідних кутах матриць і пуансонів під час їхнього загартування й у процесі експлуатації штампів нормативно установлені мінімально-допустимі значення радіусів сполучення сторін та кутів:

Таким чином, обидва варіанти оформлення деталей (із заокругленнями кутів і без заокруглень) технологічно виправдані. Оцінюючи ж їх з погляду технологічності, потрібно враховувати наступне. Для відносно невеликих деталей доцільне застосування штампів з цільними матрицями, виконання яких без заокруглень кутів дуже трудомістке. Отже, заокруглення кутів підвищує технологічність зазначених деталей.

Для вирубки великих деталей виготовлення цільних матриць нерационально, тому їх виконують складеними. При цьому складені матриці, частини яких стикаються, технологічніші ніж матриці з частинами, що стикаються. Звідси очевидно, що для великих деталей, на противагу дрібним, наявність заокруглень кутів є чинником зниження технологічності.

З огляду на зазначені розуміння, варіант оформлення кутів деталей, що вирубуються, варто вибрати в першу чергу, виходячи з конструктивних міркувань.

При вирубці по всьому периметрі з листового матеріалу величина радіуса заокруглення може бути обрана з конструктивних розумінь у межах від $R = R_{min}$ до $R = b/2$.

Що стосується деталей, що штампуються зі смуги або стрічки, то, якщо ширина матеріалу і деталі збігаються, величина радіуса заокруглення неодмінно повинна бути більше $b/2$.

При зазначеній умові технологічно найбільш раціональне оформлення взагалі без заокруглень.

Сполучення поверхонь вигнутих деталей треба робити максимально плавно, із заокругленнями можливо більшого радіуса. Зі зменшенням радіусів заокруглення знижується технологічність операцій штамповки і можливість утворення тріщин стає більш ймовірною. Тому бажано, щоб внутрішній радіус згинання складав не менш двох-трьох товщин металу.

Однак у ряді випадків конструктивні міркування вимагають граничного зменшення радіуса заокруглення. Наприклад, для підвищення жорсткості і збільшення компактності кріплення, відстань l між осями гвинтів (рис. 3.33, б) повинна бути скорочена до мінімуму, що можливо тільки за рахунок зменшення величини радіуса заокруглення скоби.

Величина мінімально-допустимого радіуса заокруглення при загинанні залежить від матеріалу деталей, напрямку його волокон відносно напрямку згинання і стану матеріалу (відпалений або нормалізований, або наклепаний).

Для забезпечення необхідної чіткості формоутворення крайок відігнутих елементів їхня висота h (рис. 3.37) не повинна бути менше трьох-чотирьох товщин матеріалу δ .



Рис. 3.37.

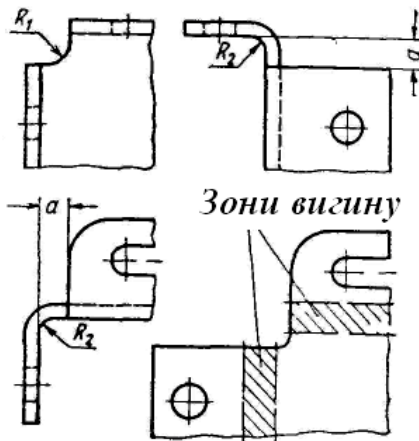


Рис. 3.38

При конструюванні гнутих елементів деталей небажано, щоб зону вигину перетинали закруглені або похилі ділянки контуру заго-

товки. Найкраще, якщо зона вигину обмежується прямими лініями контуру, розташованими перпендикулярно (рис. 3.38) до лінії вигину. Для дотримання цієї умови при конструктивному оформленні гнутих елементів і призначенні відповідних розмірів деталей треба враховувати наступне співвідношення:

$$a \geq R_1 + R_2.$$

У випадку конструктивної необхідності забезпечити збіг зовнішньої поверхні відігнутого елемента з лінією контуру деталі в зоні вигину передбачають місцеві вирізи. Глибина вирізу $a \geq \delta + R_1 + R_2$. При товщині матеріалу менше 3 мм вирізи можуть бути замінені надрізами.

За допомогою цього методу можна одержувати деталі з елементами відігнутими в декількох площинах і в протилежні сторони, а також деталі з елементами, утвореними надрізанням і вигином матеріалу усередині контуру.

При конструюванні деталей з елементами, вигнутими зсередини, необхідно правильно зображувати вікна, що виходять у результаті утворення зазначених елементів. Вікно не завжди розміщується тільки на одній поверхні деталі, а іноді – і на двох.

3.6.5 Елементи, одержувані витяжкою

Шляхом витяжки виготовляються різні круглі, прямокутні і фасонні тонкостінні деталі з замкнутим контуром і плавним сполученням поверхонь.

При конструюванні таких деталей особливе значення має правильне співвідношення розмірів, що визначають їхній поперечний переріз і висоту, а також вибір величини радіусів заокруглення елементів, що сполучаються. Залежно від цих факторів знаходиться число операцій, необхідних для остаточного формоутворення деталі, що витягається.

Найбільш технологічними є деталі, що витягаються за одну операцію.

Зі збільшенням радіусів заокруглення елементів деталей, що сполучаються, зменшується кількість необхідних витяжних операцій, збільшується стійкість штампів і підвищується якість деталей. Однак у ряді випадків можливість призначення збільшених радіусів заокруглення обмежується конструктивними міркуваннями.

Поверхні деталей, одержуваних витяжкою, які розташовані уздовж руху пуансона, треба виконувати з ухилом до $1-2^\circ$.

При конструюванні деталей із фланцями необхідно прагнути до невеликої ширини фланця, але не менше, ніж шість товщин матеріалу. Ширина фланця по всьому периметру контуру деталі повинна бути однаковою. Конструкція з фланцем непостійної ширини нетехнологічна, бо вимагає збільшення числа операцій і ускладнює процес витяжки.

Шляхом відносно неглибокої витяжки формуються різні місцеві конструктивні елементи деталей, необхідні для підвищення їхньої жорсткості, для можливості нарізки різьби при недостатній товщині металу, для виділення окремих ділянок із загальної поверхні. До таких елементів відносяться борти зовнішніх крайок і відбортовки отворів деталей, ребра жорсткості, що профілюють місцеві видавки, бобишки і площадки.

Утворення всіх зазначених елементів, за винятком бортів зовнішніх крайок, здійснюється за рахунок розтягання й зменшення товщини матеріалу деталей. При цьому можливо виникнення тріщин і розривів, що приводять до браку. Боротись з цими дефектами можна шляхом уведення спеціальних додаткових операцій штампування, але цей шлях ускладнює і здорожчує виробництво. Тому насамперед повинні бути використані можливості підвищення технологічності конструкції елементів, одержуваних витяжкою за рахунок дотримання технологічних правил їхнього конструювання. Висота бортів зовнішніх крайок повинна бути зв'язана з товщиною матеріалу деталі. Рекомендується, щоб $h \leq (3-4)\delta$. При більш високих бортах ускладнюється конструкція витяжних штампів і процес штампування, а також трудніше визначається контур заготовки, який необхідний для виготовлення вирубного штампа.

Висота відбортовок отворів визначається залежно від діаметра отвору. Бажано, щоб $h_2 \leq 0.12d$. При більшій величині h_2 відбортовка ускладнюється (потрібне введення додаткових відбортовочних операцій і проміжного відпалу для зняття наклепу). Крім цього, має місце значне зменшення товщини матеріалу.

Такі отвори не повинні розташовуватися занадто близько до бортів зовнішніх крайок деталей, бо у цьому випадку може мати місце поломка штампів. Співвідношення розмірів перетинів видавок і площадок, при яких можливе їхнє формування за одну операцію,

нормуються відповідно до товщини матеріалу, його якості та технологічних умов.

Формоутворення елементів, що витягаються, може бути значно полегшене при наявності на їхніх денцях технологічних отворів. Завдяки цьому витяжка здійснюється не тільки за рахунок зменшення товщини матеріалу, але і за рахунок розтяжки отворів.

Як уже вказувалося, область застосування листоштампованих деталей значно розширюється при використанні зварювання і пайки тугоплавкими припоями, збільшується номенклатура можливих конструктивних форм деталей, виготовлених даним методом, і забезпечується одержання місцевих елементів зі значною товщиною, що різко відрізняється від товщини всієї деталі. Крім цього, використання приварених або припаяних елементів у ряді випадків дозволяє значно поліпшити розкрій матеріалу і зменшити його втрати у відходи.

Для одержання штамповано-сварних деталей часті усього застосовується контактне електрозварювання (точкове, роликкове і рельєфне).

При конструюванні штамповано-сварних деталей з елементами, що з'єднуються точковим зварюванням, необхідно мати на увазі наступне. Найкращі результати дає точкове зварювання двох елементів з відносно тонкого металу (рис. 3.32). При цьому бажано, щоб значної різниці в товщині елементів, що з'єднуються, не було.

Можливе зварювання трьох елементів, причому найкраще, якщо елемент, що має найбільшу товщину, знаходиться між двома тонкими елементами. Найбільша сумарна товщина елементів, що зварюються, виконаних з маловуглецевої сталі, не повинні перевищувати 10 мм.

При точковому зварюванні, у випадку наявності ряду точок, деяка частина струму шунтується через точки, що утворилися раніше, тому зі зменшенням відстані між точками (крок t) ступінь шунтування підвищується і погіршується якість зварювання.

При занадто близькому розміщенні точок від зовнішніх крайок деталі нагрітий метал видавлюється убік крайки, а в зоні зварювальної точки утвориться глибока вм'ятина. Завдяки цьому зменшується міцність з'єднання, а деталь одержує неякісний зовнішній вид. При близькому розташуванні точок від виступаючих елементів деталей зварювання може виявитися неможливим у зв'язку з відсутністю доступу для електрода. Крім цього, підвищена місцева жорсткість де-

талей біля зазначених елементів не дозволяє надійно стиснути поверхні, які зварюються, між електродами.

У зв'язку з зазначеним при конструюванні варто дотримувати наступних рекомендацій:

- діаметр точки має дорівнювати $d = 2\delta_{min} + 3$ мм.
- мінімальний крок точок при зварюванні двох елементів має дорівнювати $t \approx 3,5d$, а при зварюванні трьох елементів – $t \approx 4,5d$;
- мінімальні відстані від зварювальних точок до країв деталей, а також до виступаючих елементів (бортів, стінок, ребер, видавок і таке інше) мають дорівнювати $u = 2d$; $u_1 = 1,5d$.

Роликове зварювання застосовують головним чином для забезпечення герметичного з'єднання елементів листоштампованих деталей.

Мінімально-необхідна для утворення шва ширина (a) відбортовки або нахльсту (рис. 3.39) встановлюється залежно від товщини (δ) елементів, що зварюються (табл.3.5).

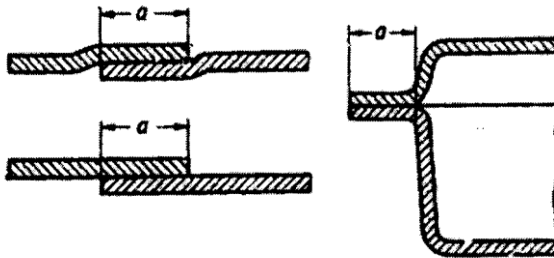


Рис. 3.39 - Роликове зварювання

Таблиця 3.5

δ , мм	0,25 - 0,5	0,75 - 1,0	1,5	2,0
a , мм	10	12	15	18

За допомогою рельєфного зварювання здійснюється з'єднання листоштампованих елементів, що мають приблизно однакову товщину (рис. 3.40, а), а також приєднання до листоштампованих елементів масивних круглих бобишек, товщина яких значно перевищує товщину основної деталі (рис. 3.40, б).

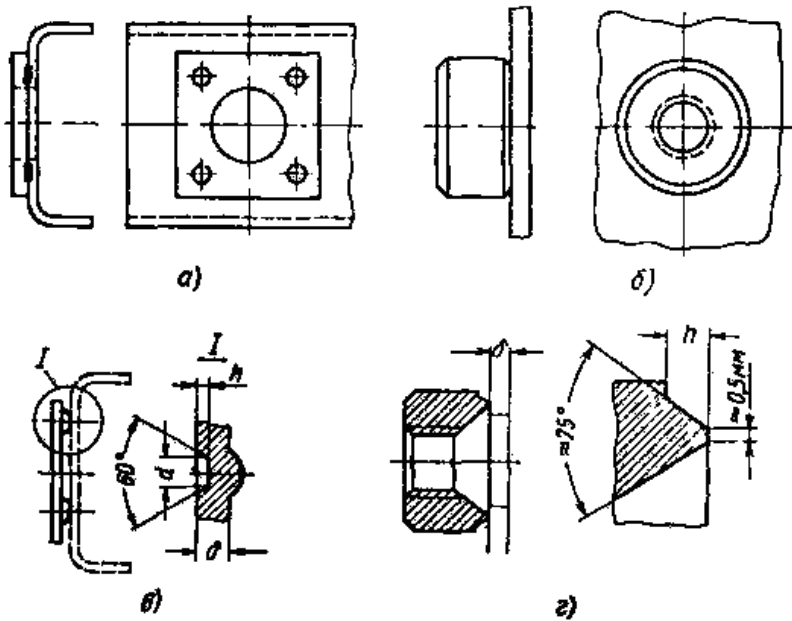


Рис. 3.40 - Рельєфне зварювання

У першому випадку рельєфне зварювання аналогічне точковому, але воно значно продуктивніше, тому що всі точки зварюються одночасно в процесі одного стискання елементів, що з'єднуються, на зварювальній машині.

Для здійснення даного способу зварювання на поверхні одного з елементів, що зварюються, виштамповуються видавки, необхідні для утворення зварювальних точок. Розміри видавок варто приймати залежно від товщини матеріалу (рис. 3.40, б): $d \approx \delta$; $h = (0,25 \div 0,35)\delta$. Розміри, що визначають відстань між видавками, а також розташування останніх щодо зовнішніх країв і виступаючих елементів деталей, визначають так само, як і при точковому зварюванні.

В іншому випадку рельєфне зварювання здійснюють по торцевій поверхні кільцевого виступу бобики з круглого прокату (рис. 3.40, г) $h \approx 0,7\delta$.

У тих випадках, коли зазначені способи зварювання за якимись причинами конструктивного або технологічного характеру не можуть бути використані (наприклад, з'єднання елементів з різнорідних мета-

лів, неприступність місць з'єднання для електродів зварювальної машини, необхідність забезпечення герметичності), застосовують пайку тугоплавкими (твердими) припоями, у сольових ваннах, у печах або з нагріванням токами високої частоти. При цьому застосовують мідно-цинкові, латунні і срібні припої різних марок (залежно від матеріалу елементів, що спаюються, і вимог до міцності з'єднання).

Надходження розплавленого припою в зазор між елементами, що з'єднуються, відбувається головним чином за рахунок капілярних сил. Тому на якість пайки і міцність паяних з'єднань великий вплив робить величина зазору. При недостатньому зазорі порожнина між елементами, що спаюються, може не заповнитися припоєм, а при зайвій же його величині капілярні сили виявляється не в змозі подати необхідну кількість припою в місце спаю. Відповідно до цього установлена оптимальна величина зазору, зі збільшенням або зменшенням якої міцність з'єднання знижується. Для пайки елементів з вуглецевої сталі мідно-цинковими, латунними і срібними припоями зазначена оптимальна величина зазору становить від 0,05 до 0,125 мм.

Необхідність забезпечення сполучень елементів, що з'єднуються за допомогою пайки, із зазорами, які дотримуються в приведених межах, вимагає визначеної точності виконання відповідних розмірів, нездійсненої для способу листового штампування. Тому приходиться вводити наступне калібрування або механічну обробку місць під пайку (рис. 3.41, а, б та в).

Найбільш технологічними для з'єднання пайкою є елементи, що сполучаються по циліндричних поверхнях. Вони відрізняються максимальною простотою і раціональністю обробки, забезпечують легку зборку і надійне фіксування елементів, що з'єднуються, і припою перед пайкою. Останнє обумовлює можливість застосування продуктивних механізованих процесів пайки, що відповідають вимогам масового виробництва.

Штаповано-паяні деталі найчастіше складаються з основної штапованої деталі з припаяними до неї окремими елементами. Ці елементи можуть бути як штапованими, так і отриманими механічною обробкою.

Кілька варіантів паяних з'єднань показано на рис. 3.41, г, д, е та ж. Оскільки паяні з'єднання надалі не розглядаються, то на цьому рисунку зображені також і паяні конструкції, що не мають відношення до штаповано-паяних деталей. У даних конструкціях пока-

зано застосування припою у вигляді дротового кільця. Конструкція елементів, що з'єднуються, повинна забезпечувати визначене положення кільця припою перед пайкою. Найбільш зручно, коли воно знаходиться в закритій порожнині, утвореній елементами, що з'єднуються, (рис. 3.41, г, ж). Для одержання таких порожнин при конструюванні іноді доводиться вводити спеціальні фаски або кільцеві проточки на одному з елементів.

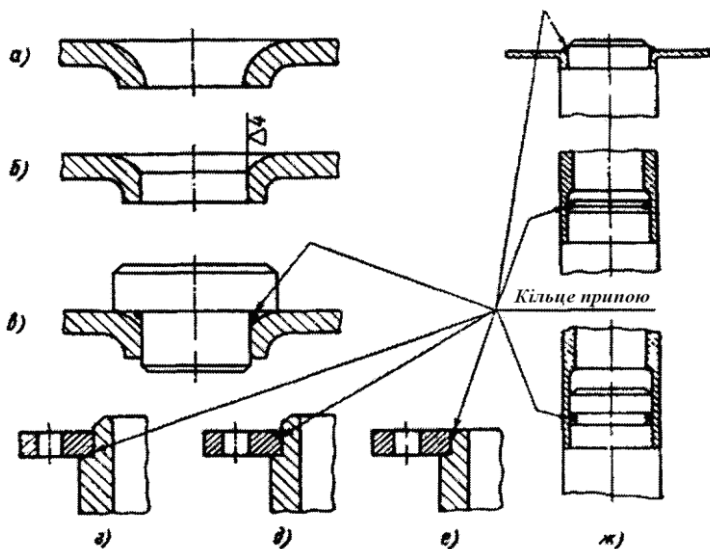


Рис. 3.41 - Варіанти паяних з'єднань

З огляду на зручне розташування деталей, що з'єднуються за допомогою пайки, у печі або у ванні, бажано передбачати таке розміщення кільця, при якому розплавлений припой затікав би в з'єднання не тільки під впливом капілярних сил, але і сили ваги.

3.7 Деталі з пластмас

Виробництво деталей із пластмасових матеріалів характеризується високою технологічністю і може бути здійснено різними методами. Вибір методу визначається властивостями пластмаси, конструкцією деталей і вимогами до їхнього зовнішнього вигляду. Широке застосування знаходять наступні методи:

– формоутворення деталей у прес-формах під дією температури і тиску – пряме пресування;

– формоутворення деталей у прес-формах під дією температури і тиску, але з застосуванням камери для попереднього розігріву матеріалу;

– лиття під тиском на спеціальних машинах.

Зазначені методи забезпечують остаточне формоутворення і розмірування деталей без наступної механічної обробки, гарний зовнішній вигляд деталей і високу точність розмірів. Їхнє застосування рентабельне за умови масового виробництва деталей із пластмас.

Формоутворення і розмірування деталей з пластмас проводиться шляхом різних видів механічної обробки пластмасових плит, листів, стержнів, труб, холодним штампуванням-вирубкою листового і стрічкового матеріалу.

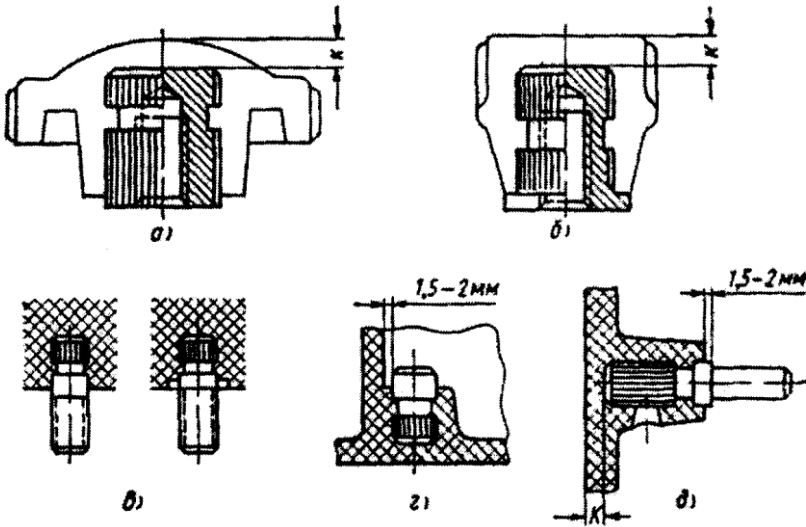


Рис. 3.42 – Варіанти конструкцій деталей з пластмас

Крім перерахованих, застосовують метод пресування, який дозволяє одержувати пластмасові деталі з замкнутими внутрішніми порожнинами складної конфігурації. При цьому методі в прес-формах у потрібному положенні фіксують елементи, функціонально аналогічні стержням ливарних форм, що виконані з легкоплавкого

(250–300 °С) або з водорозчинного матеріалу. Ці елементи формують майбутні внутрішні порожнини деталей. Після витягу з прес-форми остиглої деталі елемент видаляють з неї залежно від того, з якого матеріалу він виконаний, або шляхом плавлення (нагрівши струмами високої частоти), або шляхом розчинення водою. Склад матеріалу виплавленого елемента і режим його нагрівання при плавленні підбирають таким чином, щоб при видаленні останнього не пошкодити деталь.

При конструюванні пластмасових деталей, які зазнають відповідного навантаження, широко застосовується їхнє армування у вигляді суцільних металевих каркасів, наприклад, керма автомобіля або у вигляді окремих металевих елементів, наприклад, гнізд із різьбою, втулок, шпильок, стержнів, скоб (рис. 3.42, а - д).

Пластмасові деталі можуть бути виготовлені з елементів, що з'єднуються склеюванням або зварюванням. Можливе нанесення тонкого шару пластмас на відповідні поверхні металевих деталей і навпаки – металу на поверхні пластмасових деталей.

Поряд з перерахованими позитивними властивостями пластмас вони володіють наступними основними недоліками:

- низька теплостійкість – при температурі, що перевищує 300 °С, деталі з пластмас починають обвуглюватися і розкладатися. Практично вони можуть працювати при температурі, що не перевищує 120 °С, і тільки деякі пластмаси допускають підвищений температурний режим – до 250 °С (наприклад, склотекстоліт і азботекстоліт);

- низька теплопровідність (у середньому в 120 разів менше, ніж у сталі, і в 800 разів, ніж у міді);

- низька твердість, значна крихкість;

- схильність до старіння, що виявляється в окислюванні, потемнінні і зміні фізико-хімічних властивостей.

Технологічність елементів пластмасових деталей, виготовлених шляхом механічної обробки із сортаменту, визначається тими ж вимогами, що і для деталей, виконуваних з металу. Що ж стосується пластмасових деталей, формоутворення і розміроутворення, які здійснюються в прес-формах, то вимоги до технологічності та до їх конструкції, в основному аналогічні вимогам, установленим для деталей з кольорових металів і їхніх сплавів, одержуваних литтям під тиском.

За рахунок ускладнення конструкції прес-форм можна одержувати деталі з пластмас досить складної конфігурації. Однак при

конструюванні зазначених деталей необхідно прагнути до максимальної простоти їхньої конструкції, що обумовлює застосування найбільш простих і дешевих прес-форм і забезпечує високу продуктивність процесу пресування. Для цього в першу чергу деталі не повинні мати виступаючих елементів, що перешкоджають їх відділенню від матриць у напрямку руху пуансона. У протилежному випадку виникає необхідність у збільшенні числа розмінць матриць, застосуванні складних матриць, введенні вертикального розйому і бічних знімних частин. Це не тільки ускладнює конструкцію прес-форм, підвищує вартість їхнього виготовлення і подовжує виробничий цикл, але і погіршує зовнішній вигляд виготовлених деталей, тому що в кожній площині розйому неминуче утвориться витік пластику, після зняття якого механічною обробкою залишаються помітні сліди.

Як приклади конструктивного оформлення деталей, формуємих в одному напрямку – напрямку руху пуансона, можуть служити аналогічні приклади, розглянуті раніше в розділі «Литі деталі».

Деталі з пластмас по можливості повинні мати найбільше обтічну конструкцію з плавними переходами між елементами і закругленими ребрами і кутами. Це підвищує їхню міцність, полегшує перетікання розм'якшеної пластмаси в порожнину прес-форми і спрощує технологію виготовлення останніх. Для підвищення міцності деталей рекомендується передбачати деяке збільшення товщини стінок у місцях заокруглення кутів (рис. 3.43, а). Бажано, щоб товщина всіх стінок деталі була однаковою і мінімальною, тому що при цій умові деталі менше зазнають розтріскування і короблення.

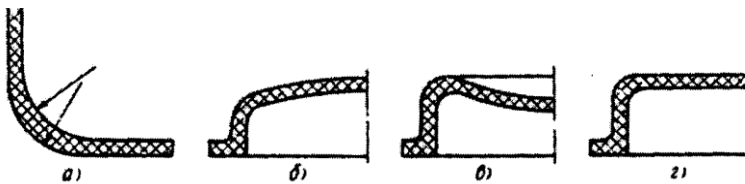


Рис. 3.43 – Варіанти конструкцій деталей з пластмас

Рекомендуються наступні значення товщини стінок:

– 0,7– 6,5 мм – для деталей із прес-порошком на основі фенольних смол; 0,9–3,5 мм – для деталей, пресуємих з амінопластів;

– 2–3 мм – для деталей, що відливаються під тиском з термопластів.

Час витримки деталі в прес-формі визначається в залежності від величини перетину її елемента, що має найбільшу товщину. Тому будь-яке місцеве стовщення приводить до подовження виробничого циклу.

Якщо з конструктивних розумінь необхідно, щоб деталь мала стінки й елементи різної товщини, то перехід між ними треба робити більш плавним.

Для підвищення міцності і жорсткості деталей варто застосувати ребра, а не збільшувати товщину їхніх стінок. Ребра, крім того, перешкоджають коробленню деталей, внаслідок усадки матеріалу. Для попередження короблення торцеві поверхні деталей виконують сферичними (рис. 3.43, б та в), а не плоскими (рис. 3.43, г).

При конструюванні пластмасових деталей необхідно передбачати технологічний ухил відповідних поверхонь (аналогічно литим і штампованим деталям), якщо вони не мають конструктивного ухилу. Ухили необхідні для полегшення відділення деталі від прес-форми і повинні бути на зовнішніх і внутрішніх поверхнях, розташованих по напрямку руху пуансона. Орієнтуються ухили відносно горизонтальної площини розйому форми. Рекомендується величина ухилу - 1:100.

Зовнішня поверхня ручок, гайок, ковпачків з різьбою і подібними деталями при виготовленні механічною обробкою повинна бути зручною для обертання (накатка), а при виконанні в прес-формах на поверхні робляться відповідні виступи. Для можливості розділення деталей і прес-форм виступи повинні бути розташовані тільки в напрямку осі деталі (у напрямку руху пуансона). Для спрощення виготовлення матриці і додання деталі красивого зовнішнього вигляду виступи не повинні бути занадто дрібними і не повинні розташовуватися дуже близько один від одного. Форма виступів, що рекомендується, показана на рис. 3.44, а.

Для полегшення зачищення і забезпечення гарного зовнішнього вигляду деталі облой не повинен утворюватися на поверхні розташування виступів. Тому деталі часто конструюють так, щоб виступи упиралися в спеціальний пасок, передбачений для зняття облою (рис. 3.42, б та 3.44, б).

Зняття облою здійснюється найбільше просто, не відбиваючись на зовнішньому вигляді деталі, якщо він утвориться на якому-небудь з її країв. З урахуванням цього положення і призначаються

поверхні розйому прес-форм при їхньому конструюванні. Однак для деталей, типу показаних на рис. 3.44, в, г, поверхня розйому повинна збігатися з площиною їхнього найбільшого перетину, у якій передбачається пасок, що дає можливість зняти облій без ушкодження основної поверхні деталі.

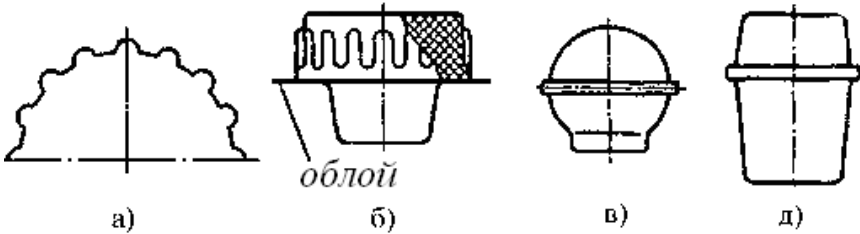


Рис. 3.44 – Форми пластикових ручок

Шляхом пресування у пластмасових деталях можна одержувати наскрізні і гладкі отвори різної форми (рис. 3.45, а). Для полегшення виготовлення пуансонів варто передбачати найбільш просту форму отворів (наприклад, круглу).

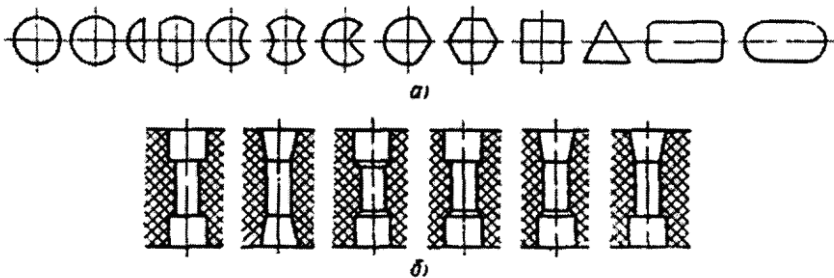


Рис. 3.45 - Форми отворів у пластмасових деталях

Отвори можуть бути розташовані як у напрямку руху пуансона, так і в перпендикулярному напрямку. Однак варто уникати горизонтально розташованих отворів, тому що при цьому ускладнюються виготовлення прес-форм і процес пресування.

Для забезпечення необхідної міцності пуансонів, які формують отвори, їхня довжина повинна знаходитися у визначеному співвідношенні з діаметром. Відповідно до цього найбільша глибина ве-

ртикальних отворів не повинна перевищувати двох з половиною діаметрів, а горизонтальних – двох діаметрів. Якщо ж з конструктивних міркувань потрібна велика довжина отвору, то необхідно передбачити відповідні переходи (рис. 3.45, б).

Пресуванням у пластмасових деталях можна одержувати ламані і косі наскрізні канали (рис. 3.46). При конструюванні подібних деталей можуть виникнути й інші варіанти.

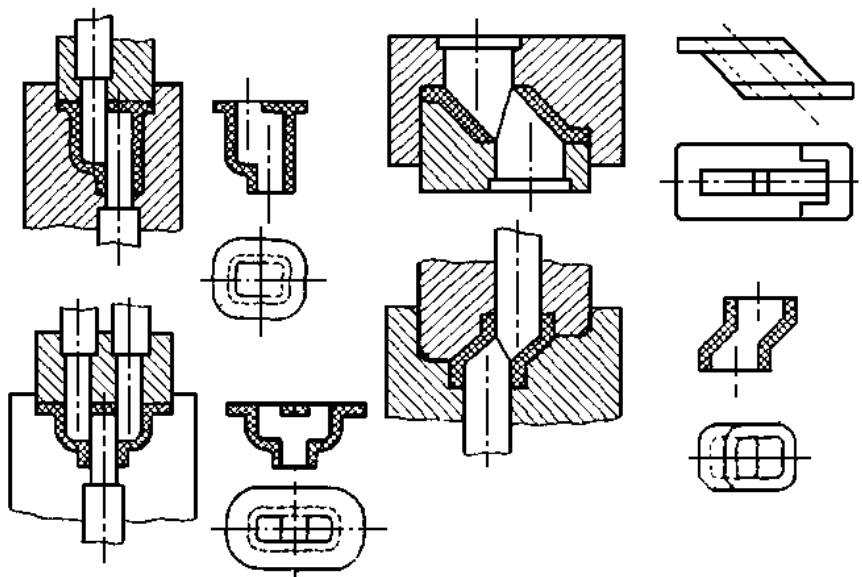


Рис. 3.46 – Варіанти каналів у пластмасових деталях

Однак у всіх випадках варто мати на увазі, що для можливості оформлення каналів відстань між осями зустрічних порожнин ламаного каналу (рис. 3.47, а) повинна бути не більше напівсуми їхньої ширини:

$$a = \frac{b_1 + b_2}{2}.$$

Як видно з рис. 3.47, а, зустрічні порожнини ламаних каналів можуть бути як однакової, так і різної ширини. Усі кути рекомендується заокруглювати, крім кутів, утворених площиною стику пуан-

сонів (рис. 3.47, а та б), які обов'язково повинні бути виконані без заокруглень і бажано, щоб вони були прямими (рис. 3.47, а) або тупими (рис. 3.47, б), але не більш 120° , інакше край пуансона, що формує порожнину каналу, вийде занадто гострим.

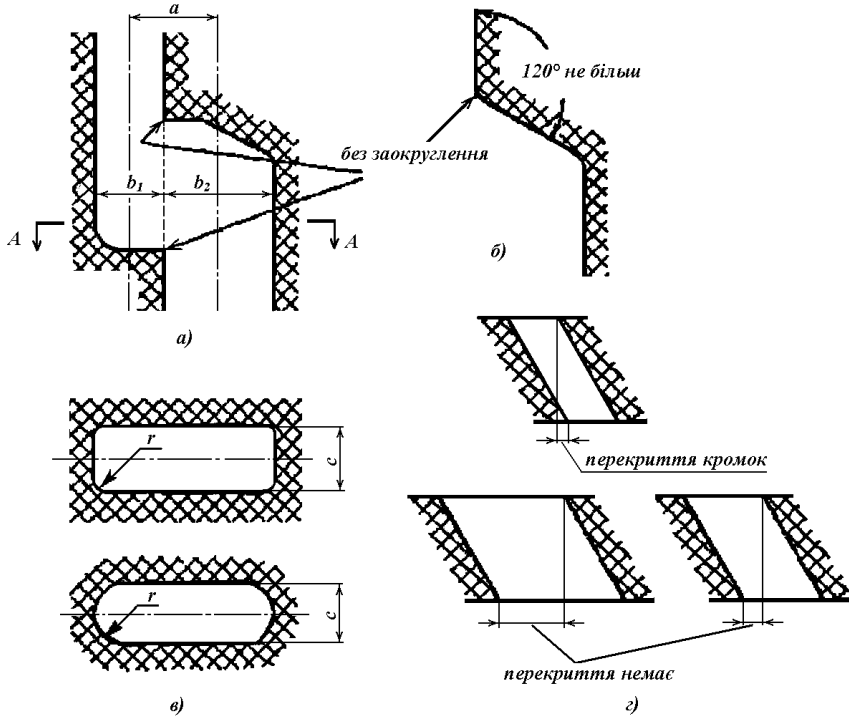


Рис. 3.47 – Варіанти косих каналів у пластмасових деталях

У поперечному перерізі каналів кути, утворені їхніми стінками, також рекомендується оформляти з заокругленнями (рис. 3.47, в).

Величина радіуса заокруглення може доходити до $r = c/2$.

Здійснення в прес-формах косих каналів можливо тільки за умови відсутності перекриття країв (рис. 3.47, г).

Шляхом пресування можливе утворення різбових отворів у пластмасових деталях, яке здійснюється за допомогою різбових знаків. Вигвинчування знаків з відформованих деталей займає відносно багато часу і подовжує цикл виробництва деталі, тому бажано засто-

совувати різьбові отвори з мінімальним числом витків різьблення і можливо більш великим кроком.

Метричні кріпильні різьблення, що рекомендуються для оформлення пресуванням, наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6. – Метричні кріпильні різьблення, що рекомендуються для оформлення пресуванням

Діаметр різьблення, мм	Крок різьби, мм													
	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
3	×													
4		×												
5			×											
6				×										
8				×	×									
10				×	×	×								
12				×	×	×	×							
14				×	×	×		×						
16				×		×		×						
18				×		×		×	×					
20				×		×		×	×					
22				×		×		×	×					
24				×		×		×		×				
27				×		×		×			×			
30				×		×		×			×			
33				×		×		×			×			
36				×		×		×		×		×		
42				×		×		×		×			×	
45				×		×		×		×			×	
48				×		×		×		×				×

Різьбові отвори, одержувані в прес-формах, треба оформляти згідно з рис. 3.48. Коли необхідно виконати різьбове з'єднання з кроком, менше зазначеного в табл. 3.6, а також, коли воно навантажене або піддається частому згвинчуванню і відгвинчуванню, його виконують не в пластмасовому тілі деталі, а в спеціальній металевій арматурі (рис. 3.42, а, б).

Арматура застосовується не тільки в якості місцевих різьбових елементів, але й у ряді інших випадків (рис. 3.42, г, д). У конструкції

арматури повинно бути передбачене її надійне з'єднання з матеріалом пластмасової деталі, що усуває як можливість повертання, так і осьового переміщення.

Для запобігання від повертання арматура повинна мати велику (крок 0,8 - 1,2 мм) накатку, а щоб вона не витягалася з тіла деталі, треба передбачати кільцеві проточки, заповнювані пластмасою під час пресування. Щоб уникнути появи тріщин унаслідок гальмування усадки пластмаси бажано, щоб арматура мала тільки одну кільцеву проточку.

Арматуру з внутрішнім різьбленням, а також із гладкими отворами треба виконувати з денцем для запобігання від витoku пресуємого матеріалу в отвір (рис. 3.42, а, б).

На рис. 3.42 приведені деякі розміри, що вказують правильне положення арматури в тілі деталі. Для деталей виготовлених із пластмас з волокнистими наповнювачами розмір $k \geq 2$ мм, а з порошкоподібними – $k \geq 4$ мм.

Потрібно передбачати надійне фіксування арматури в пресформі. По можливості варто уникати застосування арматури, установленої на бічних стінках матриці, тому що вона ускладнює процес виготовлення деталей, а в разі потреби застосування такої, у тілі деталі повинен бути передбачений спеціальний отвір для введення в нього додаткової вертикальної опори, що поліпшує фіксування бічної арматури (рис. 3.42, д).

Близькі по конструкції і розмірам армуючі деталі повинні бути максімально уніфіковані.

Крім того, варто також уніфікувати окремі розміри і загальні елементи різних видів арматури (зовнішній діаметр, накатку, проточку, різьблення, фаски).

3.8 Технологічні вимоги, пов'язані з механічною обробкою деталей

Переважає більшість деталей машин одержує свої остаточні форми і розміри після механічної обробки ряду поверхонь зварених

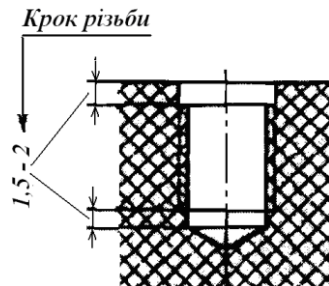


Рис. 3.48 - Різьбовий отвір

заготовок, виливків і кувань, виконаних для цього з відповідними припусками.

Багато елементів деталей типу отворів малого діаметра, пазів, проточок, буртів, уступів, кільцевих виступів виконуються шляхом механічної обробки безпосередньо в тілі заготовок.

Формоутворення ряду деталей (головним чином тіл обертання - вали, осі, штоки, втулки і таке інше), здійснюється тільки в процесі механічної обробки всіх їхніх поверхонь. Механічна обробка навіть самого найпростішого елемента деталі неминуче зв'язана з витратою часу і засобів. В індивідуальному виробництві кожна операція може потребувати зміни взаємного положення оброблюваної деталі й інструмента, зміни інструмента або верстата та інші заходи. Іноді це здійснюється досить просто, а в деяких випадках приводить до значної втрати часу на переналагодження. У масовому виробництві, де темп роботи вимагає мінімальної витрати часу на допоміжні операції і де переналагодження нетерпимі, потреба у свердлінні якогонебудь отвору може привести до необхідності установки в лінію додаткового верстата спеціально для виконання цієї операції або ускладнення агрегатного верстата.

З огляду на ці обставини, механічну обробку потрібно призначати тільки там, де вона дійсно необхідна з конструктивних, технологічних або інших міркувань. Розглядаючи основні випадки призначення механічної обробки та, ґрунтуючись на функціональних ознаках, можна розділити поверхні деталей на сполучені, тобто дотичні з поверхнями інших деталей, і вільні – які не входять в контакт з поверхнями інших деталей. Сполучені поверхні можуть бути рухомі – рухатись одна щодо іншої та нерухомі. Ті й інші поділяються на посадкові *П* (рис. 3.49) і опорні *О*. Вільні поверхні також можна розглядати як рухомі і нерухомі відносно близько розташованих поверхонь суміжних деталей.

Механічну обробку призначають на всіх посадкових і опорних поверхнях. Виключення складають нерухомі поверхні або такі, що переміщуються з незначними швидкостями, до чистоти і якості сполучення яких пред'являються знижені вимоги. Наприклад, робочі поверхні зуб'їв литих коліс і зірочок зубчастих і ланцюгових передач, поверхні ланок литих і кутих тягових ланцюгів, невідповідальні поверхні деталей із прокату.

На вільних поверхнях механічну обробку призначають:

а) на поверхнях, що належать елементам, утворення яких заготовельними операціями нездійсненне або недоцільне. Наприклад, вузький проріз у штампованій деталі, показаний на рис. 3.50, виконати в процесі штампування неможливо. Тому проріз фрезерують;

б) при виготовленні деталей із сортового прокату, з литих і кутих болванок;

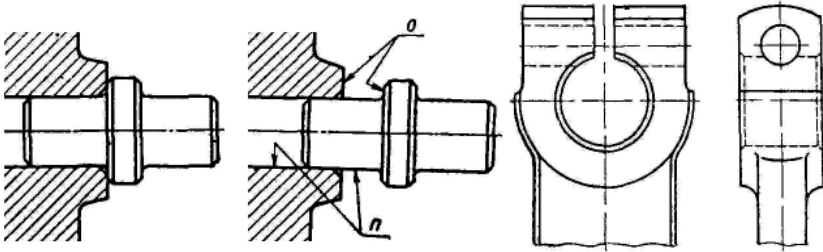


Рис. 3.49

Рис. 3.50

в) при виготовленні рухомих і нерухомих деталей при необхідності забезпечення між ними зазору. Маються на увазі випадки, коли зазор не може бути гарантований без механічної обробки внаслідок можливих значних відхилень поверхонь заготовок від заданого положення;

г) при виготовленні деталей, що обертаються і збалансованість яких має істотне значення. Обробкою усувається дисбаланс, що виникає внаслідок ексцентричності «чорних» поверхонь щодо осі обертання;

д) при необхідності забезпечення точної ваги деталей;

е) якщо потреба в обробці визначається технологічними міркуваннями – з метою створення бази для наступних операцій.

Тут приведені основні, найбільш характерні випадки призначення механічної обробки на вільних поверхнях деталей.

Однак у практиці машинобудування не виключена можливість необхідності механічної обробки вільних поверхонь, обумовленої ще якими-небудь іншими міркуваннями.

В усіх випадках призначення механічної обробки до неї повинні бути дотримані визначені технологічні вимоги.

Конфігурація і розміри оброблюваних елементів і поверхонь повинні бути погоджені з геометрією і розмірами нормальних металорізальних інструментів і технологічного оснащення.

На рис. 3.51, а показане технологічно неправильне зображення глухого свердлового отвору, тому що для свердління отворів у сталі і чавуні (з яких у більшості випадків виготовляються деталі машин) застосовують свердла з кутом заточення при вершині $2\varphi = 116\div 118^\circ$ (рис. 3.51, б) і цьому повинне відповідати зображення на кресленнях (рис. 3.51, в), кут заточення показують рівним 120° .

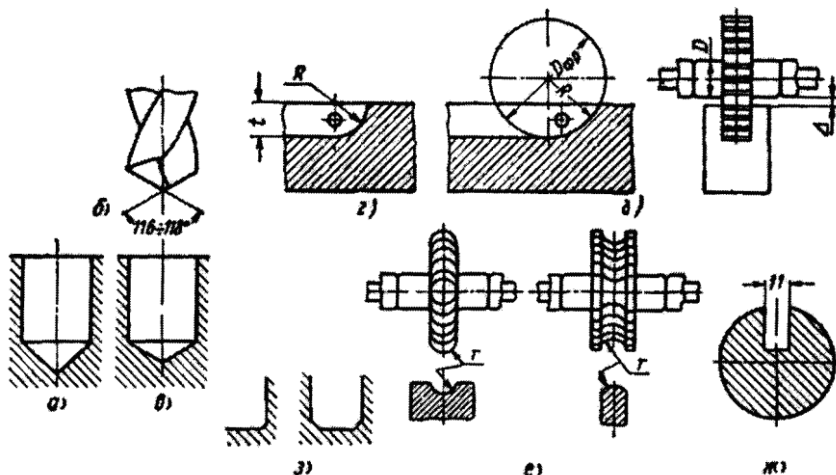


Рис. 3.51- Конфігурація оброблюваних елементів і поверхонь

Паз, поданий на рис. 3.51, г, профрезерувати неможливо, тому що його глибина t і радіус заокругленої частини R не погоджені між собою. При такому радіусі фрези не може врізатися на задану глибину через відсутність місця для оправки.

Конструюючи подібні елементи і задаючи в робочих кресленнях величину радіуса заокруглення або тільки зображуючи ці заокруглення, необхідно виходити з діаметра фрези, що забезпечує можливість її установки і закріплення (рис. 3.51, д).

Величину цього радіуса визначають за формулою:

$$R = \frac{D_{фр}}{2} = t + \frac{D}{2} + \Delta,$$

де D – зовнішній діаметр оправки;

Δ – зазор між крайньою поверхнею оброблюваної деталі й утворюючого кільця (мінімальна величина зазору 3–5 мм).

Отримане значення радіуса повинне бути округлене відповідно найближчому більшому діаметрові нормальної фрези.

Цю вимогу необхідно враховувати при конструюванні і зображенні шпонкових пазів і шліців, а також зуб'їв шестерень, що нарізають у тілі вала. Радіуси опуклих і увігнутих поверхонь, обмежених дугами окружності (рис. 3.51, е), повинні бути дорівнювати відповідним радіусам стандартних фрез.

Нормальних фрез шириною 11 мм не існує, тому розмір паса, зазначений на рис. 3.51, ж, призначений технологічно неправильно, якщо тільки він не обґрунтований якими-небудь особливими вимогами, що виправдують застосування в цьому випадку спеціальної фрези.

Фрезеруємі поверхні уступів, пазів, вушок і подібних елементів повинні мати у внутрішніх вхідних кутах заокруглення або скоси, рівні відповідним заокругленням або фаскам на краях фрез ріжучих елементів, (рис. 3.51, з).

Розташування оброблюваних елементів і поверхонь повинне бути погоджене з можливістю їхньої обробки.

На рис. 3.52, а показане технологічно неправильне положення бобишки, при якому неможливо просвердлити в ній отвір і нарізати різьбу через відсутність доступу для інструмента. Зазначені операції будуть здійсненні при деякій зміні кута нахилу бобишки або при зміні висоти її розташування (рис. 3.52, б та в).

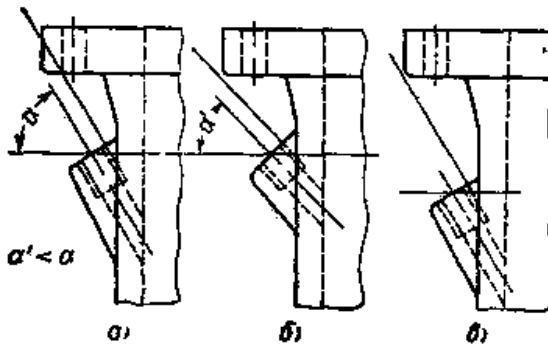


Рис. 3.52 – Технологічні положення бобишки

Конструкція деталей у разі потреби повинна передбачати наявність спеціальних технологічних елементів, що забезпечують вихід інструментів при обробці (рис. 3.53, а, б, г, д).

При нарізуванні зовнішньої і внутрішньої різьби для виходу різця бажана наявність проточок (рис. 3.53, в, е, ж), але можна нарізати різьблення і без них, для чого необхідно на кресленні вказати величину ділянки з повним профілем (рис. 3.53, з, и). Приймають, що для збігу різьби потрібна довжина, яка дорівнює двом крокам.

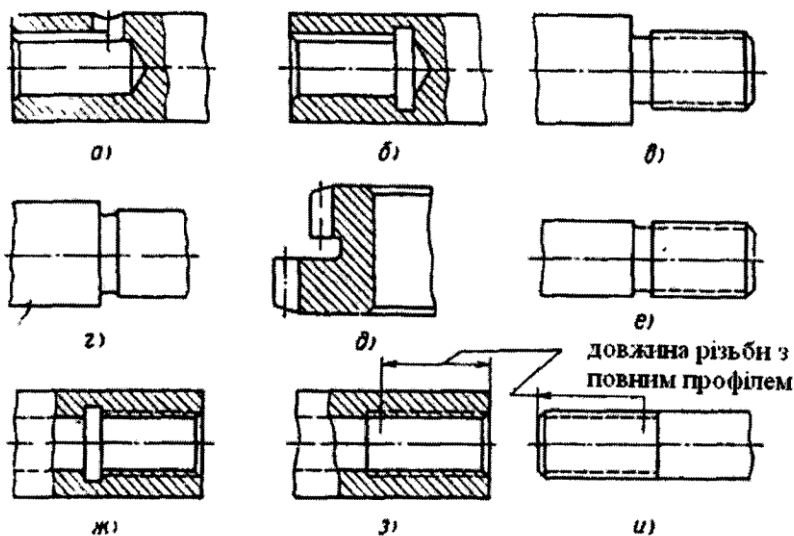


Рис. 3.53 - Спеціальні технологічні елементи деталей

При конструюванні і кресленні деталей розміри технологічних елементів для виходу інструментів потрібно призначати за даними відповідних нормалей і стандартів.

Переходи від оброблених поверхонь до необроблених повинні бути різко виражені. Маються на увазі переходи між обробленими і необробленими поверхнями зварених і литих деталей а також деталей, отриманих куванням і об'ємним штампуванням.

На відміну від розглянутих вище переходів необроблюваних поверхонь виливків та об'ємних штампувань, дані переходи не можуть здійснюватися з заокругленнями. Вони утворюються в результаті

зняття припуску (рис. 3.54), залишеного для обробки відповідних поверхонь.

Розглядаючи обробку маточини, неважко переконатися, що при підрізуванні її торців одержання плавного переходу з необроблюваними поверхнями майже неможливо.

У зв'язку з неминучими погіршеннями, що мають місце в заготівельних процесах, «чорні» поверхні маточини і вінця, імовірно всього, не будуть зцентровані щодо осі обертання деталі при її обробці. Завдяки цьому спроба здійснити плавні переходи привела б до положення, показаному на рис. 3.54, б.

Для одержання заокругленого переходу при обробці деталі на верстаті потрібен був би спеціальний фасонний різець, або обточування з одночасною подовжньою і поперечною подачею різця. Звідси очевидно, що в даному випадку плавний перехід із заокругленням призвів би до погіршення зовнішнього вигляду деталі, одночасного з ускладненням її обробки.

Сполучення розглянутих поверхонь необхідно виконувати з їхнім чітким розмежуванням або різко (рис. 3.54, а), або за допомогою фасок (рис. 3.54, в). Фаски в даному випадку усувають гострі краї і завусенці, а також охороняють краї від забої.

При механічній обробці конструктивних елементів деталей необхідно враховувати вимоги технологічності загального характеру. Зменшення площі оброблюваних сполучених поверхонь здійснюється шляхом виділення ділянок, призначених для обробки з загальної поверхні деталі (рис. 3.55), утворенням у заготовках платиків, приливів, бобишек, площадок, поглиблень у площадках, а також зовнішніх і внутрішніх кільцевих виїмок на поверхнях обертання.

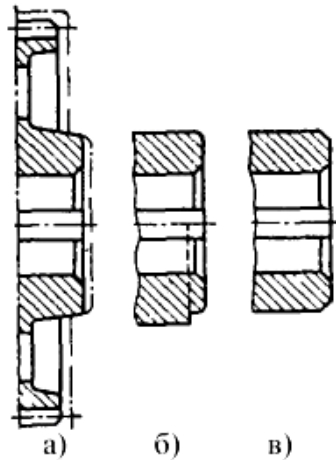


Рис. 3.54 – Варіанти обробки маточини

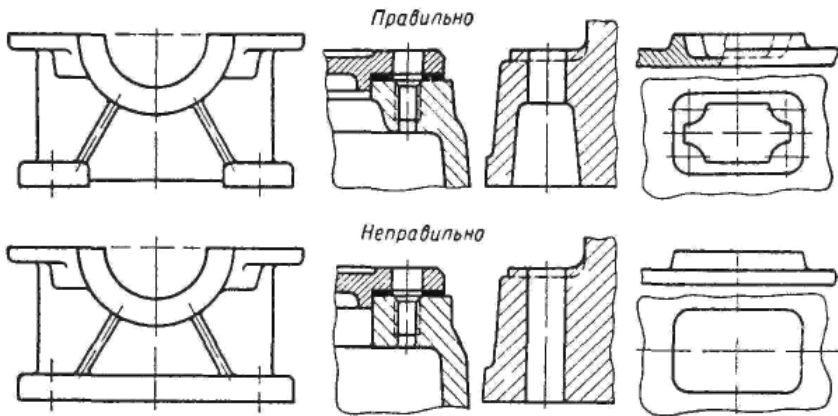


Рис. 3.55 - Варіанти конструктивних елементів деталей

Значення розглянутої вимоги полягає в наступному:

- виконання технічних умов до оброблюваних поверхонь, полегшується зі зменшенням площі обробки;
- при заміні суцільних оброблюваних поверхонь окремими ділянками забезпечується краще притискання деталей, що сполучаються. Крім цього, зменшується вага деталей і витрата металу. Економія металу здійснюється також за рахунок зменшення обсягу припуску;
- якщо оброблювана поверхня є стиком навантаженої деталі, то зменшення площі стику значно розвантажує деталі кріплення.

Наприклад, при зменшенні площі стику вдвічі (рис. 3.56, а) і за інших рівних умов величина необхідного зусилля попереднього затягування болтів кріплення кронштейна зменшується приблизно на 40 % порівняно із суцільним стиком (рис. 3.56, б);

- із скороченням площі обробки зменшується обсяг стружки, що знімається, а отже, збільшується термін служби інструментів;
- у більшості випадків зменшення площі оброблюваних поверхонь приводить до зниження машинного часу обробки.

Виключення обробки у важкодоступних місцях показано на прикладі рис. 3.57. Правильне конструктивне рішення подано на рисунку справа.

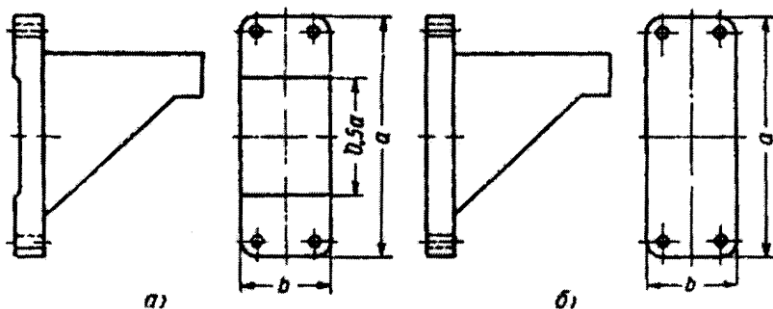


Рис. 3.56 - Варіанти конструктивних елементів кронштейна

Важливим засобом покращення технологічних операцій є забезпечення можливості обробки на прохід (наскрізна обробка).

Будучи найбільш раціональною з погляду продуктивності, така обробка щонайкраще забезпечує виконання конструктивних вимог до оброблюваних елементів.

Можливість її застосування залежить від конструкції деталі і взаємного розташування оброблюваних елементів.

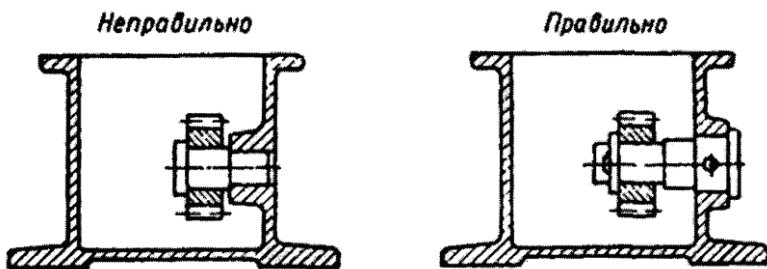


Рис. 3.57 – Конструктивні рішення корпуса редуктора

При розташуванні торців бобишек корпуса редуктора в одній площині (рис. 3.58, а) їх обробляють на прохід. У цьому випадку, порівняно з обробкою корпуса, виконаною відповідно рис. 3.58, б, продуктивність різко зростає.

Це обумовлено, по-перше, відсутністю необхідності в переналадженні верстата або в перестановці корпуса на інший верстат для обробки торців другої пари бобишек і, по-друге, можливістю

послідовної, потокової обробки корпусів. Крім цього, відпадає потреба витримувати розмір k , який визначає взаємне розташування торців бобишек після обробки.

На рис. 3.58, в показано кронштейн, вушко якого необхідно фрезерувати по обидва боки; при цьому можливо фрезерування тільки однієї деталі з радіальною подачею фрези. Незначна зміна конструктивного оформлення вушка дозволяє здійснити послідовну обробку ряду кронштейнів на прохід (рис. 3.58, г).

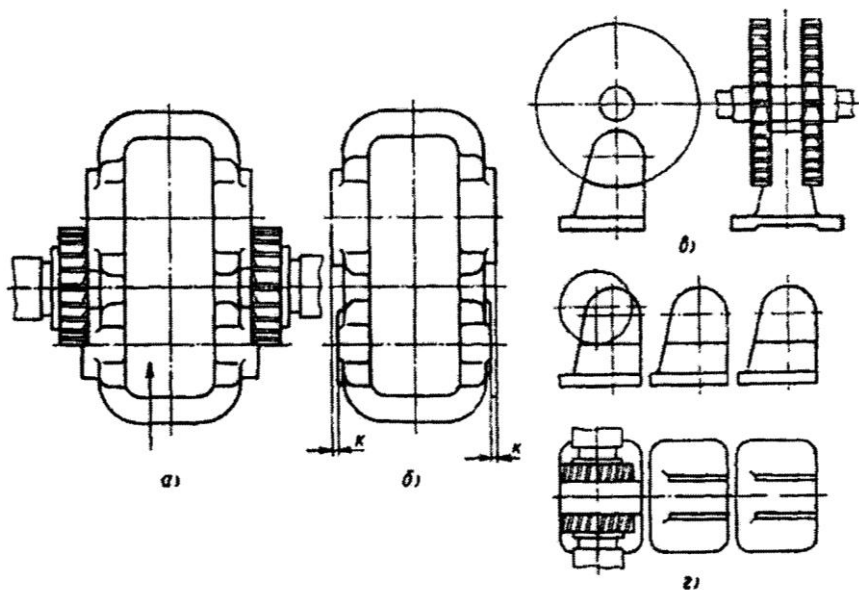


Рис. 3.58 – Конструктивні рішення корпуса редуктора

Поверхні, що вимагають точної обробки, повинні мати мінімально можливу величину. На рис. 3.59, а показаний приклад неправильного рішення, а на рис. 3.59, б – правильного рішення конструкції.

При розробці конструкцій необхідно добиватись забезпечення паралельності, перпендикулярності і співвісності взаємозалежних поверхонь найбільш простими прийомами обробки. Щонайкраще даній вимозі відповідає можливість обробки деталей на прохід (рис. 3.58, а, г і рис. 3.60, б). Однак там, де це не вдається здійснити, не-

обхідно прагнути до конструкцій, що дозволяють обробляти зазначені поверхні з однієї установки на верстаті.

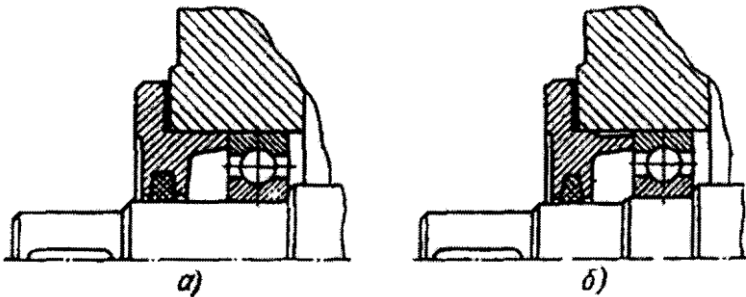


Рис. 3.59 – Конструктивні рішення ділянки валу

Внутрішні і зовнішні посадкові поверхні в стакані, показаному на рис. 3.60, а, повинні бути концентричні, але при даній конструкції вони обробляються з перестановкою.

Заміна буртика стопорним кільцем (рис. 3.60, б) дозволяє здійснити обробку деталі за одну установку, при цьому внутрішні посадкові поверхні будуть розточені на прохід.

Дуже важливе при конструюванні забезпечення можливості установки і закріплення оброблюваних деталей на верстатах.

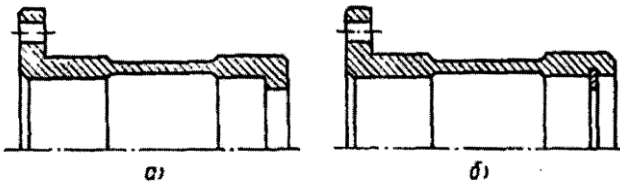


Рис. 3.60 – Конструктивні рішення стакана

Аналізуючи конфігурацію деталі а також конструкцію та розташування її окремих елементів, варто з'ясувати, чи задовольняють вони умовам її зручної установки і надійного закріплення на верстаті? У разі потреби треба ввести спеціальні елементи для зазначеної мети, наприклад, центрові отвори, отвори в дисках кутих і зварюваних коліс для кріплення останніх на планшайбі верстата. Тому що планшайби

звичайно мають парне число пазів, кількість отворів повинна бути такою парною.

3.8.1 Технологічність основних елементів механічної обробки

При конструюванні скрізь, де можливо, глухі отвори варто замінити наскрізними, тому що останні більш технологічні. Глухі отвори в корпусних деталях розточують різцями, закріпленими на консольних оправках. Для забезпечення необхідної жорсткості оправок глибина отворів не повинна бути більш 6 – 8 діаметрів. Для забезпечення виходу оправки за отвором, що розточується, необхідно передбачати спеціальну порожнину (рис. 3.61, а, б).

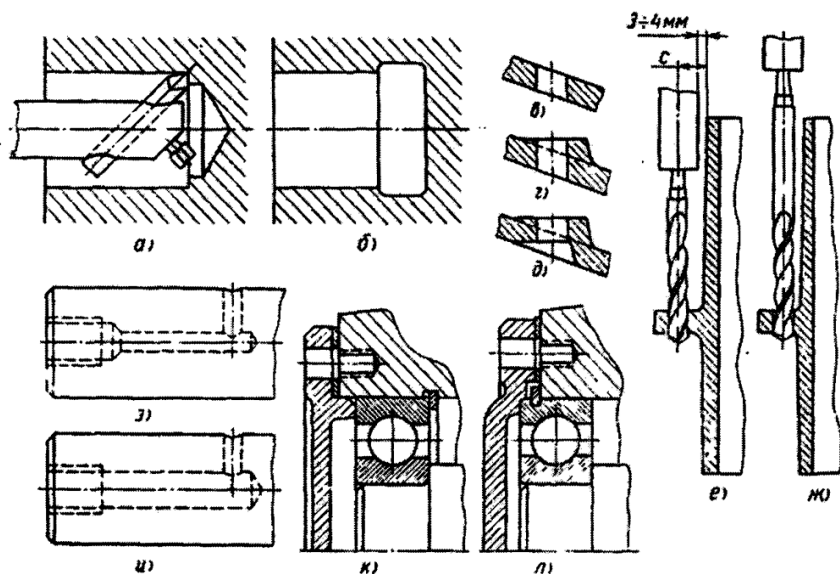


Рис. 3.61 - Конструктивні елементи деталей з отворами

При конструюванні елементів деталей повинна бути передбачена можливість нормального врізання і виходу свердла, що виключає його відведення і поломку (рис. 3.61, д). Нетехнологічне виконання показано на рис. 3.61, в, г.

Варто передбачати застосування свердл нормальної довжини. Для цього у випадках, подібних показаному на рис. 3.61, е, відстань «с» по-

винна бути призначена з таким розрахунком, щоб між шпинделем верстата і стінкою деталі залишався зазор 3–4 мм. Нетехнологічне виконання показано на рис. 3.61, ж. Треба уникати глибоких отворів. Глибоким вважають отвір, глибина якого перевищує десять діаметрів (рис. 3.61, з). Технологічний отвір показаний на рис. 3.61, и.

Необхідно уважно підходити до конструювання сполучень пересічних поверхонь, які створюють внутрішні (вхідні) і зовнішні кути (найчастіше прямі). У першому випадку сполучення повинне бути здійснене відповідно до виконання кромки ріжучих інструментів, якими будуть оброблятися ці поверхні.

При обробці фрезами і зенкерами сполучення здійснюються за допомогою заокруглень або скосів (рис. 3.61, з).

При обробці різцями сполучення можуть бути: різкі з заокругленням дуже малого (рис. 3.62, а), або великого радіуса (рис. 3.62, б) і з канавкою (рис. 3.62, в та г).

В другому випадку сполучення можуть бути: різкі з притупленням гострої кромки (рис. 3.62, д), із заокругленням (рис. 3.62, е) і з фаскою (рис. 3.62, ж).

Сполучення зовнішніх кутів із заокругленням – нетехнологічне і тому його застосовувати не слід.

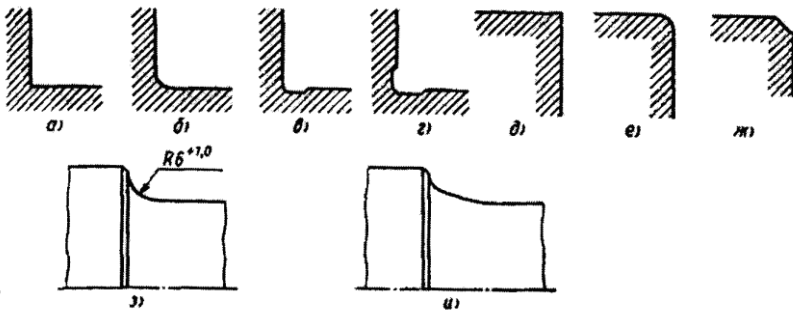


Рис. 3.62 - Конструктивні елементи сполучень

Наявність галтелей не ускладнює виготовлення деталей, якщо остаточна обробка виробляється різцями. Навпаки, зі збільшенням радіуса заокруглення вершини різця зростає його стійкість. Що ж стосується деталей, що піддаються остаточній обробці абразивними інструментами, то для них галтелі є чинником зниження технологічності. Це обумовлено необхідністю періодично заправляти кромку

шліфувального круга для того, щоб він обробляв галтель заданого радіуса.

З конструктивної точки зору галтелі в місцях переходів між ступенями валів і осей, що працюють при перемінних напруженнях, є засобом підвищення їхньої витривалості, тому що різко знижують місцеву концентрацію напружень.

Тому у всіх відповідальних випадках, незалежно, від впливу на технологічність, переходи між ступенями повинні бути оформлені за допомогою галтелей. Там, де це істотно, треба застосовувати галтелі великого радіуса, задаючи їх у робочих кресленнях з відповідними допусками (рис. 3.62, з), а також галтелі спеціальної форми з перемінною кривизною (рис. 3.62, и). Крім цього, у кресленнях треба вказувати клас чистоти поверхні галтелі.

Як елемент конструкції, проточки забезпечують вихід круга при шліфуванні і виключають необхідність частого заправлення його кромки, відповідно, вони служать фактором підвищення технологічності.

Залежно від призначення проточки бувають різного профілю. Їхні розміри і конфігурація стандартизовані і установлені, виходячи з наступних умов:

- відповідність геометрії кромки ріжучого інструмента;
- мінімальне ослаблення перетину деталі;
- найменша концентрація напружень.

Незважаючи на останню умову, проточки є джерелами концентрації напружень у місцях переходу. Тому їх застосовують у деталях, які не зазнають перемінних напруг, або взагалі не навантажених, а також у валах і осях, розміри яких установлені виходячи з вимоги жорсткості, а не міцності.

Як елемент конструкції фаски забезпечують (рис. 3.63):

- відсутність завусенців і гострих кромки;
- деяке запобігання відповідних поверхонь деталей від забої;
- взаємний напрямок деталей у початковий момент зборки;
- можливість зборки деталей при посадках з натягом;
- напрямок різьбонарізного інструмента при нарізуванні зовнішньої і внутрішньої різьби;
- можливість розміщення галтелей валів і осей.

Для зовнішніх різьб будь-яких розмірів фаски виконують під кутом 45° . Якщо отвір під внутрішню різьбу отримано свердлінням, то замість фаски роблять зенківку під кутом 120° до зовнішнього ді-

аметра різьби (рис. 3.63, а), якщо ж отвір розточують, то фаски, так само як і для зовнішньої різьби, виконують під кутом 45° (рис. 3.63, б). Величину катета фаски приймають за стандартом залежно від кроку різьби. Фаски загального призначення виконують під кутом 45° .

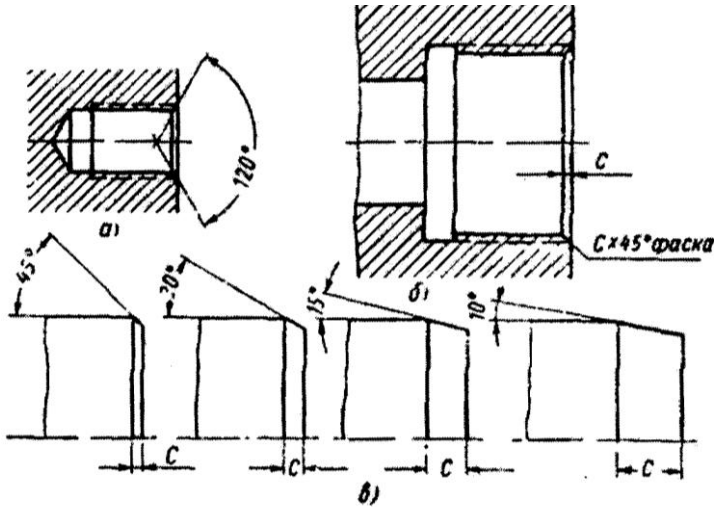


Рис. 3.63 – Конструктивні варіанти фасок

Фаски для забезпечення можливості зборки деталей з натягом виконують під кутом 45° , 30° , 15° , 10° (рис. 3.63, в).

Чим менше значення кута фаски, тим легше здійснити запресовку й одержати якісне сполучення. Малі кути приймають для важких посадок з великими натягами.

3.9 Вимоги, пов'язані з термічною і хіміко-термічною обробкою деталей

Використання термічної і хіміко-термічної обробки а також операцій так названої зміцнюючої технології дає значне підвищення відповідних механічних властивостей матеріалу деталей і забезпечує їм необхідні експлуатаційні якості.

Способи термічної обробки дозволяють здійснювати диференціацію вимог до механічних властивостей сталі для різних місць і

поверхонь однієї і тієї ж деталі, а іноді і того самого елемента. Сама сутність хіміко-термічної обробки, у результаті якої виходять елементи деталей із твердою і зносостійкою поверхнею при одночасно досить міцній, але в'язкій і пластичній серцевині, свідчить про це положення.

Крім цього, технологія хіміко-термічної обробки передбачає ряд засобів захисту металу деталей у потрібних зонах від дифузії в нього вуглецю при цементації, азоту і вуглецю при ціаніюванні й азоту при азотуванні.

Завдяки таким засобам одні поверхні й елементи деталей після хіміко-термічної обробки, загартування і відпуску здобувають високу твердість, а інші залишаються (при потребі) порівняно м'якими і в'язкими.

Наприклад, зовнішні різьблення і різьбові отвори в деталях, що цементуються, повинні бути захищені від науглецювання. У іншому випадку різьблення вийде крихким і виявиться непридатним.

Призначення засобів термічної і хіміко-термічної обробки для деталей проводиться на самому початку процесу конструювання одночасно з вибором матеріалу.

Механічні характеристики обраного матеріалу, необхідні для попереднього розрахункового визначення основних параметрів і розмірів деталей, що проектується, приймають за відповідними довідковими даними, з урахуванням впливу відповідної термічної або хіміко-термічної обробки.

При конструктивному оформленні деталей у процесі конструювання вузлів і при виконанні уточнених перевірочних розрахунків вибір матеріалу і призначення способів термічної і хіміко-термічної обробки можуть бути скореговані.

Для правильного рішення даного питання і щодо призначення термічної і хіміко-термічної обробки необхідно користуватися відповідними вказівками і рекомендаціями, що приводяться в ряді технічних джерел, для широкої номенклатури загальних і спеціальних типових деталей при різних умовах їхньої роботи.

Приймаючи рішення про термічну або хіміко-термічну обробку для тієї або іншої деталі відповідно її функціональному призначенню й умов роботи, одночасно необхідно рахуватися з технологічними вимогами стосовно до таких технологічних операцій:

– призначуваний спосіб обробки повинен відповідати хімічному складові і технологічним властивостям матеріалу, обраного для даної деталі;

– значення механічних властивостей обраного матеріалу, прийняті при розрахунках (межа міцності, границя текучості, твердість і ін.), а також значення, що вказуються в робочих кресленнях (твердість, глибина шару цементації й ін.), повинні відповідати можливості їхнього досягнення для обраного матеріалу при призначеній обробці;

– габаритні розміри деталей повинні бути погоджені з величиною устаткування термічних цехів, застосовуваного для виконання операцій призначуваної обробки.

Величини, що вказуються в робочих кресленнях (величини твердості, границь зон і глибини шару термічної обробки і таке інше), треба призначати у визначених інтервалах значень. При цьому величина інтервалу повинна бути погоджена з можливістю його дотримання.

Основні вимоги, зв'язані з загальним об'ємним гартуванням:

– гартування варто застосовувати для сталей, що містять не менш 0,3% вуглецю, тому що для низьковуглецевої сталі його вплив досить незначний. Особливо ефективно застосування гартування для деталей, що виконуються з якісних і високоякісних сталей;

– конструкція деталей повинна передбачати відсутність різких переходів між окремими перетинами й елементами для попередження виникнення гартівних тріщин;

– щоб уникнути нерівномірної твердості а також значних деформацій, великі деталі не слід піддавати суцільному загартуванню. Для таких деталей рекомендується нормалізація або поліпшення заготовок з наступним місцевим гартуванням навантажених елементів;

– при необхідності в загальному гартуванні великих деталей складної конфігурації слід замість вуглецевої сталі вибирати відповідну леговану сталь, яка має підвищені і гартівні характеристики і не дає деформацій і тріщин при гартуванні.

Основні вимоги, зв'язані з хіміко-термічною обробкою:

– при призначенні способу хіміко-термічної обробки варто враховувати величину перетинів виступаючих елементів деталей. Наприклад, для дрібно-модульних шестерень, щоб уникнути наскрізного науглецювання і суцільного гартування зубів, потрібно призначати рідинну цементацію або ціаніювання;

– після рідинної цементації, ціаніювання або азотування поверхні деталей залишаються чистими й окалина на них не утворюється, тому наступної абразивної обробки вони не вимагають. Остаточну точну механічну обробку роблять до хіміко–термічної обробки. Крім цього, у зв'язку з малою глибиною шару при зазначених способах хіміко–термічної обробки шліфування в більшості випадків неприпустимо;

– спосіб контролю твердості, що задається в робочих кресленнях (по Бринелю, Роквеллу, Вікерсу), повинен відповідати виду призначеної хіміко–термічної обробки.

Таблиця 3.7. – Значення інтервалів глибини шару, що рекомендуються, при поверхневому загартуванні с.в.ч., цементації і ціаніюванні

Вид обробки	Інтервали глибини шару, мм	Примітка
Поверхнєве гартування	0,5 - 1,0; 1,0 - 1,5; 1,5 - 2,0; 2,0 - 3,0; 3,0 - 4,0; 4,0 - 5,0	Якщо конструкція й умови роботи елемента, що гартується, допускають велику глибину шару, то в креслення варто увести вказівку: «допускається збільшення глибини загартування ... мм»
Цементация	0,5 - 0,8; 0,8 - 1,2; 1,2 - 1,6; 1,6 - 2,0	–
Ціаніювання	0,05 - 0,1; 0,1 - 0,15; 0,15 - 0,2; 0,2 - 0,3; 0,3 - 0,4; 0,4 - 0,5; 0,5 - 0,7; 0,75 - 1,0; 1,0 - 1,25	Завдання глибини ціанійованого шару понад 0,3 мм можливо при наявності на виробництві процесу глибокого ціаніювання

Основні вимоги, зв'язані з поверхневим гартуванням струмами високої частоти:

– при призначенні глибини гартованого шару для тонкостінних деталей і елементів, що гартуються як із двох сторін, так і з однієї, необхідно рахуватись з їхньою товщиною щоб уникнути наскрізного гартування;

– необхідно мати на увазі, що при поверхневому гартуванні зуб'їв шестерні струмами високої частоти при модулі до 6 мм може бути тільки загальне одночасне гартування усього вінця. У цьому випадку виходить майже наскрізне загартування (рис. 3.64, а). При значеннях модуля вище 6 мм можливе виготовлення індуктора для індивідуального гартування кожного зуба і тоді загартований шар одержує конфігурацію, показану на рис. 3.64, б);

– прямі і гострі виступаючі кути, утворені поверхнями деталей, можуть оплавиться при нагріванні. Щоб уникнути оплавлення, переходи між такими поверхнями треба робити с фасками. На рис. 3.65, а показаний кінець валика, на торці якого передбачена фаска, а краї отвору оброблені зенківкою. При гартуванні внутрішньої поверхні втулок з отворами у зв'язку з неможливістю зенківки отвору зсередини потрібно, щоб воно виходило в спеціальне витончення (рис. 3.65, б);

– для зменшення концентрації місцевих напружень границі зон гартування с.в.ч. не повинні збігатися з геометричними концентраторами.

Розглянемо основні вимоги, пов'язані з технологічністю термічної обробки.

При виборі матеріалу деталей і призначенні для них термічної або хіміко-термічної

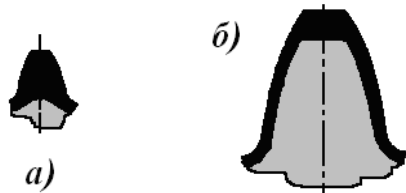


Рис. 3.64 – Гартування зуб'їв шестерень

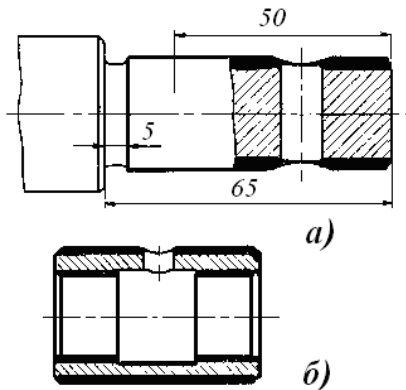


Рис. 3.65 – Гартування валиків та втулок

обробки іноді можуть мати місце кілька варіантів, які у рівній або майже рівній мірі задовольняють вимогам, що витікають з функціонального призначення й умов роботи деталі. У таких випадках оптимальним є варіант, найбільш економічний для існуючого масштабу виробництва, а також найбільш легко здійснений в конкретних виробничих умовах.

Наприклад, малонавантажене зубчасте колесо може бути виготовлене з низьковуглецевої сталі марок 15 або 20 з цементацією і загартуванням, або зі середневуглецевої сталі 45 з поверхневим загартуванням зубів струмами високої частоти.

Цементация твердим карбюратором вимагає тривалого часу і є дорогим способом поверхневого зміцнення.

Поверхнєве загартування деталей с.в.ч. являє собою прогресивний спосіб термічної обробки, що відрізняється високою виробничою культурою, технологічністю і підвищенням якості деталей.

Перевагою цього методу є можливість розміщення установок у верстатних лініях, а також можливість автоматизації процесу гартування. Однак його застосування зв'язане зі значними витратами засобів на виготовлення індукторів для нагрівання, які часто приходиться конструювати і виготовляти для даної деталі, у той час як устаткування для цементації є універсальним.

Тому в масовому і серійному виробництві, коли кількість виготовлених деталей виправдує витрати на устаткування й оснащення для поверхневого загартування с.в.ч., перевагу варто віддати цьому методу термічної обробки.

У іншому випадку оптимальним варіантом буде цементация.

З огляду на високу вартість індукторів, при конструюванні деталей із застосуванням поверхневого загартування с.в.ч., необхідно стежити за можливістю уніфікації модулів і ширини вінців зубчастих коліс, діаметрів ступенів валів і осей, діаметрів отворів.

Потрібно пам'ятати, що вартість цементації, ціаніювання і гартування с.в.ч. зростає зі збільшенням глибини шару, тому не треба її завишувати, якщо це не є конструктивною вимогою.

Для близьких за розмірами деталей, що цементуються, азотуються або ціаніруємих, рекомендується за можливістю скорочувати номенклатуру застосовуваних градацій глибини шару. Це дає можливість скорочення кількості категорій деталей, що вимагають різних режимів обробки.

РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

Планування розвитку і підвищення ефективності державного господарства – завдання надзвичайно складне і багатогранне. Дійсно, у планах повинні науково обґрунтовано сполучатися задоволення потреби і ресурсна забезпеченість не тільки по галузях державного господарства, але і по регіонах країни. Останнє передбачає необхідність найбільш доцільного розміщення продуктивних сил по території країни з одночасним рішенням соціальних задач комплексного розвитку кожного регіону, удосконалювання міжрегіональних економічних і транспортних зв'язків, раціонального використання природних і трудових ресурсів, наукового потенціалу.

Рішення вказаних задач керування державним господарством повинно ґрунтуватися на глибоких наукових методах планування, що спираються на широке використання ЕОМ, розробку моделей планів, алгоритмів розрахунків і програм рішення відповідних задач.

Одним із найважливіших є питання підготовки фахівців з окремих напрямків науки і техніки і раціонального розміщення підготовки фахівців із усієї території країни.

Державним організаціям надано право видавати охоронні документи на винаходи (патенти) а також на відкриття, товарні знаки, забезпечувати вслякий розвиток винахідницької справи в країні, захищати за кордоном інтереси країни в області правової охорони досягнень вітчизняних вчених у науці і техніці, брати участь у патентуванні винаходів за кордоном, у продажі ліцензій, в організації патентної інформації.

Єдину технічну політику в області стандартизації і метрології здійснюють відповідні державні структури із метою забезпечення прискорення науково-технічного прогресу, підвищення якості продукції. Вони організовують силами міністерств, відомств, галузевих наукових виробничих організацій розробку стандартів, контроль за їхнім дотриманням у всіх галузях державного, приватного та інших форм господарства.

Виконання наукових досліджень відповідно до затверджених планів і програм вимагає своєчасного забезпечення виконавців відповідними матеріалами, приладами, устаткуванням і т.п.

Законодавством України введено формально-логічне визначення винаходу як технологічного або технічного рішення, яке відповідає умовам патентоспроможності: новизна, винахідницький рі-

вень та можливість промислового використання із відповідним позитивним ефектом.

Винаходи умовно поділяються па п'ять творчих рівнів: до 1-го і 2-го відносять дрібні удосконалення і технічні рішення; 3-й рівень – середні; 4-й і 5-й рівні - це великі винаходи, у тому числі піонерські, які відкривають принципово нові етапи в розвитку науки і техніки. Практика показала, що дрібні і середні винаходи складають більш 96 % від загального їхнього числа.

Відкриттям визнається встановлення невідомих раніше об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей явищ матеріального світу, які вносять корінну зміну в рівень пізнання (дане визначення не поширюється на відкриття: географічні, археологічні, палеонтологічні, родовищ корисних копалин, в області суспільних наук, а також наукові теорії і математичні методи, методи організації та управління господарством т. ін.).

4.1 Підготовка наукових і науково-педагогічних кадрів

Підготовка наукових і науково-педагогічних кадрів вищої кваліфікації (доктори і кандидати наук) організовується на основі планів, розроблених міністерствами (відомствами), Кабінетом Міністрів (у межах завдань з підготовки наукових кадрів, що передбачаються в планах розвитку державного господарства) і затверджених відповідними департаментами разом з АН і Міністерством освіти та науки. Навчання в аспірантурі (ад'юнктурі) організовуються з відривом від виробництва (очна – терміном на 3 роки) і без відриву від виробництва (заочна – терміном на 4 роки). В очну аспірантуру приймаються фахівці у віці до 35 років, у заочну – до 45 років. Для вступу в очну аспірантуру необхідний дворічний стаж виробничої роботи після закінчення вузу чи відразу після закінчення вузу на основі рекомендацій вчених рад вузів або факультетів, що видаються молодим фахівцям, які найбільше успішно закінчили вуз і мали схильність до науково-дослідної роботи ще в період навчання у вузі.

Для вступу в аспірантуру необхідно скласти відповідні іспити. У процесі навчання відповідно до затвердженого індивідуального плану аспіранти (ад'юнкти) складають кандидатські іспити.

Для кожної людини, яка вступила до аспірантури, затверджується науковий керівник, що консультує аспіранта і контролює хід виконання індивідуального плану, затвердженого Радою вузу (факу-

льтету) чи наукової установи. Аспірантам затверджується також тема їхньої дисертаційної роботи.

До терміну закінчення аспірантури аспірант зобов'язаний здати всі кандидатські іспити і представити в спеціалізовану Раду кандидатську дисертацію.

У тих випадках, коли необхідно підготувати науковця визначеного профілю, вуз, наукові установи чи інша організація можуть направити свого працівника в так названу цільову аспірантуру, по закінченні якої він в обов'язковому порядку повертається на роботу в установу, що його направила.

Фахівці можуть працювати над дисертацією і поза аспірантурою на правах здобувача. Здобувачами ученого ступеня кандидата наук можуть бути фахівці, що мають вищу освіту, досвід роботи зі спеціальності і сполучають виробничу, наукову чи педагогічну діяльність з роботою над дисертацією.

Здобувачі прикріплюються до визначеного вузу чи наукової установи, що забезпечує умови для здачі кандидатських іспитів і консультацій за обраною темою, що даються затвердженим для здобувача науковим керівником. Тема дисертації затверджується Радою вузу.

Після завершення розробки дисертаційної теми оформляється дисертація, що підлягає захисту в спеціалізованій Раді. Такі Ради організуються Вищою атестаційною комісією при Кабінеті Міністрів (ВАК України) у наукових установах і вищих навчальних закладах, що забезпечені висококваліфікованими кадрами вчених відповідного профілю. До складу спецрад можуть залучатися фахівці з ученим ступенем і з інших наукових установ чи вузів. Кожній спецраді при її організації затверджуються номери спеціальностей науковців, за якими ця рада може організовувати захист дисертацій на присвоєння ученого ступеня кандидата чи доктора наук.

З метою більш глибокого аналізу дисертації спецради попередньо призначають опонентів: при захисті докторської дисертації – три доктори наук і провідна організація; при захисті кандидатської дисертації – один доктор, один кандидат наук і провідна організація, що доповідають на засіданні спецради свої рецензії і пропозиції.

Захист дисертації визнається успішним, якщо в результаті таємного голосування за присудження шуканого ученого ступеня виставилося більш 50 % членів спецради, що брали участь у захисті.

Результати захисту дисертації (протокол, рішення) спецради направляють у ВАК України, що здійснює контроль за діяльністю

спецрад. З цією метою в складі ВАК організуються експертні ради, що складаються з ведучих вчених країни. Ними здійснюється вибірковий контроль за правильністю організації захисту і рішення, прийнятого спецрадою про присудження ученого ступеня кандидата наук. Остаточне рішення про видачу диплома кандидата наук приймається колегією ВАК.

Рішення спецрад про присудження ученого ступеня доктора наук є рекомендаційними, а остаточне рішення про видачу диплома доктора наук при позитивній рекомендації експертної ради приймається Президією ВАК.

ВАК також розглядає пропозиції Рад наукових установ і приймає рішення про присвоєння учених звань старшого наукового співробітника а також професора, якщо здобувач працює в установі, що не входить у систему вищої школи.

Присвоєння звання старшого наукового співробітника здобувачам, які працюють у системі Академії наук, здійснюється Президією АН, а звання доцента чи професора здобувачам, які працюють у вищих навчальних закладах, здійснюється Міністерством науки та освіти України.

У провідних великих вузах, які мають висококваліфіковані наукові кадри, затверджуються посади стажистів-викладачів, на які направляються співробітники вузів, що мають потребу у кваліфікованих викладачах даного профілю. Таким чином, посади стажистів-викладачів використовуються тільки цільовим призначенням.

Науковим керівником стажиста-викладача є завідувач тієї кафедри, на яку зарахований даний стажист, і один із професорів кафедри. Кожному стажисту затверджується індивідуальний план. За місяць до закінчення стажування вони проходять атестацію спеціальною комісією, що виносить рекомендацію про можливість використання стажиста-викладача на педагогічній роботі.

З метою підвищення ефективності розробки актуальних проблем науки, техніки і культури, удосконалювання підготовки науково-педагогічних і наукових кадрів вищих кваліфікацій - докторів наук, створена форма підготовки кадрів – докторантура, як вища ступінь.

Докторантура організується Міністерством науки та освіти України й Академією наук за участю зацікавлених міністерств і відомств при ведучих вузах, наукових установах і організаціях, що мають висококваліфіковані наукові кадри і необхідну дослідницьку й експериментальну базу.

Докторантура відкривається з відривом від виробництва з терміном підготовки до трьох років і до неї направляються кандидати наук у віці до 40 років, що мають наукові досягнення та проявили себе перспективними науково-педагогічними працівниками. Докторанти при необхідності можуть відряджатися у ведучі вітчизняні і закордонні наукові центри. Термін навчання в докторантурі зараховується в стаж науково-педагогічної роботи.

У сучасних умовах науково-технічного прогресу надзвичайно важливим завданням є систематичне поповнення знань фахівців результатами останніх досягнень науки, техніки і культури. З цією метою в нашій країні сформована система підвищення кваліфікації, що складається з інститутів підвищення кваліфікації, підлеглих відповідним галузевим міністерствам і відомствам, і факультетів підвищення кваліфікації, організованих в основному у вищих навчальних закладах. Кожен фахівець країни зобов'язаний один раз у п'ять років пройти через систему підвищення кваліфікації й оновити, таким чином, свої знання. Викладають у таких інститутах і факультетах висококваліфіковані фахівці державного господарства, професори і викладачі вузів.

У деяких випадках виявляється необхідним здійснити швидко перепідготовку фахівців з новітніх напрямків науки і техніки, по яких ще не склалися відповідні спеціальності. З цією метою в основному у ведучих вузах на базі сформованих наукових шкіл організуються так названі спеціальні факультети з терміном навчання від десяти місяців до двох років по денній чи вечірній формі. Слухачів на такі факультети направляють організації, зацікавлені в одержанні фахівців даного напрямку.

За усіма фахівцями, направленими на навчання, зберігається заробітна плата по основному місці роботи.

Основним завданням вищої школи в сучасних умовах є підготовка фахівців всебічно розвинених, здатних безперервно поповнювати і поглиблювати свої знання, підвищувати теоретичний і професійний рівень, активно брати участь в прискоренні науково-технічного прогресу.

Відповідно до цих цілей у вищій школі постійно здійснюються заходи, направлені на підвищення ефективності учбово-виховного процесу і науково-дослідної роботи шляхом інтеграції науки, освіти і виробництва, оперативного і гнучкого оновлення змісту учбового матеріалу.

Особлива увага приділяється розвитку творчих здібностей майбутніх фахівців шляхом впровадження активних форм навчання, покликаних формувати у студентів та курсантів самостійність і творчу активність, відповідальний підхід до оволодіння знаннями. У багатьох вузах вже є значний досвід в цьому напрямі в тому числі з використанням автоматизованих та дистанційних навчальних систем, що дозволяють вести діалог за допомогою ЕОМ та Інтернету.

Величезне значення в справі підвищення якості підготовки фахівців, які відповідають сучасним вимогам науки, техніки і культури, набуває науково-дослідна робота, що виконується професорсько-викладацьким складом.

Вона має триєдину мету: рішення актуальних наукових і господарських задач, поліпшення якості підготовки майбутніх фахівців і підвищення кваліфікації викладачів. Чим вище науковий потенціал вузу, тим змістовніша і сучасніша його учбово-методична база.

Розвиток науково-дослідної роботи у вищих учбових закладах створив умови для широкого залучення студентів до наукових досліджень, що є важливим чинником підвищення якості підготовки фахівців відповідно до сучасних вимог науково-технічної революції.

Ще в 20-х роках минулого сторіччя при деяких кафедрах стали створюватися студентські наукові гуртки, найбільш талановиті студенти стали брати участь в дослідженнях, що проводились науково-педагогічними колективами.

У останні роки така вибіркова участь студентів в науково-дослідній роботі перестала задовольняти вимогам до вищої школи країни з боку науки, техніки та виробництва, що бурхливо розвиваються.

Виникла об'єктивна потреба в тому, щоб усі майбутні фахівці в процесі навчання проходили школу науково-технічної творчості, оскільки сам характер праці фахівця незалежно від того, в якій організації він працює, все більшою мірою стає творчим і вимагає відповідної підготовки.

Одним з основних способів розвитку аналітичного і творчого мислення повинна стати неодмінна участь студентів та курсантів в наукових дослідженнях, реальних проектних і конструкторсько-технологічних розробках.

Завдання, що висуваються сучасним виробництвом і практикою, настільки складні, що їх рішення часто вимагає творчого пошуку, дослідницьких навичок. У зв'язку з цим сучасний фахівець

повинен володіти не тільки необхідною сумою фундаментальних і спеціальних знань, але і певними навичками творчого розв'язання практичних питань, умінням використати в своїй роботі все те нове, що з'являється в науці і практиці, постійно вдосконалювати свою кваліфікацію, швидко пристосуватися до умов виробництва. Всі ці якості необхідно виховувати у вузі. І виховуються вони через активну участь студентів та курсантів у науково-дослідній роботі.

Досвід сучасної вищої школи свідчить, що в умовах науково-технічної революції науково-дослідна робота студентів та курсантів перетворилася із засобу розвитку творчих здібностей найбільш успішних і обдарованих студентів та курсантів в могутній важіль підвищення якості підготовки всіх фахівців з вищою освітою і дозволяє направляти науковий і трудовий потенціал студентів та курсантів на рішення реальних наукових та господарських задач.

Сучасне поняття «науково-дослідна робота студентів та курсантів» включає в себе два взаємопов'язаних елементи:

- навчання студентів та курсантів елементам дослідницької праці, надання їм навичок цієї праці;
- власне наукові дослідження, що проводяться студентами та курсантами під керівництвом професорів і викладачів.

Під керівництвом відповідних державних установ функціонують ради з координації і керівництва розвитком наукової і технічної творчості молоді вищих і середніх спеціальних учбових закладів.

Головними завдання рад є надання всебічної допомоги керівництву вузів у створенні умов для широкої участі студентів та курсантів у науково-дослідній, конструкторській і творчій роботі, поширення позитивного досвіду організації наукової роботи студентів та курсантів; організація науково-технічних конференцій, виставок, конкурсів, оглядів і інше.

Керівництво НДРС є обов'язковим елементом діяльності професорів і викладачів вузів, співробітників науково-дослідних установ вузів і аспірантів.

Наукова робота студентів, що виконується у позанавчальний час, організовується в формі участі студентів у виконанні досліджень за тематикою планових госпдоговірних і бюджетних науково-дослідних робіт кафедр і наукових установ вузів.

Студентські наукові гуртки при кафедрі або науковій лабораторії являють собою порівняно невеликі колективи, об'єднані розробкою певної наукової проблеми. Кожний студент в групі виконує самостійне завдання наукового керівника.

При цьому студентам, як правило, доручається розробка певного науково-технічного завдання, яке відповідає темі, що виконується кафедрою або науковою лабораторією.

Звичайно в групу, що бере участь в розробці наукової теми, включаються декілька студентів часто різних курсів, що дозволяє забезпечити спадкоємність, безперервність і чітку організацію роботи. Робота проводиться за планом кафедри, затвердженим науковим керівником і кафедрою. Студенти, що успішно виконали завдання по своєму розділу, включаються в число авторів звіту як виконавці.

Важливу роль в активізації науково-технічної творчості студентів грають організаційно-масові заходи, що проводяться в країні:

- олімпіади,
- огляди-конкурси на кращу організацію наукової роботи студентів,
- наукові конференції студентів,
- виставки науково-технічної творчості,
- конкурси на кращу наукову роботу студентів з природних, технічних, гуманітарних наук і суспільних наук, історії. Керівництво вузів має право відрядити студентів для участі у цих заходах.

У деяких вузах дослідницькій роботі студентів передую спеціальний курс з основ організації і методики проведення наукових досліджень, з організації бібліографічної і патентно-ліцензійної роботи. Найчастіше ці курси викладаються при підготовці магістрів, або є факультативними.

Важливою формою науково-дослідної роботи студентів є впровадження елементів творчості в учбові лабораторні роботи. При виконанні таких робіт студент самостійно складає план досліджень, вибирає необхідну апаратуру, проводить математичну обробку і аналіз результатів експерименту, оформляє науковий звіт.

Багатьма кафедрами вузів організуються учбово-наукові семінари.

Підготовка семінару складається так, щоб протягом семестру кожний студент міг виступити на ньому з доповіддю або повідомленням, присвяченими підсумкам виконаного дослідження.

Практикуються також індивідуальні домашні завдання з елементами наукового пошуку.

Для молодших курсів однієї з форм НДРС в рамках учбового процесу є підготовка рефератів.

Науково-дослідна робота студентів в період виробничої практики часто зв'язується з виконанням на виробництві конкретних завдань за тематикою науково-дослідних робіт, що виконуються кафедрою, або з аналізом «вузьких» місць виробництва, з виконанням задач вдосконалення технологічних процесів, обладнання, наукової організації праці, а також зі збором фактичного матеріалу, його первинною обробкою з метою використання при курсовому і дипломному проектуванні.

Велике значення має також участь студентів в період практики в раціоналізаторській і винахідницькій роботі підприємства, цеху і т.д.

Наукове керівництво студентами на практиці здійснюють спільно викладачі вузу і фахівці базового підприємства.

За результатами наукової роботи, виконаної на практиці, студенти готують звіт, який захищають на кафедрі.

Науково-дослідна робота студентів в рамках курсових і дипломних проектів і робіт звичайно пов'язана з опрацюванням спеціальних розділів з елементами наукового пошуку, в основному при виконанні реальних завдань, в рішенні яких зацікавлене те або інше підприємство або організація. Такі дипломні проекти іноді закінчуються впровадженням, і тому дійсно є реальними.

Все ширше розвивається у вузах комплексне реальне дипломне проектування з участю студентів-дипломників різних спеціальностей одного або декількох вузів, причому кожному студенту поручається виконання окремого самостійного розділу комплексного проекту. Загальне керівництво розробкою такого проекту здійснюється однією з ведучих кафедр (призначається головний керівник). По кожному з розділів є свій керівник від тієї кафедри, яка забезпечує його розробку.

При захисті комплексного дипломного проекту організовується комісія, що включає представників замовника і вузу. Її завданням є оцінка кожної теми дипломного проекту, виконаної окремим студентом, а також прийняття рішення по проекту у цілому у вигляді рекомендації з використання на підприємстві замовника.

Провідні вузи спільно з підприємствами і організаціями формують перелік «вузьких» місць виробництва, за якими кафедри видають студентам теми курсових і дипломних проектів і робіт. Такий підхід дозволяє ефективніше використовувати науковий і творчий потенціал студентів для виконання конкретних задач.

4.2 Методологічні основи наукового пізнання і творчості

Знання - ідеальне відтворення в мовній формі узагальнених уявлень про закономірні зв'язки об'єктивного світу.

Функціями знання є узагальнення розрізнених уявлень про закономірності природи, суспільства і мислення; збереження в узагальнених уявленнях усього того, що може бути передано як стійка основа до практичних дій.

Знання є продукт суспільної діяльності людей, спрямованої на перетворення дійсності. Процес руху людської думки від незнання до знання називають пізнанням, в основі якого лежить відображення об'єктивної дійсності у свідомості людини в процесі її суспільної, виробничої і наукової діяльності, іменованою практикою. Потреби практики виступають основною рушійною силою розвитку пізнання, його метою. Людина пізнає закони природи, щоб опанувати силами природи і поставити їх собі на службу; вона пізнає закони суспільства, щоб відповідно до них впливати на хід історичних подій.

Пізнання виростає з практики, але потім саме направляється на практичне оволодіння дійсністю. Від практики до теорії і від теорії до практики, від дії до думки і від думки до дійсності - така загальна закономірність відносин людини і навколишнього середовища. Практика є початком, вихідним пунктом і одночасно природним завершенням усякого процесу пізнання. Слід зазначити, що завершення пізнання завжди відносно, тому що в процесі пізнання, як правило, виникають нові проблеми та нові задачі, які були підготовлені і поставлені попереднім розвитком наукової думки. Вирішуючи ці задачі і проблеми, наука повинна випереджати практику та свідомо направляти її розвиток.

У процесі практичної діяльності людина вирішує протиріччя між дійсним станом речей і потребами суспільства. Результатом цієї діяльності є задоволення суспільних потреб. Зазначене протиріччя є джерелом розвитку пізнання і, природно, знаходить висвітлення в його діалектиці.

Діалектика процесу пізнання відображується в протиріччі між обмеженістю наших знань і безмежною складністю об'єктивної дійсності, між суб'єктивною формою й об'єктивним змістом людського пізнання, у необхідності боротьби думок, яка дозволяє шляхом логічних доказів і практичної перевірки встановлювати істину.

Уся наука, усе людське пізнання спрямовані до досягнення знань, що правильно відбивають дійсність. Тільки наукове знання служить людині могутньою зброєю перетворення дійсності, дозволяє прогнозувати її подальший розвиток.

Знання існують у вигляді законів науки, теоретичних положень і висновків, навчань, підтверджених практикою й існуючих об'єктивно, незалежно від праці і відкриттів учених. Тому наукове знання об'єктивне. Разом з тим наукове знання може бути відносним і абсолютним. Відносне знання – знання, що, будучи в основному вірним відображенням дійсності, відрізняється деякою неповнотою збігу образу з об'єктом. Абсолютне знання – це повне, вичерпне відтворення узагальнених уявлень про об'єкт, що забезпечує абсолютний збіг образу з об'єктом. Абсолютне знання не може бути спростоване чи змінене в майбутньому.

Слід зазначити, що безупинний розвиток практики виключає можливість перетворення знання в абсолютне, але абсолютність практики дозволяє підтвердити об'єктивність знання.

Таким чином, єдино науковим критерієм знань про дійсність є суспільна практика. При цьому передбачається діяльність не окремої людини, не поодинокі випадки впливу людей на навколишній світ, а досвід усього людства в його історичному розвитку.

Пізнання містить у собі два рівні: почуттєвий і раціональний. Почуттєве пізнання формує емпіричне знання, а раціональне - теоретичне.

Почуттєве пізнання забезпечує безпосередній зв'язок людини з навколишньою дійсністю. Елементами почуттєвого пізнання є відчуття, сприйняття, представлення й уява.

Відчуття – це відображення мозком людини властивостей чи предметів явищ об'єктивного світу, що діють на його органи почуттів.

Сприйняття – це відображення мозком людини предметів чи явищ в цілому, причому таких, котрі діють на органи почуттів у даний момент часу. Це почуттєвий первинний образ предмета чи явища.

Представлення - вторинний образ предмета чи явища, яке у даний момент часу не діє на органи почуттів людини, але обов'язково діяло в минулому. Це образи, що відновлюються за збереженими у мозку слідами минулих впливів предметів чи явищ. Це з'єднання і перетворення різних представлень у цілу картину нових образів.

Раціональне пізнання доповнює і випереджає почуттєве, сприяє усвідомленню сутності процесів, розкриває закономірності розвитку. Формою раціонального пізнання є абстрактне мислення.

Абстрактне мислення – це опосередковане й узагальнене відображення в мозку людини істотних властивостей, причинних відносин і закономірних зв'язків між об'єктами чи явищами. Опосередкований характер мислення полягає в тому, що людина через доступні органам почуттів властивості, зв'язки і відносини предметів проникає в їх приховані властивості, зв'язки, відносини.

Людина пізнає дійсність не тільки в результаті свого особистого досвіду, але і непрямим шляхом, засвоюючи інший досвід в процесі спілкування з іншими людьми. Мислення нерозривно пов'язано з мовою і не може здійснюватися поза нею. Дійсно, основний інструмент мислення - логічні міркування людини, структурними елементами яких (і формами логічного відображення дійсності) є поняття, судження, умовиводи.

Поняття – це думка, що відбиває істотні і необхідні ознаки предмета чи явища. Поняття можуть бути загальними, одиничними, збірними, абстрактними і конкретними, абсолютними і відносними.

Загальні поняття зв'язані не з одним, а з безліччю предметів. Найбільш широкі поняття зветься категоріями і до них відносять деякі філософські поняття (про форму і зміст явищ), політекономії (товар, вартість) і т.д.

Одиничні поняття відносяться завжди тільки до одного чітко визначеного предмету.

Під збірними маються на увазі поняття, що позначають цілі групи однорідних предметів, що являють собою деяку єдність, закінчену сукупність (ліс, транспортний потік і т.п.).

Конкретні поняття відносяться до конкретних предметів, а абстрактні поняття – до окремо узятих ознак цих предметів, наприклад «білі предмети». Особливістю відносних понять є те, що вони завжди мисляться попарно, наприклад: «правий» і «лівий», «начальник» і «підлеглий».

Абсолютними називають такі поняття, що не мають парних відносин, наприклад «планета», «будинок», «дерево».

По ознаці відносин між поняттями їх поділяють на тотожні, рівнозначні, підлеглі, супідрядні, частково узгоджені, суперечні і протилежні.

Тотожними називають такі поняття, що мають однаковий зміст. Це ті самі поняття, тільки виражені в різній словесній формі. Рівнозначні поняття мають той самий обсяг, але відрізняються по змісту.

Поняття характеризуються їх обсягом і змістом. Обсяг поняття – це коло тих предметів, на які дане поняття поширене. Змістом називають сукупність ознак, що об'єднані в даному понятті.

Відносини тотожності і рівнозначності понять мають надзвичайно важливе значення в науці, тому що уможливають заміщення одного поняття іншим. Ця операція широко використовується в математиці при перетворенні і спрощенні алгебраїчних співвідношень.

Підлеглими називають поняття, що за змістом входять у поняття більш високого рангу чи більш загальні. Супідрядними є поняття, зв'язані за обсягом (обсяг двох чи більш понять входить в обсяг якого-небудь вищого поняття). Наприклад, поняття «багатокутник» і «коло» є підлеглими поняттю «геометрична фігура» і супідрядними між собою. Якщо окремі частини понять об'єкта виявляються співпадаючими, загальними, то їх називають частково згодними.

Поняття, що заперечує позитивне поняття, називають суперечним. Наприклад, поняття «не людина» заперечує позитивне поняття «людина». Суперечні поняття не допускають нічого проміжного – одне поняття начисто виключає інше. Якщо поняття вказує не тільки на те, що заперечує, але і на те, що затверджується, то таке поняття називають протилежним. У протилежних понять маються середні і проміжні поняття. Таким, між поняттями «білий» і «чорний» є поняття «сірий».

Для опису процесу формування нових складних понять з більш простих використовується спосіб висновку складних співвідношень з елементарних.

Розкриття змісту поняття називають його визначенням. Останнє повинне відповідати двом найважливішим ознакам:

- 1) визначення повинне вказувати на найближче родове поняття;
- 2) визначення повинне вказувати на те, чим дане поняття відрізняється від інших понять. Так, визначаючи поняття «квадрат», потрібно вказати на те, що квадрат відноситься до роду прямокутників і виділяється серед прямокутників ознакою рівності своїх сторін. Визначення поняття не повинне бути ні занадто широким, ні занадто вузьким, тобто розмірним і не повинне визначатися самим собою.

Розвиток наукових знань змушує уточнювати визначення понять, вносити нові ознаки в його зміст. При цьому поняття узагальнюються чи обмежуються. У науковому дослідженні визначення звичайно завершують процес дослідження, закріплюють результати, до яких прийшов учений.

Без визначення понять можливе хибне тлумачення думок автора дослідження. Визначення поняття виявляється можливим у тому випадку, коли ми знаємо, до якого роду воно відноситься і які в нього типові ознаки. Встановлення видових ознак здійснюється за допомогою розподілу поняття. Розподілом поняття називається розкриття усіх видів, що входять до його складу.

Розподіл підкоряється наступним правилам:

1) члени розподілу повинні вичерпувати обсяг розділеного поняття;

2) розподіл повинен вироблятися на основі однієї визначеної підстави;

3) члени розподілу повинні виключати один одного.

Підставою розподілу називається та ознака, що є загальною усім видам, що входять в обсяг даного поняття. Особливим видом розподілу понять є дихотомія, чи двочленний розподіл, при якому членами розподілу бувають тільки два поняття, з яких одне є суперечним у відношенні до іншого.

Судження – це думка, у якій за допомогою зв'язку понять затверджується чи заперечується що-небудь. У мові судження виражається у вигляді пропозиції. Судження – це зіставлення понять, що встановлюють об'єктивний зв'язок між предметами і їхніми ознаками чи між предметом і класом предметів.

Судження поділяються за наступними ознаками: якості, кількості, відношення, модальності. У свою чергу, за якістю судження поділяються на: стверджувальні і заперечливі, на загальні, часткові і одиничні, на категоричні і проблематичні, умовні і розділові.

У проблематичних судженнях наявність зв'язку понять відзначається лише з відомим ступенем ймовірності. В аподиктичних судженнях указується, що зв'язок понять є безумовно необхідним.

З'єднання суджень за кількістю і якістю приводить до чотирьох нових видів суджень: загально стверджувального, загально негативного, частково позитивного і частково негативного.

До судження про предмет чи явище людина може прийти шляхом безпосереднього спостереження якого-небудь факту або опосередковано з допомогою умовиводу.

Умовивід – процес мислення, що складає послідовність двох чи декількох суджень, у результаті яких виводиться нове судження.

Часто умовивід називають висновком, через який стає можливим перехід від мислення до дії, практики. Разом з тим варто підкреслити, що не всяка послідовність суджень може бути названа умовиводом чи висновком. В умовиводі зв'язок двох суджень іноді виявляє підпорядкування, у силу якого одне (підстава) зумовлює інше (наслідок).

Умовиводи поділяються на дві категорії: дедуктивні й індуктивні. Дедуктивні умовиводи являють собою виведення часткового випадку з якого-небудь загального положення. В індуктивних умовиводах на підставі окремих випадків приходять до загального положення.

Умовиводи підрозділяються також на безпосередні й опосередковані. У безпосередніх умовиводах від одного судження приходять до іншого. В опосередкованих судженнях перехід від одного судження до іншого здійснюється за посередництвом третього. Якщо в процесі умовиводу змінюється форма судження, то говорять про її перетворення, наприклад, стверджувальне судження стає заперечливим, або навпаки. При цьому зміст і кількість судження зберігаються. Поняття, судження й умовиводи виражаються в словесній формі.

У процесі наукового дослідження можна відзначити наступні етапи: виникнення ідей; формування понять, суджень; висування гіпотез; узагальнення наукових факторів; доказ правильності гіпотез і суджень.

Наукова ідея - інтуїтивне пояснення явища без проміжної аргументації, без усвідомлення всієї сукупності зв'язків, на підставі якого робиться висновок. Вона базується на вже наявному знанні, але розкриває раніше не помічені закономірності. Свою специфічну матеріалізацію ідея знаходить у гіпотезі.

Гіпотеза – це припущення про причину, що викликає даний наслідок. Якщо гіпотеза погоджується з фактами, що спостерігаються, то в науці її називають теорією чи законом. У процесі пізнання загальна гіпотеза піддається перевірці, в результаті якої встановлюється, дійсно чи ні збігаються факти з явищами, що спостерігаються,

або чи не суперечить дана гіпотеза ніяким іншим гіпотезам, що вважаються вже доведеними.

Для підтвердження правильності гіпотези необхідно переконатися не тільки в тому, що вона не суперечить дійсності, але й у тому, що вона є єдиною можливою і з її допомогою вся сукупність явищ, що спостерігаються, знаходить собі цілком достатнє пояснення.

З нагромадженням нових фактів одна гіпотеза може бути замінена іншою лише в тому випадку, якщо ці нові факти не можуть бути пояснені старою гіпотезою чи їй суперечать. При цьому часто стара гіпотеза не відкидається цілком, а тільки виправляється й уточнюється. В міру уточнення і виправлення гіпотеза перетворюється в закон.

Закон - внутрішній істотний зв'язок явищ, що обумовлює їх необхідний закономірний розвиток. Закон виражає визначений стійкий зв'язок між явищами чи властивостями матеріальних об'єктів.

Закон, знайдений шляхом здогаду, повинний бути потім логічно доведений, тільки тоді він визнається наукою. Для доказу закону наука використовує судження, що були раніше визнані незаперечливими і з яких логічно випливає доказуване судження. Зрідка, як виняток, виявляються доказовими суперечливі судження. У таких випадках говорять про виникнення парадокса в науці, що завжди свідчить про наявність помилок у логіці доказу чи неспроможності вихідних суджень у даній системі знань.

Парадокс у широкому понятті – це твердження, що різко розходиться з загальноприйнятою, сталою думкою, заперечення того, що вбачається «безумовно правильним».

Парадокс у вузькому понятті – це два протилежних твердження, для кожного з яких маються переконливі аргументи, які наводяться.

Парадоксальність є характерною рисою сучасного наукового пізнання світу. Наявність парадоксів стає свідченням неспроможності існуючих теорій, вимогою подальшого їхнього удосконалювання.

Виявлення і вирішення парадоксів у сучасній науці - звичайна справа. Основні шляхи їхнього вирішення: усунення помилок у логіці доказів; удосконалювання вихідних суджень у даній системі.

Для запобігання помилок логіки доказу потрібно виконання законів формальної логіки: закону тотожності, закону протиріччя; закону виключення третього і закону достатньої підстави.

Теорія – система узагальненого знання, пояснення тих чи інших сторін дійсності. Теорія є відображенням і відтворенням реальної дійсності. Вона виникає в результаті узагальнення пізнавальної діяльності і практики. Це узагальнений досвід у свідомості людей.

Структуру теорії формують принципи, аксіоми, закони, судження, положення, поняття, категорії і факти. Під принципом у науковій теорії розуміється саме абстрактне визначення ідеї (початкова форма систематизації знань). Це правило, що виникло в результаті суб'єктивно осмисленого досвіду людей. Вихідні положення наукової теорії називаються постулатами чи аксіомами.

Аксіома (постулат) – це положення, що прийнято в якості вихідного (без доказу), в даній теорії, і з якого виводяться всі інші пропозиції і висновки теорії за заздалегідь фіксованими правилами. Аксіоми очевидні без доказу. У сучасній логіці і методології науки постулат і аксіома звичайно використовуються як еквівалентні терміни.

Теорія складається з відносно твердого ядра і його захисного поясу. У ядро входять основні принципи. Захисний пояс теорії містить допоміжні принципи.

Закон тотожності – це усвідомлення і утримання думки про який-небудь предмет, яка повинна бути строго визначена і залишатися постійною в процесі міркування про нього.

Закон протиріччя обумовлює процес міркування про який-небудь визначений предмет положенням, яке не можна одночасно стверджувати і заперечувати, бо обидва судження не можуть бути разом правильними.

Закон виключення третього – це те, що у процесі міркування необхідно доводити справу до визначеного ствердження чи заперечення, у цьому випадку позитивним виявляється одне з двох заперечливих одне до одного суджень. Цей закон має силу лише за умови дотримання закону тотожності і протиріччя.

Закон достатньої підстави – це коли у процесі міркування достовірними варто вважати лише ті судження, щодо істинності яких можуть бути приведені достатні гіпотези, що конкретизують її ядро. Цей рівень визначає проблеми, що підлягають подальшому дослідженню, передбачає факти, які не погоджуються з теорією, і витлумачує їх так, що вони перетворюються в приклади, які її підтверджують.

Теорія є найбільш розвиненою формою узагальненого наукового пізнання. Вона вміщує в собі не тільки знання основних законів, але і пояснення фактів на їхній основі. Теорія дозволяє відкрити нові закони і прогнозувати майбутнє.

Рух думки від незнання до знання керується методологією. **Методологія** це філософське навчання про методи пізнання і перетворення дійсності, застосування принципів світогляду до процесу пізнання, духовної творчості і практики.

У методології виявляються дві взаємозалежні функції:

1) обґрунтування правил застосування світогляду до процесу пізнання і перетворення світу;

2) визначення підходу до явищ дійсності. Перша функція загальна, друга – часткова.

Загальна функція базується на узагальненні системи поглядів людини на світ у цілому, на місце окремих явищ у світі і на своє власне місце в ньому залежно від сукупності наукових, політичних, правових, моральних, релігійних, естетичних переконань.

Пізнання є вічне, нескінченне наближення мислення до об'єкта.

Одним з основних завдань пізнання є виявлення причин зміни і розвитку конкретних явищ і процесів. Діалектичний підхід до пізнання вказує, що джерелами, причинами розвитку є внутрішні протиріччя і боротьба протилежностей, які складають основу процесів об'єктивної дійсності.

У цих процесах єдність завжди відносна, тимчасова, а боротьба взаємовиключних протилежностей абсолютна, як абсолютний розвиток кожного явища, його руху.

Протилежності в науці виявляються в різних формах, що впливають з конкретно поставлених задач. Це нове і старе, позитивне і негативне, революційне і консервативне. Нове, позитивне і революційне, як більш досконале, пробиває собі дорогу в боротьбі зі старим, віджилим. Не розуміючи цього і не вивчаючи з позицій цього закону факти і явища – дослідник ніколи не підійде до істини.

Не менш важливим у процесі пізнання є питання про те, як на основі зовнішнього впливу йде процес ускладнення структури досліджуваного об'єкта чи явища, як з'являються нові якості?

Поступальний характер, наступність і тенденції розвитку об'єкта дозволяють розкрити третій закон діалектики “заперечення запе-

речення”. Заперечення не відкидає всі старі уявлення і погляди, заперечується те, що вичерпало можливості росту (що застаріло, віджило), і утримується те, що росте і розвивається.

Одним актом заперечення процес діалектичного руху не завершується. Після першого заперечення в силу дії інших законів діалектики, зокрема закону єдності і боротьби протилежностей, у свідомості дослідника виникають нові погляди. Боротьба між ними приведе до наступного заперечення і т.д. Настає “заперечення заперечення”.

Діалектична методологія завжди спирається на конкретні знання. Дослідник, науковець повинен мати достатній запас і рівень знань та вміти застосовувати діалектичну методологію до рішення конкретних наукових проблем.

4.3 Наукові документи і видання

Структурною одиницею, що характеризує інформаційні ресурси й інформаційні продукти з кількісної сторони, є науковий документ, під яким розуміється матеріальний об'єкт, що містить науково-технічну інформацію і призначений для її збереження і використання.

Залежно від способу подання інформації розрізняють документи: текстові (книги, журнали, звіти й ін.), графічні (креслення, схеми, діаграми), аудіовізуальні (звукзаписи, кіно- і відеофільми), машиночитабельні (наприклад, такі що утворюють комп'ютерні бази даних), на мікро-фотоносіях та ін. Крім того, документи поділяються на первинні (які містять безпосередні результати наукових досліджень і розробок, нові наукові відомості чи нове осмислення відомих ідей і фактів) і вторинні (які містять результати аналітико-синтетичної і логічної переробки одного чи декількох первинних документів чи відомостей про них).

4.3.1 Первинні документи і видання

Як первинні, так і вторинні документи підрозділяються на опубліковані (видання) і не друквані. З розвитком інформаційних технологій це розмежування стає усе менш істотним. У зв'язку з наявністю в документах, які не надруковані цінної інформації, що випереджає відомості в опублікованих виданнях, органи науково-технічної інформації (НТІ) прагнуть оперативно поширювати ці документи за допомогою новітніх засобів.

У числі первинних документів:

– книги (неперіодичні текстові видання обсягом понад 48 сторінок);

– брошури (неперіодичні текстові видання обсягом понад чотири, але не більш 48 сторінок). Книги і брошури поділяються на платні і безкоштовні, а також на наукові, навчальні, офіційно-документальні, науково-популярні і, нарешті, за галузями науки і наукових дисциплін.

Серед книг і брошур важливе наукове значення мають монографії, що містять всебічне дослідження однієї проблеми чи теми і належать одному чи декільком авторам, і збірники наукових праць, що містять ряд добуктів одного чи декількох авторів, реферати й різні офіційні чи наукові матеріали.

Для навчальних цілей видаються підручники і навчальні посібники (навчальні видання). Це неперіодичні видання, що містять систематизовані відомості наукового і прикладного характеру, викладені у формі, зручній для викладання і вивчення.

Деякі видання, надруковані від імені державних чи громадських організацій, установ і відомств, називаються офіційними. Вони містять матеріали законодавчого, нормативного або директивного характеру.

Найбільш оперативним джерелом НТІ є періодичні видання, що виходять через визначені проміжки часу, постійним для кожного року числом номерів. Традиційними видами періодичних видань є газети, журнали.

До періодичних відносяться також видання, що виходять через невизначені проміжки часу у міру нагромадження матеріалу. Звичайно, це збірники наукових праць інститутів, вузів, наукових суспільств, які друкуються без визначеної періодичності під загальним заголовком «Праці», «Учені записки», «Вісті» і ін.

До спеціальних видів технічних видань прийнято відносити нормативно-технічну документацію, що регламентує науково-технічний рівень і якість продукції, що випускається (стандарти, інструкції, типові положення, методичні вказівки й ін.). Стандарти – нормативно-технічний документ, що встановлює комплекс норм, правил, вимог до об'єкта стандартизації і затверджений компетентним органом. У країні діють наступні категорії стандартів: державні; галузеві і стандарти підприємств (об'єднань).

Залежно від змісту стандарти включають: технічні умови і вимоги, параметри і розміри, типи, конструкції, марки, сортаменти,

правила приймання, методи контролю, правила експлуатації і ремонту, типові технологічні процеси і т.п.

За належністю стандарти поділяються на вітчизняні, національні, закордонних країн, фірм і асоціацій, міжнародних організацій (наприклад, Міжнародної організації мір і ваг і т.д.).

Важливе значення для постановки науково-дослідних робіт має патентна документація, що являє собою сукупність документів, які містять відомості про відкриття, винаходи й інші види промислової власності, а також відомості про охорону прав винахідників. Патентна документація має високу ступінь вірогідності, тому що піддається ретельній експертизі на новизну і корисність.

Первинні неопубліковані документи можуть бути розмножені в необхідній кількості екземплярів і користатися правами видань (рукописи і коректурні відбитки є проміжними етапами поліграфічного процесу і не відносяться до наукових документів). До основних видів первинних документів, які не публікуються, відносяться науково-технічні звіти, дисертації, депоновані рукописи, наукові переклади, конструкторська документація, інформаційні повідомлення про проведені науково-технічні конференції, з'їзди, симпозиуми, семінари.

Вторинні документи і видання поділяють на довідкові, оглядові, реферативні і бібліографічні.

У довідкових виданнях (довідники, словники) містяться результати теоретичних узагальнень, різні величини і їхні значення, матеріали виробничого характеру.

В оглядових виданнях міститься концентрована інформація, отримана в результаті добору, систематизації і логічного узагальнення зведень з великої кількості першоджерел за визначеною темою за визначений проміжок часу. Розрізняють огляди аналітичні (які містять аргументовану оцінку інформації та рекомендації з її використання) і реферативні (що носять більш описовий характер). Крім того, працівники бібліотек часто готують бібліографічні огляди, що містять характеристики первинних документів як джерел інформації, що з'явилися за визначений час чи об'єднаних якою-небудь загальною ознакою.

Реферативні видання (реферативні журнали, реферативні збірники) містять скорочений виклад первинного документа чи його частини з основними фактичними зведеннями і висновками. Реферативний журнал – це періодичне видання журнальної чи карткової форми, що містить реферати опублікованих документів (чи їхніх частин). Ре-

феративний збірник – це періодичне чи неперіодичне видання, що містить реферати неопублікованих документів (у них допускається включати реферати опублікованих закордонних матеріалів).

Бібліографічні покажчики є виданнями книжкового чи журнального типу, що містять бібліографічні описи видань, що вийшли з друку. Залежно від принципу розташування бібліографічних описів покажчики поділяються на систематичні (описи розташовуються за областями науки і техніки відповідно до тієї чи іншої системи класифікації) і предметні (описи розташовуються в порядку перерахування найважливіших предметів відповідно до предметних рубрик, розташованими за абеткою).

Вторинні недруковані документи включають реєстраційні й інформаційні картки, облікові картки дисертацій, покажчики депонованих рукописів і перекладів, картотеки, інформаційні повідомлення. До них прийнято відносити також вторинні документи, що публікуються, але розсилаються за підпискою.

4.3.2 Класифікація документів

Традиційним засобом упорядкування документальних фондів є бібліотечно-бібліографічні класифікації. Найбільше поширення одержала Універсальна десяткова класифікація (УДК), що використовується більш ніж у 50 країнах світу і юридично є власністю Міжнародної федерації по документації (МФД), відповідальною за подальшу розробку таблиць УДК, їхній стан і видання.

У колишньому СРСР УДК уведена з 1963р. як єдина система класифікації всіх публікацій за точними, природничими науками і техніці. УДК є міжнародною універсальною системою, що дозволяє детально уявити зміст документальних фондів і забезпечити оперативний пошук інформації, має можливість подальшого розвитку й удосконалювання.

Важливими рисами УДК є охоплення всіх галузей знань, можливість необмеженого розподілу на підкласи, індексація арабськими цифрами, наявність розвиненої системи визначників та індексів.

УДК складається з основної і допоміжної таблиць. Основна таблиця містить поняття і відповідні їм індекси, за допомогою яких систематизують людські знання. Перший ряд ділення основної таблиці УДК має наступні класи: Загальний відділ. Наука. Організація. Розумова діяльність. Знаки і символи. Документ і публікації; 1 – Філософія; 2 – Релігія; 3 – Економіка. Праця. Право; 4 – вільний з 1963 р.; 5 – Математи-

ка. Природничі науки; 6—прикладні науки. Медицина. Техніка; 7 – Мистецтво. Прикладне мистецтво. Фотографія. Музика; 8 – Мовознавство. Філологія. Художня література. Літературознавство; 9 – Краєзнавство. Географія. Біографія. Історія.

Кожний із класів розділений на десять розділів, що, у свою чергу, поділяються на десять більш дрібних підрозділів і т.д. Для кращої наочності і зручності читання всього індексу після кожних трьох цифр, починаючи ліворуч, ставиться крапка (при читанні вона не вимовляється, а відбивається паузою).

Усередині кожного розділу застосовується ієрархічна побудова від загального до часткового з використанням того ж десятикового коду. Деталізація понять здійснюється за рахунок подовження індексів, при цьому кожна наступна цифра, що приєднується, не змінює значення і змісту попередніх, а лише уточнює їх, позначаючи більш часткове, вузьке поняття. Наприклад: 5 – Математика. Природничі науки; 53 – Фізика, 536 – Термодинаміка і т.д.

Поряд з основною таблицею в УДК маються допоміжні таблиці визначників, що дозволяють проводити подальшу деталізацію індексів. Ці визначники відбивають загальні, повторювані для багатьох предметів ознаки. Визначники поділяються на спеціальні, використовувані тільки у визначеному розділі схеми, і загальні, що застосовуються у всіх її розділах.

Загальні визначники УДК відбивають категорії й ознаки, застосовувані у всій системі: час (лапки), місце (дужки), мова (знак рівності), матеріали (дефіс, нуль, три), обличчя (дефіс, нуль, п'ять), раси і народи (дужки, рівність), форму і характер матеріалу (дужки, нуль); точки зору (крапка, нуль, нуль).

Основні символи спеціальних роздільників наступні: дефіс – служить для позначення елементів, складових частин, властивостей і інших ознак предметів, які відображені основними індексами УДК (наприклад, у розділах 62/69 визначники –1/–9 служать для визначення технологічних характеристик і деталей машин, у розділах 82/89 – для позначення літературних форм, жанрів і т.д.); 0 (крапка, нуль) – відбиває аспект розгляду, діяльність, процеси, операції, машини й устаткування і т.д. (наприклад, 621.7.019 Дефекти обробки. Дефекти виробів і їхній контроль); ' (апостроф) – служить для створення комплексних понять за допомогою злиття складових елементів, викорис-

товується в розділах хімії і хімічної технології, металургії, геології (наприклад, 546.32 ' 267 Ціаністий калій).

Для відображення відносин (зв'язків) між поняттями використовуються знаки з'єднань, що дозволяють поєднувати часткові поняття і розширювати нові поняття від часткового до загального. Найбільш розповсюджені види з'єднань індексів УДК: приєднання (+), вимовляється як «плюс» чи «і» використовується для об'єднання двох чи більш незалежних один від одного понять (наприклад, 629.76+629.73 Авіація і ракетна техніка); поширення (/), вимовляється як «коса риска» чи «від і до», використовується для узагальнення ряду послідовних індексів, що не мають загального індексу (наприклад, 622.332/335 Вугілля, що включає бурі вугілля, лігніти, кам'яні вугілля й антрацит); відношення (:), вимовляється як «двокрапка» чи «відношення до», використовується як для вираження відносини між двома поняттями, так і для подальшого підрозділу індексів основної таблиці (наприклад, 31:63 Сільськогосподарська статистика, де 31 - статистика, а 63 - Сільське господарство).

Для полегшення роботи з таблицями УДК до них додається алфавітно-предметний покажчик, за допомогою якого за поняттями можна визначити їхнє місцезнаходження в схемі. Поняття в покажчику розташовані за абеткою, праворуч від кожного поняття поданий відповідний індекс.

Розглянуті джерела інформації утворюють систему наукових документів і видань, для якої характерні визначені закономірності, що відбивають розвиток науки. Установлено ряд загальних закономірностей, що характеризують ріст і старіння документів.

Збільшення числа журналів і кількості статей, що містяться в них, в основному характеризується експонентною залежністю з різними показниками для різних наукових областей. Так, наприклад, збільшення числа бібліографічних журналів за останні 200 років характеризується експонентною залежністю з подвоєнням за 18 років, а журналів – з подвоєнням за 28 років.

Старіння документів полягає в тому, що зі збільшенням термінів з часу випуску видань вони втрачають цінність як джерела інформації і з цієї причини усе менше використовуються вченими і фахівцями.

Поряд з дослідженням загальних закономірностей росту і старіння документів, аналіз і статистична обробка джерел інформації дозволяють одержати картину стану і розвитку конкретних наукових

напрямоків (на основі аналізу структури документального потоку) і виявити взаємозв'язок між окремими науковими дисциплінами (напрямами), країнами, школами, колективами і вченими. Результати аналізу баз даних за запитами споживачів - спеціальний вид інформаційних продуктів, що в міру оснащення органів НТІ обчислювальною технікою, відповідним програмним забезпеченням і ресурсами Інтернету одержує усе більше поширення.

4.3.3 Державна система науково-технічної інформації

Державна система науково-технічної інформації являє собою складну систему, основними принципами створення і розвитку якої є централізація в переробці інформаційних ресурсів і в керуванні системою; децентралізація і доведення інформаційних продуктів до споживачів; спеціалізація в розподілі функцій між органами НТІ як при розподілі потоків інформації, так і при інформаційному обслуговуванні. Відповідно до цих принципів державна система науково-технічної інформації має чотириохривневу організаційну структуру:

- I – державні органи НТІ;
- II – центральні галузеві органи НТІ;
- III – міжгалузеві інститути НТІ;
- IV – територіальні центри НТІ.

Система припускає пошук у базі даних накопиченої інформації, як правило, за багато років, за разовими запитами користувачів. Більшість великих сучасних інформаційних центрів функціонують за інтегральним принципом, тобто при однократному описі, індексуванні і перетворенні документів у машиночитаему форму, забезпечують їх багаторазову і багатоаспектну обробку з подальшим використанням для виробництва різноманітних інформаційних продуктів. Автоматизовані інформаційно-пошукові системи поєднуються в інформаційні мережі (Інтернет).

Інформаційна мережа – це об'єднання інформаційних систем, взаємодіючих за допомогою каналів зв'язку на основі поділу функцій, координації, стандартизації, однократної обробки і багаторазового використання інформації. В даний час створені й активно діють ряд міжнародних інформаційних мереж. Багато держав створили національні інформаційні мережі. В Україні також активно ведуться роботи зі створення подібних мереж.

4.3.4 Науково-технічна патентна інформація

Патентна інформація має юридичну і науково-технічну основу. Патентознавство займається питаннями правової охорони і захисту пріоритету відкриттів і винаходів. Авторство охороняється законом. Результати розумової праці, застосовувані в промисловості, називають промисловою власністю. Вона розділяється на відкриття, винаходи, корисні моделі, промислові зразки, товарні знаки, фірмові найменування.

Корисна модель – це вирішення технічного завдання, яке відноситься до пристрою, має явно виражені просторові форми (обсяг, компонування) і відрізняється відносною новизною.

Під **промисловим зразком** розуміються особливості зовнішнього вигляду виробу, що виконані промисловим шляхом, додають виробу художні (естетичні) переваги і мають новизну чи оригінальність.

Товарний знак використовується на товарах споживання і має рекламну спрямованість, яка відрізняє дані товари від аналогічних товарів інших підприємств.

Щоб захистити визначений вид промислової власності, необхідно подати заявку для одержання відповідного патенту, який являє винахіднику права і пільги відповідно до чинного законодавства. Патент надає людині виключне право розпоряджатися винаходом. Патент діє тільки на визначений законом термін (15...18 років).

Патентна інформація як джерело науково-технічної інформації має найбільшу оперативність і, як правило, передує публікації інших інформаційних матеріалів, має достатню вірогідність і характеризується повнотою зведень (викладається суть відкриттів чи винаходів).

Основною науково-технічною цінністю патентної інформації є описи винаходів, що відповідно до патентного законодавства не можуть містити неправильних зведень і повинні відрізнятися новизною. Тому правильне використання патентної інформації дає можливість здійснювати нові розробки на рівні кращих світових зразків з урахуванням наявних рішень і основних тенденцій розвитку техніки. У зв'язку з цим перед початком розробки науково-дослідної теми (проблеми) необхідно попередньо провести патентні дослідження. Це комплекс робіт, що включають пошук, добір, аналіз і цілеспрямоване використання патентної інформації (патентної документації і літератури).

Під патентною документацією розуміється публікація офіційними органами різних країн зведень про відкриття, винаходи, промислові зразки, корисні моделі, товарні знаки. Зведення публікують у вигляді бібліографічних або реферативних даних чи у вигляді повних описів.

Під патентною літературою розуміються різні видання (статті, брошури, книги, журнали, замітки і т.п.), які присвячені відповідним питанням патентної, патентно-правової, патентно-ліцензійної, патентно-інформаційної і винахідницької діяльності.

Залежно від задач, розв'язуваних розроблювачами на різних стадіях НДР і ОКР, патентні дослідження мають наступні цілі: обґрунтування включення теми в план роботи організації і визначення можливих споживачів об'єкта розробки; обґрунтування вибору шляху рішення задачі і забезпечення його патентоспроможності і патентної чистоти, вибір оптимальних конструктивних і технологічних рішень, виявлення передбачуваних винаходів і їхня перевірка на новизну; оформлення заявочних матеріалів на винахід і державний захист, обґрунтування доцільності патентування створених винаходів за рубежом, перевірка об'єкта розробки і його складових частин на патентну чистоту.

Патентоспроможність – властивість технічного рішення бути захищеним як винахід на основі закону відповідної країни. Патентна чистота – це юридична властивість об'єкта, що полягає в тому, що він може бути використаний у даній країні без небезпеки порушення діючих на її території патентів відповідно до чинного законодавства.

Основний обсяг робіт з патентних досліджень (патентного пошуку) виконується відділом-розроблювачем при методичній допомозі патентного підрозділу і відділу науково-технічної інформації. При розробці регламенту пошуку обов'язки розподіляються так, що відділ-розроблювач визначає предмет пошуку (розбивка теми на складові частини), коло країн і глибину пошуку (період часу, за який проводиться пошук). Патентний підрозділ при цьому виконує роботу з класифікації предметів пошуку згідно до Міжнародної або національної класифікації винаходів, визначенню необхідних джерел інформації, обґрунтуванню видів пошуку (тематичний, іменний і т.д.). Відділ науково-технічної інформації робіт допомагає розроблювачу в класифікації предметів пошуку по УДК і надає наявні інформаційні матеріали для використання.

Джерелами інформації, які використовуються в процесі патентних досліджень, є бюлетені патентних відомств країн світу, описи винаходів, реферативна інформація з винаходів, публікації про впроваджені винаходи, рекламні матеріали, звіти про НДР, ОКР і про закордонні відрядження, а також звіти про патентні дослідження.

Найбільш оперативним джерелом патентної інформації є патентні бюлетені, у яких міститься сигнальна інформація для попереднього ознайомлення і добору потрібних патентних матеріалів: формула (анотація, реферат) винаходу з кресленням.

Опис винаходу (патентний опис) крім технічної інформації, що розкриває сутність винаходу, містить елементи, що визначають обсяг правового захисту. Наприклад, опис винаходу в Україні повинен відбивати наступні обов'язкові пункти: назва винаходу і клас Міжнародної класифікації винаходів, характеристику аналогів винаходу, характеристику і критику прототипів, ціль винаходу, сутність винаходу і його відмінні ознаки, приклади конкретного виконання і відомості про передбачувану техніко-економічну ефективність, формулу винаходу, у якій виділяються найбільш істотні його ознаки, що підлягають правовому захисту.

Залежно від завдань патентні пошуки можуть бути тематичними (предметними): пошук описів винаходів відповідно до заданої тематики; іменними (фірмовими): пошук описів винаходів по імені винахідника чи патентовласника; нумераційним: описи винаходів відбирають по номеру патенту, заявки; пошуками патентів-аналогів: описи винаходів відбираються за родовою залежністю (єдність дати пріоритету, номера пріоритетної заявки і країни пріоритету); патентно-правовими: за терміном дії патенту й інших юридичних правил, що діють у країні пошуку.

Основним засобом організації і пошуку інформації у світовому патентному фонді є системи класифікації винаходів. У ряді країн дотепер застосовуються національні класифікації винаходів. Однак ріст обсягу світового патентного фонду і розвиток міжнародного співробітництва призвели до необхідності створення єдиної класифікації – Міжнародної класифікації винаходів (МКВ). МКВ і національні класифікації винаходів (НКВ) являють собою багатоступінчасті системи розподілу понять, організовані за принципом від загального до часткового, тобто побудовані за ієрархічною схемою.

Міжнародна класифікація винаходів створювалася відповідно до положень Європейської конвенції про міжнародну патентну класифікацію (1954). МКВ періодично переглядається для удосконалення системи з урахуванням розвитку науки і техніки. Кожні п'ять років виходить чергова редакція МКВ для індексування документів поточної реєстрації. Органом по впровадженню МКВ є міжнародне бюро Всесвітньої організації інтелектуальної власності (ВОІВ). В колишньому СРСР МКВ була введена як єдина державна класифікація патентної документації в 1970 р.

МКВ охоплює всі області знань і розділяються на розділи, класи, підкласи, групи і підгрупи.

Перший класифікаційний ряд складається з восьми розділів, що, позначаються прописними латинськими буквами від А до Н. Розділ підрозділяється на класи, індекси яких складаються з індексу розділу і двохзначного числа, наприклад, А 01. Індекс підкласу складається з індексу класу і прописної латинської букви, наприклад А 01 В.

Кожен підклас розбитий на підрозділи або рубрики. Серед рубрик розрізняють основні (головні) групи і підгрупи. Індекс основної групи складається з індексу підкласу, за яким знаходиться одне, двох - чи трьохзначне число із символом 00 після косої риски, наприклад. А 01 В 1/00. Підгрупи утворюють рубрики, підлеглі основній групі. Індекс підгрупи складається з індексу підкласу, за ним міститься одне, двох - чи трьохзначний номер групи і двох - чи трьохзначний номер (замість 00) після косої риски, наприклад А 01 В 01/02.

Ступінь підпорядкованості підгрупи в групі визначається переміщенням тексту вправо і крапками, що розташовані перед текстом підгрупи і вказують на те, що підгрупа є рубрикою, яка підлегла найближчій рубриці з меншим переміщенням тексту і має індекс на один менше. Ієрархічні відносини між рубриками визначаються завжди тільки кількістю крапок, що розташовані перед текстом рубрики, а не привласненими їм індексами. Крапки, що знаходяться перед текстом рубрики ніби замінюють собою текст ієрархічно більш старших рубрик, щоб уникнути повторення.

Патентний фонд має довідково-пошуковий апарат, що включає класифікації винаходів (МКВ, НКВ), різні покажчики і таблиці відповідності. До складу покажчиків систем класифікації входить покажчик класів винаходів, що включає перелік рубрик класифікації

з вказівкою їхньої підпорядкованості і алфавітно-предметний показник, що включає перелік ключових понять (термінів), розташованих за абеткою і віднесених до них відповідних індексів системи класифікації. Крім названих складені показники, що містять бібліографічні дані про патентні документи поточної реєстрації (опису винаходів): нумераційний (описи упорядковані за номерами документів); систематичний (описи, упорядковані за індексами системи класифікації); іменний (описи, упорядковані за іменами заявників чи патентовласників); патентів-аналогів (тобто патентів, виданих у різних країнах на такий же винахід).

Таблиці відповідності індексів систем класифікації винаходів служать допоміжним матеріалом для встановлення аналогічних рубрик у різних класифікаціях. Зазвичай використовуються таблиці відповідності МКВ показнику класів винаходів конкретної країни і, навпаки, таблиці відповідності НКВ країни і МКВ.

Порядок ведення пошуку в патентних фондах залежить від особливостей організації патентного фонду конкретної країни. Зазвичай спочатку здійснюється тематичний (предметний) пошук, що доцільно починати з перегляду патентних бюлетенів країн з використанням у разі потреби відповідного патентного фонду. Потім проводиться іменний (фірмовий) пошук на основі іменних показників, видаваних патентними відомствами відповідних країн, а також різних фірмових довідників. Необхідно також врахувати, що в деяких країнах в іменні показники включаються тільки фірми-патентовласники.

Нумераційний пошук можна проводити, якщо відомий номер авторського посвідчення чи патенту і країна. Пошук від пріоритетного патенту до патентів-аналогів може використовуватися за нумераційними показниками пріоритетних заявок чи за показниками патентів-аналогів.

Патентно-правовий пошук проводиться за відповідними розділами офіційних патентних бюлетенів, за списками діючих патентів виняткового користування, довідково-інформаційними бюлетенями про зміни у фонді діючих патентів, картотеках з обліку змін термінів дії патентів у Росії, Великобританії, Німеччині, Швейцарії, США, Бельгії, Данії, Індії, Нідерландах, Норвегії, Польщі, Фінляндії, Швеції та інші. При проведенні патентно-правового пошуку варто мати на увазі, що час початку і термін дії охоронного документа визначаються

патентним законодавством конкретної країни, причому в різних країнах вони різні.

4.3.5 Організація роботи з науковою літературою

Кожному досліднику необхідно вміти шукати і відбирати потрібну літературу для своєї роботи, тобто мати знання основ бібліографії. Бібліографія має за мету задачу інформувати читача про наявні друквані видання, для чого складаються покажчики, каталоги, огляди і т.д.

Процес ознайомлення з літературними джерелами за потрібною проблематикою необхідно починати з ознайомлення з довідковою літературою (універсальні і спеціальні енциклопедії, словники, довідники). Потім проглядаються обліково-реєстраційні видання органів НТІ, бібліографічні покажчики фундаментальних бібліотек.

Власна бібліографія з потрібної проблеми складається на основі бібліотечних каталогів, що являють собою набір карток, у яких містяться зведені відомості про книги, журнали, статті і т.д. У картку книги вносяться її автор, заголовок, вид видання, місце видання, видавництво, рік видання, кількість сторінок. У картці журнальної статті вказуються автор, заголовок, назва журналу, рік видання, том, номер випуску, кількість сторінок. В картці газетної статті крім автора і заголовка приводяться назва газети, рік, число і місяць. При посиланні на документи і складанні переліку джерел необхідно звертати увагу на розділові знаки між елементами бібліографічного опису і застосовувати їх тільки так, як дано в картці.

Читацькі каталоги, що носять довідково-рекомендаційний характер, бувають трьох видів: алфавітний, систематичний і алфавітно-предметний.

Алфавітний каталог називається так тому, що його картки розташовані за абеткою прізвища авторів чи заголовків видань, якщо автор не зазначений. Завдяки цьому всі книги одного автора (індивідуального чи колективного) зібрані в одному місці, хоча в деяких випадках можливі відступи від алфавітного принципу.

Основним у бібліотеках є систематичний каталог. Картки в ньому розташовані за галузями знань. Цей каталог дозволяє підібрати літературу за визначеними галузями знань, причому за його допомогою зручно поступово звужувати межі питань дослідника. Каталог дозволяє також визначити книги, що є у фонді бібліотеки за

тією чи іншою темою, або довідатися про автора і точну назву книги, якщо відомий тільки її зміст. У систематичному каталозі бібліографічні зведення приведені в систему знань на основі застосування спеціальної бібліотечної класифікації.

Найбільше широко використовується, вже згадана вище Універсальна десяткова класифікація (УДК).

Використовується також і вітчизняна бібліотечно-бібліографічна класифікація (ББК) у найбільших універсальних бібліотеках України. Архівними установами і державними архівами нашої країни складено кілька своїх класифікаційних схем систематичного типу.

Ключем до систематичного каталогу є алфавітно-предметний каталог. У ньому за абеткою перелічуються найменування галузей знань, окремих питань і тем, по яких у відділах і підвідділах систематичного каталогу зібрана література, що мається в бібліотеці.

При складанні власної бібліографії по проблемі необхідно уважно переглядати списки літератури, що знаходяться наприкінці книг, статей і т.д., чи літературу, зазначену у виносках у вже знайдених літературних джерелах.

У процесі читання літератури обов'язково виявляються з посилань до списків використаних робіт нові джерела, тому потрібна постійна систематизація матеріалу, його упорядкування відповідно до поставленого завдання. Це можна здійснити, наприклад, за допомогою картотеки, що складається з карток і роздільників. Найкраще організувати три розділи: «Прочитати», «Виписки» і «Прочитане». Створення такої картотеки дозволяє, власне кажучи, закласти основи майбутніх наукових публікацій. Однак інформація, що міститься у відібраній для вивчення літературі, часом перевищує дійсні потреби для визначеної роботи. Звідси випливає необхідність попередньо виявляти все потрібне і відкидати зайве. Таким чином, закладаються елементи вибіркового читання (спочатку швидкий перегляд джерела, ознайомлення з назвою його розділів і лише потім докладне вивчення обраного змісту).

Важливе значення для роботи з науковою літературою має організація робочого місця. Насамперед, робоче місце й інструмент, яким людина працює, повинні бути звичні йому. Це скорочує до мінімуму час на початок засвоєння матеріалу, з'являється умовний рефлекс на робоче місце. На робочому місці не повинні з'являтися які-

небудь нові предмети (об'єкти), що привертають увагу до себе і відволікають від роботи. Бажано до початку роботи продумати й оцінити, що може знадобитися в процесі роботи, щоб потім не шукати для себе приводу перервати почату справу.

При роботі з літературними джерелами необхідно вміти правильно читати, розуміти і запам'ятовувати прочитане. Учені виявили чотири основних способи обробки інформації при читанні. Це читання: по літерах, по складах, за словами (проглядається перший склад першого слова і перші букви другого слова, інша ж частина слова угадується), по поняттях (з тексту вибираються тільки окремі ключові слова, а потім синтезується загальна думка, що міститься в одному чи декількох реченнях). Читання по поняттях характерно для людей, що мають визначені навички, великий запас знань для розуміння матеріалу і гарну пам'ять.

Для розуміння складного тексту необхідно не тільки бути уважним при читанні, мати знання і вміти їх застосовувати, але і володіти визначеними розумовими прийомами. Один з них полягає в необхідності сприймати не окремі слова, а речення і навіть цілі групи речень, тобто абзаци. Швидко читаюча людина звичайно по декількох буквах угадує слово, по декількох словах – фразу, по декількох фразах – зміст цілого абзацу.

Необхідно прагнути саме так читати досліджуваний матеріал. Для цього можна використовувати так називаний диференціальний алгоритм, відповідно до якого обробка кожного абзацу починається з виявлення ключових слів, що несуть основу змісту, після чого будуються відповідні суттєві ряди, тобто відбувається стиск тексту шляхом виділення ключових слів і утворення на їхній основі лаконічних виражень (як би просівання тексту, у підсумку якого залишаються зерна змісту).

При навчанні швидкому читанню ставиться завдання виховання нових звичок, що прискорюють читання. Перший шлях підвищення швидкості читання – виявлення схованих резервів мозку, активізація процесів мислення при читанні. Один зі шляхів рішення цієї задачі – використання алгоритмів.

Інтегральний алгоритм визначає послідовність дій при сприйнятті тексту. Слово «інтегральний» означає, що дія алгоритму поширюється на весь текст у цілому. Для використання інтегрального алгоритму необхідно знайти і запам'ятати всі блоки тексту і, відповідно,

зосередити увагу при читанні на змістовних елементах тексту, що значно скорочує час обробки неінформативних елементів.

При освоєнні методики швидкого читання необхідно відучитися від підсвідомого проказування й опанувати прийомами читання, при яких сприйняття тексту відбувається великими інформативними блоками. Цьому сприяє така техніка читання, при якій очі читаючого рухаються з невеликою швидкістю вертикально зверху вниз за уявлюваною лінією, яка проведена по центру сторінки без рухів по рядку ліворуч, праворуч і назад. При швидкому читанні рух ока більш економічний, оскільки очі проходять усю сторінку тексту найкоротшим шляхом: прямою вертикальною лінією. Для того щоб практично здійснити такий спосіб читання, необхідно мати добре розвинутий периферичний зір. Якщо в процесі швидкого читання зустрічається істотно нова інформація, можливе відхилення погляду читаючого від вертикальної лінії.

Читання інформаційного матеріалу повинне завершуватися запам'ятовуванням. Це процес пам'яті, в результаті якого відбувається закріплення нового шляхом зв'язування з уже придбаним раніше. Характерною рисою запам'ятовування є його вибірковість. Відповідно до напрямку діяльності розрізняють два види запам'ятовування: мимовільне (ненавмисне) і довільне (запам'ятовування за допомогою відповідних дій, метою яких є саме запам'ятовування). Важливу роль у довільному запам'ятовуванні грають мотиви, що спонукують запам'ятовувати, і раціональні прийоми запам'ятовування.

Для довільного запам'ятовування важливо, щоб прочитаний матеріал був зрозумілий, розуміння визначає інтерес до діяльності, гарантує емоційний підйом, що і сприяє ще більш глибокому запам'ятовуванню. Разом з тим треба вміти зосереджувати увагу на досліджуваному матеріалі. Спостережливість і пам'ять жорстко зв'язані. Виховуючи увагу, можна поліпшити спостережливість і пам'ять.

Необхідно також свідомо поставити мету запам'ятовування. Процес запам'ятовування вимагає великих зусиль від людини і без сформованої мети коефіцієнт корисної дії запам'ятовування виявляється дуже малим.

Матеріал, що запам'ятовується, варто логічно осмислити: скласти план матеріалу, що заучується, розбити його на частини, виділити в них опорні пункти, за якими легко асоціюється весь зміст

даної частини матеріалу. При цих умовах матеріал здобуває чітку упорядковану форму і краще запам'ятовується.

У процесі запам'ятовування доцільно включати всі аналізатори (усі види пам'яті) і використовувати прийоми «мнемотехніки», суть яких полягає в створенні всяких штучно видуманих зв'язків.

Багато хто, наприклад, знає російську фразу «каждый охотник желает знать, где сидит фазан», перші букви якої допомагають розкрити послідовність барв у спектрі (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый).

Корисно також повторення матеріалу, що запам'ятовується.

Процес читання не завжди можна сполучити з одночасною випискою необхідних зведень. У таких випадках можна користатися при читанні визначеною системою поміток на полях книги чи журналу. Можна, наприклад, ставити букви: Л - там, де зазначена цікава література, Т - термін, Ц - цитата і т.д.

При роботі з літературою використовуються виписки (обов'язкова умова виписки - точна вказівка джерела і місця, звідки це виписано). Доцільно виписки робити на картках, що полегшує їхнє збереження і використання. При заповненні карток варто враховувати, що два самостійних питання заносити на ту саму картку не можна, тому що це утруднить їхню класифікацію і збереження.

Картка повинна містити позначення її змісту, номер чи шифр, що вказує її місце в картотеці, дату заповнення, бібліографічні дані. Записи на картці варто розташовувати на одній стороні, вони повинні бути чіткими і досить повними.

При виписуванні цитат необхідно зберігати абсолютну точність при передачі думок автора його словами і виразами, ставити їх у лапках. Пропуски в цитаті допускаються (відзначаються крапками), але вони не повинні змінювати змісту вислову. Цитата обов'язково повинна супроводжуватись вказівкою джерела.

Однією з форм збереження інформації є вирізки з газет і журналів. Для систематизації необхідно мати картотеку вирізок із вказівкою джерела на кожній вирізці.

У процесі роботи над досліджуваним матеріалом часто складається план з метою більш чіткого виявлення логічної структури тексту, запису системи, у якій даний автор викладає матеріал підготовки до виступу а також для написання якої-небудь роботи, запису своїх думок з новою систематизацією матеріалу.

У плані можуть зустрічатися окремі цифри й інші фактичні зведення, які хоча і не є власне планом, але допомагають у майбутньому його використанні (наприклад, при виступі).

При проробленні нового матеріалу корисно складати конспект. Це стиснутий виклад самого найістотнішого у даному матеріалі. Конспект повинен бути коротким з точністю у відображенні думок автора своїми словами. Іноді можна скористатися і словами автора, обов'язково оформляючи їх як цитату.

Максимально точно записуються: формули, визначення, схеми, важкі для розуміння місця, від яких залежить розуміння головного, усе нове, незнайоме, чим часто прийдеться користатися і що важко одержати з інших джерел, а також цитати, статистика.

Важливо також уміти виконувати наукове реферування матеріалу і складання наукового огляду. Це короткий виклад первинного документа (чи його частини) з основними фактичними відомостями і висновками. В результаті виходить реферат, що містить тему, предмет (об'єкт) досліджень, мету, метод проведення роботи, отримані результати, висновки, область застосування.

Науковий огляд – це текст, що містить синтезовану інформацію зведеного характеру за яким-небудь питанням чи ряду питань, отриману з деякої кількості спеціально відібраних для цієї мети первинних документів. Огляди розрізняються за предметами аналізу, метою складання, призначенням, видами використаних першоджерел, широтою тематики, наявністю прогнозів, періодичністю підготовки, функціональним призначенням в документальній системі, характером оформлення й ін.

Огляд повинен містити наступні елементи: реферат, вступну частину, аналітичну частину, висновки (обов'язкові елементи); рекомендації і додаток (необов'язкові елементи).

Наукові огляди публікують у вигляді статей у журналах, у працях конференцій і симпозіумів а також у монографіях і науково-технічних звітах та інших виданнях.

4.3.6 Оформлення заявки на передбачуваний винахід

Останнім часом патентне право перетворюється на один з ефективних механізмів регулювання соціальної, економічної та науково-технічної політики. Це викликано впливом процесів глобалізації світової економіки, що сприяють розширенню закордонного патентування і розвитку міжнародних ринків.

Патентування є необхідною попередньою умовою передачі або одержання нової техніки і технології. При цьому інформація про винахід, що стала у результаті патентування надбанням усього суспільства, сприяє створенню нових технічних рішень, у тому числі й в інших галузях техніки.

Правова охорона винаходів і корисних моделей здійснюється на основі національного патентного законодавства, а також відповідних міжнародних угод і союзів, учасником яких є кожна держава.

Патентне право регулює відносини, що виникають у зв'язку зі створенням і використанням винаходів, корисних моделей і промислових зразків, які мають конкретних авторів. Охорона відповідних авторських прав здійснюється за допомогою єдиної форми – видачі патентів.

Права на винахід оформляються за допомогою складання, подачі і розгляду заявки на видачу патенту на винахід уповноваженим відомством відповідно до чинних законодавчих актів.

Винахідник має право на подачу заявки й одержання патенту в таких випадках:

- якщо винахід не є службовим;
- винахід є службовим, але умовами договору між винахідником і роботодавцем передбачене право винахідника на одержання патенту;
- роботодавець протягом визначеного терміну з дати повідомлення про створення службового винаходу не подає на нього заявки.

Законодавствами всіх країн передбачено, що якщо розробка створена колективною творчою працею, право на подачу заявки належить спільно всім авторам, і відсутність кого-небудь з них на момент подачі заявки приведе до неможливості одержання патенту.

Заявка на видачу патенту на винахід подається в патентне відомство фізичними або юридичними особами, що мають на це право за законом, будь-яким передбаченим законодавством способом.

Патентне відомство – це державний або міждержавний орган, що одержує заявки на видачу прав на промислову власність і видає такі права відповідно до чинного законодавства.

Вимоги до складу документів заявки на винахід, передбачені в законодавчих актах усіх країн, а також у міжнародних угодах, в цілому уніфіковані.

Заявка повинна містити:

- заяву про видачу патенту;
- опис винаходу;
- формулу винаходу;
- креслення й інші матеріали, якщо вони необхідні для розуміння сутності винаходу;
- реферат (анотацію).

Це основні документи заявки. У ряді випадків подаються додаткові документи.

Юридичними документами, які супроводжують подачу заявки на винахід, є такі:

- Доручення. Якщо заявка подається через патентного повіреного, його повноваження підтверджуються відповідним дорученням заявника.
- Декларація про авторство. Це заява осіб про те, що вони є дійсними і єдиними авторами винаходу і що їм не відомі особи, що створили аналогічний винахід.
- Передатний акт на винахід потрібно надавати в тому випадку, коли заявка подається від імені особи, що не є винахідником.
- Передатний акт на пріоритет підтверджує передачу прав на пріоритет одним заявником іншому.

У ряді випадків подаються додаткові документи.

Заява, яка містить прохання про видачу патенту, адресується голові патентного відомства. Вона подається на спеціальному бланку і містить відомості стосовно до самого винаходу й осіб, зазначених у заявці на винахід, – винахідника, заявника і патентного повіреного.

У цій заяві обов'язково вказують назву винаходу. Заява про видачу патенту відноситься до найважливіших документів заявки, тому що вона разом з формулою винаходу несе основне правове навантаження: визначає майнові і немайнові права на винахід.

Заява – це документ, який стверджує, хто автор або автори винаходу, ким подається заявка, кому буде належати виключне право на винахід у випадку видачі на нього патенту.

Другий важливий документ – це опис винаходу. Загальні вимоги до опису винаходу, значною мірою уніфіковані патентним законодавством.

В ньому за допомогою загальноновживаних у даній галузі термінів повинна бути цілком розкрита сутність винаходу, зазначена галузь людської діяльності, до якої він відноситься, і розкритий рівень техніки з переліком основних найбільш близьких до винаходу аналогів та виділенням з них найбільш близького до винаходу прототипу. В описі повинні бути приведені відомості про можливість промислового застосування винаходу. Якщо заявка містить креслення, в описі повинні бути короткі пояснення до них.

Звичайно опис містить такі розділи:

- галузь техніки, до якої відноситься винахід;
- рівень техніки;
- сутність винаходу;
- перелік креслень та інших матеріалів (якщо вони додаються);
- відомості, що підтверджують можливість використання винаходу.

Формула винаходу (патентна формула) – це складена за встановленими правилами коротка словесна характеристика винаходу, яка відображує його сутність. Це - найбільш важливий документ заявки, вона цілком ґрунтується на описі і повинна:

- відображувати технічну сутність винаходу;
- бути достатнім засобом установлення факту використання винаходу;
- давати фахівцям вичерпну інформацію про прогрес, якого можна досягти за допомогою цього винаходу у відповідній галузі техніки.

До складу заявки на видачу патенту на винахід можуть входити креслення й інші матеріали, якщо вони необхідні для розуміння сутності винаходу.

Реферат являє собою скорочений виклад опису і формули винаходу.

Як правило, реферат містить:

- назву винаходу;
- характеристику галузі техніки, до якої він відноситься;
- характеристику сутності винаходу із зазначенням технічного результату, що досягається.

Текст реферату може супроводжуватися основним кресленням.

Маючи на увазі, що ведення справ про видачу патентів на об'єкти промислової власності, зокрема на винаходи, і рішення інших патентно-правових питань вимагають спеціальних знань як у

відповідній галузі науки і техніки, так і у сфері патентного права, законодавство надає винахідникам право не тільки особисто вступати в патентні відносини, але і користуватися послугами патентних повірених.

Патентний повірений – це фахівець, обов'язком якого є здійснення за дорученням фізичних або юридичних осіб дій, пов'язаних з поданням заявок і одержанням охоронних документів на об'єкти промислової власності як у своїй країні, так і за її межами, а також представлення інтересів цих осіб у патентних відомствах, судових та інших інстанціях та консультування зацікавлених осіб з патентно-правових питань.

4.4 Вибір напряму наукового дослідження

Мета наукового дослідження – всебічне, достовірне вивчення об'єкта, процесу або явища; їх структури, зв'язків і відношень на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання, а також отримання і впровадження у виробництво (практику) корисних для людини результатів.

Будь-яке наукове дослідження має свій об'єкт і предмет.

Об'єктом наукового дослідження є матеріальна або ідеальна система. Предмет – це структура системи, закономірності взаємодії елементів всередині системи і поза нею, закономірності розвитку, різні властивості, якості і т.д.

Наукові дослідження класифікуються за видами зв'язку з суспільним виробництвом і ступенем важливості, цільовим призначенням, джерелами фінансування і тривалістю ведення дослідження.

За видами зв'язку з суспільним виробництвом наукові дослідження поділяються на роботи, які спрямовані на створення нових технологічних процесів, машин, конструкцій, підвищення ефективності виробництва, поліпшення умов праці, розвиток особистості людини і т.п.

За цільовим призначенням виділяють три напрямки наукових досліджень: фундаментальні, прикладні і розробки.

Фундаментальні дослідження спрямовані на відкриття і вивчення нових явищ і законів природи, на створення нових принципів дослідження. Їх метою є розширення наукового знання суспільства, встановлення явища, що може бути використано в практичній діяльності людини. Такі дослідження ведуться на кордоні відомого і невідомого, мають найбільшу міру невизначеності.

Прикладні дослідження спрямовані на знаходження способів використання законів природи для створення нових і вдосконалення існуючих засобів і методів людської діяльності.

Мета - встановлення того, як можливо використати наукові знання, отримані внаслідок фундаментальних досліджень, в практичній діяльності людини.

Внаслідок прикладних досліджень на основі наукових понять створюються технічні поняття. Прикладні дослідження, в свою чергу, поділяються на пошукові, науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи.

Пошукові дослідження спрямовані на встановлення чинників, що впливають на об'єкт, пошук шляхів створення нових технологій і техніки на основі способів, запропонованих внаслідок фундаментальних досліджень.

Внаслідок виконання науково-дослідних робіт створюються нові технології, дослідні установки, прилади і т. п. Метою дослідно-конструкторських робіт є підбір конструктивних характеристик, що визначають логічну основу конструкції.

Внаслідок фундаментальних і прикладних досліджень формується нова наукова і науково-технічна інформація.

Розробка - цілеспрямований процес перетворення нової наукової і науково-технічної інформації у форму, придатну для освоєння в промисловості. Вона спрямована на створення нової техніки, матеріалів, технологій або вдосконалення існуючих. Кінцевою метою розробки є підготовка матеріалів прикладних досліджень до впровадження у виробництво.

За мірою важливості для народного господарства наукові дослідження поділяються на:

- найважливіші роботи, що виконуються за спеціальними постановами Кабінету Міністрів та державними науково-технічними програмами;
- роботи, що виконуються за планами галузевих міністерств і відомств;
- роботи, що виконуються з ініціативи і за планами науково-дослідних організацій.

Залежно від джерела фінансування наукові дослідження поділяють на держбюджетні, господарчі і на такі, що не фінансуються. Держбюджетні наукові дослідження фінансуються з коштів державного бюджету. Господарчі дослідження фінансуються організація-

ми-замовниками на підставі господарських договорів. Такі організації можуть бути як виробничими, так і науково-дослідними.

Дослідження, що не фінансуються, виконуються за договорами про співпрацю.

Кожну науково-дослідну роботу можна віднести до певного напрямку.

Під науковим напрямом розуміється наука або комплекс наук, в галузі яких ведуться дослідження. У зв'язку з цим розрізняють: технічний, біологічний, соціальний, фізико-технічний, історичний і т. п. напрями з можливою подальшою деталізацією.

До технічного напрямку можна віднести дослідження в галузі технічної термодинаміки; до біологічного напрямку – дослідження в галузі біохімії або генної інженерії. Таким чином, основою наукового напрямку є спеціальна наука або ряд спеціальних наук, що входять до тієї або іншої наукової галузі, а також спеціальні методи дослідження і технічні пристрої.

Структурними одиницями наукового напрямку є комплексні проблеми, проблеми, теми і наукові питання. Комплексна проблема являє собою сукупність проблем, об'єднаних єдиною метою.

Проблема - це сукупність складних теоретичних і практичних задач, рішення яких є важливим для суспільства. З соціально-психологічних позицій проблема – це відображення суперечності між суспільною потребою в знанні і відомими шляхами його отримання, суперечності між знанням і незнанням.

Проблема виникає тоді, коли людська практика випробовує ускладнення або навіть нашоухується на «неможливість» в досягненні мети.

Проблема може бути глобальною, національною, регіональною, галузевою, міжгалузевою, що залежить від масштабу виниклих задач. Так, наприклад, проблема охорони природи є глобальною, оскільки її рішення направлене на задоволення суспільних людських потреб.

Крім перерахованих, розрізняють проблеми загальні і специфічні.

До загальних відносять проблеми загальнонаукові, загальнонародні і т.п. До них відносяться: впровадження маловідходних та безвідходних, енерго- і матеріалозберігаючих технологічних процесів і систем машин; підйом суспільного престижу високоякісної праці і професійної майстерності; забезпечення динамічного і про-

порційного розвитку єдиного народногосподарського комплексу країни і ефективна взаємодія всіх його ланок тощо.

Специфічні проблеми характерні для певних виробництв тієї або іншої промисловості. Так, в автомобільній промисловості такими проблемами є економія палива і створення нових видів пального.

Тема наукового дослідження є складовою частиною проблеми. Внаслідок досліджень за темою отримують відповіді на певне коло наукових питань, що охоплюють частину проблеми. Узагальнення результатів відповідей з комплексу тем може дати розв'язання наукової проблеми.

Під науковими питаннями звичайно розуміються дрібні наукові задачі, що відносяться до конкретної теми наукового дослідження.

Вибір напрямку, проблеми, теми наукового дослідження і постановка наукових питань є надзвичайно відповідальною задачею. Актуальні напрями і комплексні проблеми досліджень формуються директивними закладами нашої країни. Напрямок дослідження часто зумовлюється специфікою наукової установи, галуззю науки, в яких працює дослідник. Тому вибір наукового напрямку для кожного окремого дослідника часто зводиться до вибору галузі науки, в якій він бажає працювати. Конкретизація ж напрямку дослідження є результатом вивчення стану виробничих запитів, суспільних потреб і стану досліджень в тому або іншому напрямі на даному відрізку часу.

У процесі вивчення стану і результатів вже проведених досліджень можуть формуватися ідеї комплексного використання декількох наукових напрямів для рішення виробничих задач.

Потрібно при цьому зазначити, що найбільш сприятливі умови для виконання комплексних досліджень є у вищій школі, в її університетах і політехнічних інститутах, у зв'язку з наявністю в них навчальних наукових шкіл, що склалися в різних галузях науки і техніки.

Вибраний напрямок досліджень часто на тривалий період стає творчою стратегією наукового працівника або наукового колективу.

При виборі проблеми і тем наукового дослідження спочатку на основі аналізу протиріч напрямку, що досліджується, формулюється сама проблема і визначаються в загальних рисах очікувані результати, потім розробляється структура проблеми, виділяються теми, питання, виконавці, встановлюється їх актуальність.

При цьому важливо вміти відрізнати псевдопроблеми (помилкові, уявні) від наукових проблем. Найбільша кількість псевдопроблем пов'язана з недостатньою інформованістю наукових працівників, тому іноді виникають проблеми, метою яких виявляються раніше отримані результати. Це приводить до марних витрат праці вчених і коштів. Разом з тим потрібно зазначити, що іноді при розробці особливо актуальної проблеми доводиться йти на її дублювання з метою залучення до її рішення різних наукових колективів в порядку конкурсу.

Після обґрунтування проблеми і встановлення її структури визначаються теми наукового дослідження, кожна з яких повинна бути актуальною (важливою, що вимагає найшвидшого вирішення), мати наукову новизну та робити внесок в науку, бути економічно ефективною для народного господарства. Тому вибір теми повинен базуватися на спеціальному техніко-економічному розрахунку. При розробці теоретичних досліджень вимога економічності іноді замінюється вимогою значущості, що визначає престиж вітчизняної науки.

Кожний науковий колектив (вуз, НДІ, відділ, кафедра) за традиціями, що склалися, має свій науковий профіль, кваліфікацію, компетентність, що сприяє накопиченню досвіду досліджень, підвищенню теоретичного рівня розробок, якості й економічної ефективності, скороченню терміну виконання дослідження. Разом з тим не можна допускати монополії в науці, оскільки це виключає змагання ідей і може знизити ефективність наукових досліджень.

Важливою характеристикою теми є можливість швидкого впровадження отриманих результатів у виробництво. Особливо важливо забезпечити широке впровадження результатів в масштабах, наприклад, галузі, а не тільки на підприємстві замовника. При затримці впровадження або при впровадженні на одному підприємстві ефективність таких тем істотно знижується.

Вибору теми повинно передувати ретельне ознайомлення з вітчизняними і зарубіжними літературними джерелами даної і суміжних спеціальностей. Істотно спрощується методика вибору в тому науковому колективі, що має наукові традиції (свій профіль) і розробляє комплексні проблеми.

При колективній розробці наукових досліджень велику роль мають критика, дискусії, обговорення проблем і тем. У процесі дискусії виявляються нові, ще не вирішені актуальні задачі різної міри важливості й об'єму.

Це створює сприятливі умови для участі в науково-дослідній роботі вузу студентів різних курсів. На першому етапі викладачам доцільно доручити студентам підготовку за темою одного-двох рефератів, провести з ними консультації, визначити конкретні задачі. Велике значення для вибору прикладних тем має чітке формулювання задач замовником (міністерством, об'єднанням і т.д.).

При цьому необхідно мати на увазі, що в процесі наукових розробок можливі на вимогу замовника і деякі зміни в тематиці, залежно від обстановки, що складається на виробництві.

4.4.1 Етапи науково-дослідної роботи

Науково-дослідна робота виконується в певній послідовності. Спочатку формулюється сама тема внаслідок загального ознайомлення з проблемою, в рамках якої має бути виконане дослідження. Розробляється основний початковий плановий документ - техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) теми. Тільки за наявності такого обґрунтування можливе подальше планування і фінансування теми замовником. У першому розділі ТЕО теми вказуються причини розробки (її обґрунтування), приводиться короткий літературний огляд, в якому описуються вже досягнутий рівень досліджень і раніше отримані результати. Особлива увага приділяється ще не вирішеним питанням, обґрунтуванню актуальності і значущості роботи для галузі і народного господарства країни. Такий огляд дозволяє намітити методи рішення, задачі і етапи дослідження, визначити кінцеву мету виконання теми. До ТЕО входять патентне опрацювання теми і визначення доцільності закупівлі ліцензій.

На стадії складання ТЕО встановлюється галузь використання очікуваних результатів НДР, можливість їх практичної реалізації в даній галузі, визначається передбачуваний (потенційний) економічний ефект за період застосування нової техніки (розробки НДР, тривалості ДКР, етапів завершення і впровадження окремих питань). Крім економічного ефекту, в ТЕО вказуються передбачувані соціальні результати зростання продуктивності праці, якості продукції, підвищення рівня безпеки і виробничої санітарії, забезпечення охорони природи і навколишнього середовища. Внаслідок складання ТЕО робиться висновок про доцільність і необхідність виконання НДР і ДКР.

Техніко-економічне обґрунтування затверджується замовником.

Після затвердження ТЕО конкретизуються цілі і задачі дослідження. Складається бібліографічний список вітчизняної та зарубіж-

ної літератури, науково-технічних звітів за темою різних організацій відповідного профілю, складаються анотації літературних джерел і, у разі необхідності, реферати за темою, що прояснюють явища, процеси, предмети, які повинно охопити конкретне дослідження, а також методи дослідження (експериментальні, теоретичні і т.д.).

Метою теоретичних досліджень є вивчення фізичної суті предмета. У результаті створюється фізична модель, розробляються математичні моделі і аналізуються отримані попередні результати.

Перед організацією експериментальних досліджень розробляються задачі, вибираються методика і програми експерименту. Його ефективність істотно залежить від вибору засобів вимірювань. При рішенні цих задач необхідно керуватися інструкціями і стандартами.

Методичні рішення, що приймаються, формулюються у виді методичних вказівок на проведення експерименту.

Після розробки методик дослідження складається робочий план, в якому вказуються об'єм експериментальних робіт, методи, техніка, трудомісткість і терміни.

Після завершення теоретичних і експериментальних досліджень проводиться загальний аналіз отриманих результатів, здійснюється зіставлення гіпотези з результатами експерименту. Внаслідок аналізу розходжень уточнюються теоретичні моделі. У разі необхідності проводяться додаткові експерименти. Потім формулюються наукові і виробничі висновки, складається науково-технічний звіт.

Наступним етапом розробки теми є впровадження результатів досліджень у виробництво і визначення їх дійсної економічної ефективності.

Впровадження фундаментальних і прикладних наукових досліджень у виробництво здійснюється через розробки, що проводяться в дослідно-конструкторських бюро, проектних організаціях, дослідних заводах і майстернях. Розробки оформляються у виді дослідно-технологічних або дослідно-конструкторських робіт, що включають формулювання теми, цілі і задачі розробки, вивчення літератури, підготовку до технічного проектування експериментального зразка, технічне проектування (розробка варіантів технічного проекту з розрахунками і розробкою креслень), виготовлення окремих блоків та їх об'єднання в систему, узгодження технічного проекту і його техніко-економічне обґрунтування. Після цього виконується робоче проектування (детальне опрацювання проекту), виготовля-

ється дослідний зразок, проводяться його випробування, доведення і регулювання, стендові і виробничі випробування. Після цього здійснюється доробка дослідного зразка (аналіз виробничих випробувань, переробка і заміна окремих вузлів).

Успішне виконання перерахованих етапів роботи дає можливість представити зразок до остаточних випробувань, внаслідок яких зразок запускається в серійне виробництво.

4.4.2 Активізація інженерної творчості

Істотні зміни вносяться в технічні об'єкти тоді, коли сполучення технічних вимог (реальних і необхідних) виявляється неможливим, а спроби поліпшення одних параметрів, функцій або властивостей об'єкта відомими способами приводять до неприпустимого погіршення інших, тобто шляхом узгодження технічних протиріч.

Процес прояву, загострення і узгодження протиріч визначає як «загальну» історію техніки, так і історію розвитку її галузей і окремих машин (рис. 4.1).

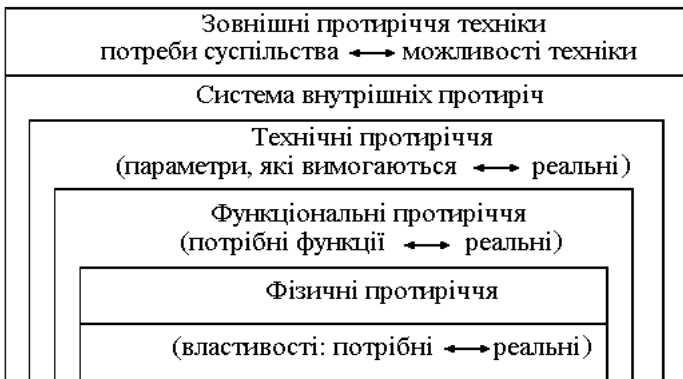


Рис. 4.1 – Ієрархічна структура

Щоразу за істотної зміни об'єктів техніки зовнішні протиріччя розгортаються в систему внутрішніх протиріч, які не можна усунути відомим або «стандартним» способом.

Пошук нової технічної ідеї рішення задачі (ТР) складається з послідовного виявлення внутрішніх протиріч і їхнього рішення.

Якщо згадати критерії винаходу «новизна» й «істотні відмінності», то можна сказати, що вони є складовими більш загальної характеристики – істотної новизни винаходу, що з'являється при вирішенні технічних протиріч. Ця характеристика кількісно описується числом істотних відмінних ознак та якісно рівнем змін об'єкта – прототипу, новизною використаного знання і зміною параметрів об'єкта.

У результаті зміни параметрів об'єкта змінюються дві узагальнені суперечливі характеристики: корисність об'єкта і плата за цю корисність.

Якщо технічна задача вирішена – створений винахід, – то зміни параметрів повинні відповідати необхідним внутрішнім і зовнішнім позитивним ефектам.

Тобто пошук готової технічної ідеї рішення задачі є найбільш відповідальним етапом створення винаходів. Цей процес можна розділити на три основні етапи: аналіз виробничої задачі та вибір напрямку рішення, постановка задачі пошуку нового технічного рішення (виявлення внутрішніх протиріч), пошук нової технічної ідеї рішення задачі (істотні зміни властивостей, функцій та структури об'єкта).

Перший етап - найбільш складний і відповідальний, тому що при цьому ми маємо найбільший рівень невизначеності: скільки змін потрібно внести до прототипу, які знання будуть потрібні для рішення задачі, якою в результаті буде корисність нового технічного рішення і плата за цю корисність.

Отримані відповіді на ці питання визначають: витрати часу і ресурсів на створення і впровадження нового технічного рішення і його життєвий цикл(період морального старіння).

Також на першому етапі при виборі напрямку рішення проблеми необхідно виявити сховані резерви розвитку об'єкта. Для чого використовуються закономірності розвитку технічних об'єктів (мінімальне знання і досвід у своїй галузі) та методи активізації творчої діяльності.

При ринковій економіці ступінь розвиненості і благополуччя будь-якої країни в основному залежить від додатного торговельного експортно-імпортного балансу готового продукту, виробів, технології.

Продавати готовий продукт в інші розвинуті країни можна лише за умови, що він витримає конкуренцію. А це можливо тільки тоді, коли продукт виготовляється за винаходом з досить високим творчим рівнем.

4.4.3 Творчий рівень винаходу

Усі винаходи поділяються на піонерні (найвищого рівня) та інші.

Винаходи розділяються на п'ять рівнів залежно від ступеня новизни:

– перший рівень, – це дрібні винаходи, що незначною мірою змінюють об'єкт-прототип. Задача і засоби її рішення лежать у межах однієї професії, тому рішення таких задач під силу кожному фахівцеві.

– другий рівень – це дрібні винаходи, отримані способами, відомими в даній галузі. При цьому найчастіше частково міняється один елемент системи;

– третій рівень – це середні винаходи, отримані способами, відомими в межах науки. Цілком міняється один з елементів системи.

– четвертий рівень – це великі винаходи. Синтезується нова технічна система. Створюється засобами, що далеко виходять за межі науки, у якій вирішується задача.

– п'ятий рівень – це найбільш великі винаходи. Вони утворюють принципово нову систему; при цьому нерідко створюється нова галузь техніки або виробництва.

Це часто трактують так: фахівець – людина, що добре знає свою справу, але характеризується стереотипністю мислення.

Побороти стереотипність мислення, активізувати інженерну творчість – головна задача методик технічної творчості.

У курсі “Основи конструювання” не постає задача – навчити фахівця винаходити. Але, за наявності бажання, здібностей, досвіду роботи, знання методик технічної творчості (теорії винахідництва), допомагає інженерові з максимальною віддачею використовувати наявні в нього знання і досвід у пошуку нових технічних рішень (і, може бути, стати винахідником).

С давніх часів відомий метод «спроб і помилок», що був, можна сказати, основним методом винахідників до кінця 60-х років двадцятого століття. Суть цього методу можна сформулювати як «пошук голки в стозі сіна».

Схематично це можна зобразити (рис. 4.2) так:

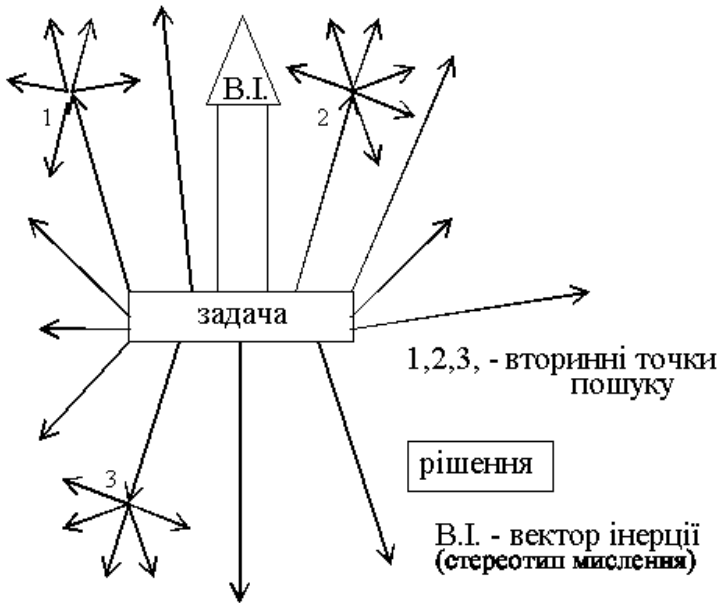


Рис. 4.2 – Схема методу пошуку «спроби і помилки»

Зрозуміло, кількість «спроб» набагато більше, ніж зображено на схемі. Потрібні іноді тисячі (десятки тисяч) «а якщо зробити ще так...», щоб знайти вдале технічне рішення.

Інша особливість, що на схемі стрілки розташовані густіше в напрямку, протилежному «Рішенню», – не випадкова. Справа в тім, що «спроби» не так хаотичні, як здається на перший погляд.

Приставаючи до пошуків, винахідник спирається на свій попередній досвід. Ця первісна тенденційність, на схемі показана «В.І.», виходить з точки «Задача» і спрямована у протилежний бік від «Рішення».

Винахідництво – найдавніше заняття людини. Власне, з винаходів перших знарядь праці і почався цей процес. З тих пір зроблено мільйони винаходів. Але при ускладненні задач методи їхнього вирішення майже не удосконалювалися; винахідники, як правило, йшли до мети шляхом «спроб і помилок» (та й багато з них йдуть у наш час).

Для упорядкування цього процесу намагалися знайти правила, що лягли в основу евристики – науки про рішення творчих задач.

Слово «евристика» уперше було використано грецьким математиком Паппом у III сторіччі нашого часу. Багато вчених, у тому числі Г. Лейбніц, Р. Декарт та інші, займалися вивченням творчого мислення, формулювали евристичні правила – схеми процесу творчості, що зводилися до наступного: перше – це акт інтуїції і бажання, походження задуму; друге – це акт знання і міркування, вироблення схеми або плану; третє – це акт уміння, конструктивна реалізація ідеї.

Проте, за 17 століть свого існування евристика не створила ефективних методів рішення творчих (у тому числі технічних) задач.

Головна причина цього – постановка занадто загальної мети, яка дозволить знайти універсальні правила, що дозволяють вирішувати будь-які творчі задачі у всіх галузях людської діяльності. Тобто не зовсім чітко окреслена сфера дослідження, чи має вона відношення до логіки, чи до філософії, то до психології. Вона часто описувалася загалом, рідко викладалася детально, і по суті нині віддана забуттю.

Практичні методи активізації творчої діяльності стали з'являтися на початку XX століття у зв'язку з інтенсивним розвитком промислового виробництва і техніки.

Один з перших методів – мозковий штурм (*Brainstorming*) – це спроба американця А. Осборна (1939 р.) удосконалити метод «спроб і помилок». За прототип цього методу можна прийняти «технічну нараду».

Логіка цього методу полягає в тому, що однорідна група учасників наради поділяється на дві групи. У першу групу включені люди, схильні до висування ідей, – «генератори», з різних спеціальностей і не пов'язані ієрархічними службовими відносинами. В другу групу – фахівці з критичним складом розуму – «критики», здатні відібрати і розвинути раціональні, конструктивні пропозиції.

Пошук ідей у рішенні поставленої задачі проводиться під керівництвом ведучого – «лідера» – найбільш ерудованого в проблемі фахівця, що припиняє безпредметну критику і підтримує розвиток висунутих ідей.

Усе це створює умови для усунення протиріч, що утримуються в задачі, на інтуїтивному рівні.

У такий спосіб головна задача штурмуючої групи – «єдиним мозком» переборювати перешкоди на шляху рішення поставленої задачі.

Цей метод не усунув безладності пошуків, органічно властивої методів «спроб і помилок», а зробив пошуки «ще більш безладними» (рис. 4.3).

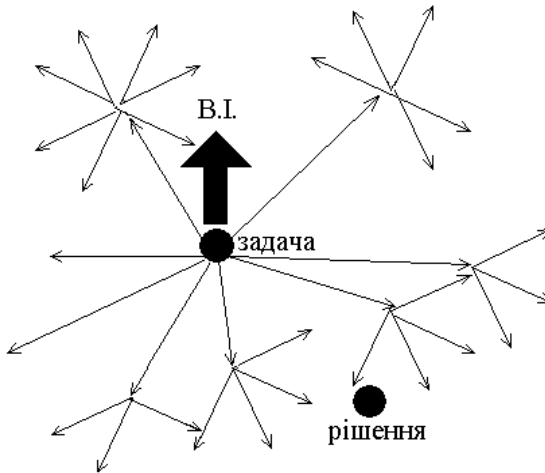


Рис. 4.3 – Схема методу пошуку «шторм»

На ще більшій безладності і базується прогрес: на схемі видно, що переборюється напрямок «В.І.» і збільшується «ступінь гіллястості» напрямків пошуків. Тобто прогрес досягається за рахунок скорочення мало перспективних спроб у напрямку «В.І.».

Але цей прогрес забезпечується кількісним шляхом – задачу вирішують «оравою», що, з урахуванням підготовки до «шторму», вимагає кілька сотень людино-днів. І якщо задача вирішена протягом одного робочого дня – це еквівалентно витратам винахідника-одинака протягом 100 днів. Тому технічні задачі цим методом вирішуються рідко.

Кращі результати одержують при рішенні задач (менеджменту) організаційних (реклама, керування, планування), а також так званих «зворотних винахідницьких задач» на нове застосування оригінальної технічної ідеї, нової речовини або ефекту. Наступний метод – це синектика, який був запропонований У. Гордоном у 1950 році.

Головна його відмінність від попереднього – це не випадкова, а постійна група фахівців, що беруть участь у «штурмі», які володіють застосуванням аналогій.

Число аналогій постійно і воно дорівнює чотирьом: пряма аналогія (основне джерело – біологічні об'єкти); особиста аналогія (емпатія); символічна аналогія (асоціації); фантастична аналогія (ідеалізація).

Процес «штурму» ведеться з метою виявлення образного, у неявній формі сформульованого протиріччя, що утримується в поставленій задачі.

Наступний метод – це методи «контрольних питань» (А. Осборн, Т. Ейлоарт та ін.), заснованих на упорядкуванні перебору варіантів зміни властивостей, функцій або структури об'єктів за допомогою списку груп питань.

Список можна скласти самому або використовувати готові списки. І тут виникає протиріччя: список повинен бути довгим, щоб не пропустити потрібну «підказку» для рішення, але й коротким, щоб швидше вирішити задачу.

Метод морфологічного аналізу відноситься до табличних або матричних способів представлення інформації. Цей метод дозволяє охопити майже всі передбачувані або можливі задачі. Під «морфологією» розуміється різна структура і різні зовнішні форми об'єкта.

Для реалізації методу об'єкт (пристрій) розчленовують за істотними ознаками: блоками (модулями, секціями, агрегатами), вузлами, елементами (деталлями). Коли об'єктом є процес, наприклад, технологічний – його поділяють на етапи (операції).

Потім для кожної ознаки вказують можливі варіанти її виконання (чим більше – тим краще). Кожне рішення технічного завдання повинно мати по одному варіанту для кожної ознаки.

Систематизація можливих варіантів (аналіз) виконується у вигляді морфологічної таблиці.

Вибір прийняттого рішення технічного завдання (синтез) проводиться розглядом усіх сполучень рішень. Тому вибір і оцінка рішень дуже трудомісткі.

Як приклад винайдемо «гелікоптер», тобто літальний апарат, який важче повітря з вертикальним зльотом і посадкою.

Піднімальна сила і горизонтальна тяга створюються одним або декількома несучими гвинтами, що приводяться в обертання двигуном.

Істотні ознаки:

А – схема несучої системи;

Б – вид енергії;

В – засоби керування;

Г – посадкові пристрої;

Д – призначення і таке інше.



Досить
цього

Варіанти для ознак – А: 1 – одногвинтова (класична схема); 2 – двогвинтова співвісна; 3 – поздовжня; 4 – поперечна; 5 – з перехресними гвинтами; 6 – багатогвинтова;

Б: 1 – мускульна; 2 – двигун внутрішнього згоряння (ДВС); 3 – газотурбінний двигун (ГТД); 4 – електродвигун (ЕД); 5 – гравітаційний; 6 – ядерний (атомний);

В: 1 – автомат перекоосу; 2 – кермовий гвинт; 3 – кермові поверхні; 4 – механізація несучих поверхонь; 5 – газоструменеве керування і т.п.

Морфологічна таблиця

Істотні ознаки	Варіанти ознак
А	А1; А2; А3; А4; А5; А6
Б	Б1; Б2; Б3; Б4; Б5; Б6
В	В1; В2; В3; В4; В5
...	...

Усіх рішень буде $R = 6 \cdot 6 \cdot 5 = 180$. Якщо розглянути всі можливі рішення (180), то частина цих рішень буде: відома; нова; безглузда (нереалізована), наприклад А2 - Б3 - В2.

Слід зазначити, що морфологічний аналіз можна застосовувати при аналізі технічного завдання для виявлення взаємозв'язків технічних вимог до об'єкта.

Тобто приведені методи активізації творчої діяльності мають екстенсивний (витратний) характер, дуже трудомісткі та базується на психологічній активації, дії інтуїції, використанні випадкових асоціацій, збільшенні числа задіяних у пошуку фахівців.

РОЗДІЛ 5. ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ ТЕОРЕТИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Оснoву кожного теоретичного дослідження становить методика моделювання процесів. На рис. 5.1 приведена загальна класифікація моделей. За видом досліджуваного процесу моделі поділяються на **детерміновані**, котрі можуть бути однозначно описані відомими фізичними закономірностями, і **стохастичні**, для опису яких, унаслідок малої вивченості і складності взаємодії великого числа факторів, що впливають на досліджуваний процес, використовуються методи математичної статистики.

За ступенем відтворення досліджуваного процесу його моделі можуть бути повними і неповними, точними і наближеними; за застосовуваним апаратом - образними, математичними, фізичними, комбінованими.

Теоретична модель процесу - гіпотетичне уявлення про нього, складене на підставі вивчення фактичного матеріалу.

Цій меті служить складання огляду наявних даних за темою, наслідком якого є формування образної моделі описового характеру з розробкою переліку факторів, що впливають на протікання процесу, їхньої класифікації, оцінки можливості прийняття відповідних допущень, що спрощують моделювання процесу.

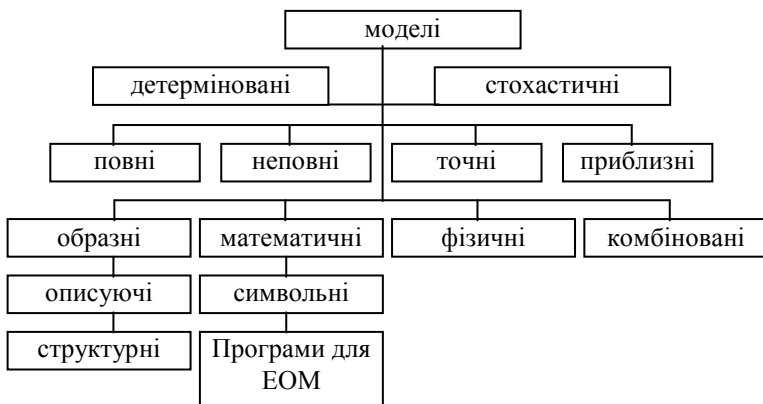


Рис. 5.1 – Загальна класифікація моделей

У цій роботі велику допомогу надає розробка структурних схем об'єктів дослідження спочатку в якомога більш повному обсязі, а потім із внесенням обґрунтованих спрощень. У результаті цієї роботи може бути сформульована робоча гіпотеза дослідження й обраний ефективний апарат для його виконання.

Математична модель об'єкта - найкращий результат теоретичного дослідження, якщо при цьому вона має новизну і вірогідність.

Основні переваги математичних моделей:

– високий рівень формалізації процесу за допомогою загальноприйнятих символів, що виключає різночитання і скорочує обсяг описів;

– можливість використання аналогій із процесами, що одержали раніше символічні описи або представленими у виді алгоритмів і програм для ЕОМ;

– можливість використання готового математичного апарата перетворень, табличних даних, графічної інтерпретації й аналізу отриманих функціональних залежностей.

Слід також зазначити, що і сам математичний апарат і його методи удосконалюються в ході використання їх у практиці науково-дослідної діяльності, що розширює можливості математичного моделювання. Ці можливості істотно розширилися за рахунок використання ЕОМ, створення і поповнення банків стандартних програм розрахунків різного призначення.

Незважаючи на всі перераховані переваги теоретичних досліджень за допомогою математичного моделювання, необхідно пам'ятати, що вірогідність математичної моделі насамперед залежить від того, наскільки правильно вона відображує фізичну сутність об'єкта дослідження, від прийнятності зроблених допущень, коректності вибору і використання математичного апарата. Тому результати теоретичного дослідження, як правило, вимагають перевірки.

Критерій правильності математичних моделей, отриманих теоретичним шляхом, - експеримент. Для попередньої оцінки результату теоретичного дослідження аналізують. У найпростіших випадках про якісний характер отриманої функціональної залежності одної - двох перемінних можна судити за видом цієї залежності або за результатами окремих розрахунків. Більш достовірною оцінкою математичних моделей виконується шляхом зіставлення експериментальних даних з результатами теоретичних розрахунків у всьому діапазоні

передбачуваного практичного використання отриманих функціональних залежностей.

Для цього найчастіше використовують методи графічної інтерпретації теоретичних залежностей з нанесенням на тих же графіках відповідних експериментальних даних, що дозволяє оцінити рівень похибки математичної моделі.

Нерідко про характер і фізичну сутність процесу, що підлягає вивченню, немає відомостей, достатніх для розробки математичної моделі. У цих випадках теоретичне дослідження полягає в розробці гіпотези про сукупності факторів (незалежних змінних величин), що впливають на хід процесу.

Гіпотезою служить образна модель, що може бути представлена у виді кібернетичного «чорного ящика» (рис. 5.2). Вхідні параметри (фактори) можуть бути керовані ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) і некеровані ($Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_k$). Вихід - функція відгуку Y .

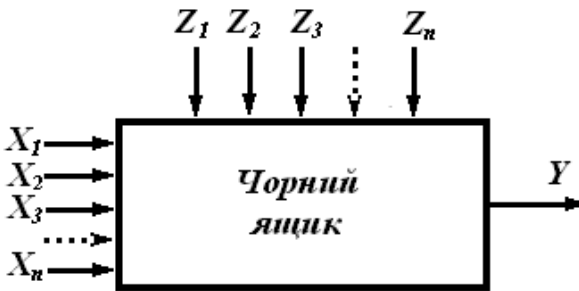


Рис. 5.2 – Схема пошуку функціональної залежності за відсутності надійної детермінованої математичної моделі процесу

При постановці експерименту варіюють незалежні керовані фактори за спеціальною методикою, що розглядається далі, і одержують значення функції відгуку, оброблювані у виді математичної залежності.

Остання є свого роду математичною моделлю досліджуваного об'єкта, отриманою експериментально. Некеровані параметри процесу створюють перешкоди, що знижують точність отриманих у такий спосіб математичних залежностей, і за можливістю їх слід усувати.

Розмаїтість дослідницьких задач не дозволяє охопити всі можливі прийоми їх теоретичного рішення, тому розглянемо характерні

приклади, що дають загальну уяву про деякі методи використання математичного апарата в теоретичних дослідженнях.

5.1 Застосування методів механіки до дослідження робочих процесів машин

Дослідження з удосконалення робочих процесів істотно впливають на підвищення продуктивності машин. Робочі органи дорожньо-будівельних або аварійно-рятувальних машин взаємодіють з різними матеріалами. Ця взаємодія, як правило, має просторовий характер.

Кожний з оброблюваних машиною матеріалів має певні властивості. Залежно від характеру процесу, умов взаємодії, властивості матеріалу можуть бути визначальними або незначними. Наприклад, практично всі оброблювані дорожньо-будівельними машинами матеріали змінюють свою щільність під дією зовнішнього навантаження.

Ця властивість матеріалів впливає на процес їхнього руйнування в більшості випадків незначною мірою, і нею при побудові відповідних аналітичних моделей нехтують. Тому в теоретичних дослідженнях замість реального матеріалу користуються поняттям середовища, наділеного тими властивостями, вплив яких у досліджуваному процесі найбільш істотний.

У більшості випадків реальні матеріали моделюються поняттям суцільних середовищ, властивості яких вважаються незмінними для обсягів нескінченно малих розмірів. Вважається також, що для таких обсягів справедливі всі закони механіки. Це дозволяє описувати зміну стану матеріалів у процесі взаємодії їх з робочими органами машин при визначенні шуканих характеристик процесу.

В основному дослідників цікавить визначення таких умов, які забезпечували б протікання процесу за заданих вимог до якості обробки матеріалів з мінімальними енергетичними витратами, тому як характеристиками процесу є сила, енергія, потужність.

Мета аналітичного дослідження - відшукування залежності цих характеристик від параметрів, що визначають процеси, наприклад форми і розмірів робочого органа, властивостей оброблюваного матеріалу, режиму виконуваної роботи. Оптимізація шуканих характеристик за заданими критеріями дозволяє визначити необхідні умови протікання процесу.

Таким чином, у подібних дослідженнях на перший план висувається задача пошуку теоретичної залежності сили /енергії, потужності/, реалізованої на робочому органі машини, від властивостей

оброблюваного матеріалу, режиму роботи, розмірів і форми робочого органа.

Методологія такого пошуку визначається рівнем знань про механізм процесу та явищ, що супроводжують його, специфікою розв'язуваних задач, ступенем механіко-математичної підготовки дослідника.

Проілюструємо це на наступних прикладах.

Припустимо, що потрібно визначити опір ґрунту копанню бульдозером. Зрозуміло, найбільші сили виникають при розробці в'язких ґрунтів. На основі візуальних спостережень за таким процесом неважко констатувати, що в даному процесі має місце різання ґрунту: рух стружки нагору по відвалу і переміщення призми ґрунту перед відвалом (рис. 5.3). Для одержання шуканої залежності введемо наступні допущення. Вважаємо, що опір ґрунту копанню є сумою сили різання, сили, обумовленої опором переміщення стружки нагору по відвалу, і сили переміщення призми ґрунту перед відвалом.

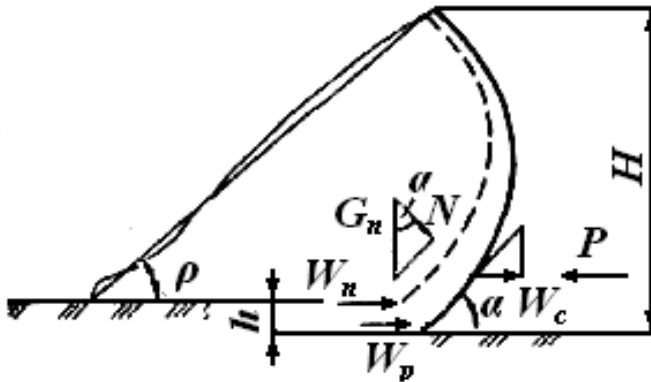


Рис. 5.3 – Спрощена схема сил опору копанню відвалом

Силу різання в першому наближенні прийемо прямо пропорційною площі стружки, що зрізується. При цьому коефіцієнт пропорційності - питомий опір ґрунту різанню - визначається експериментально.

$$W_{\rho} = Kbh,$$

де K - питомий опір різанню;
 b, h - ширина відвалу і товщина стружки, що зрізується.

Визначаючи силу переміщення призми ґрунту перед відвалом, прийmemo, що форма її відповідає трикутній призмі і вона переміщується перед відвалом подібно твердому тілу, що ковзає по поверхні ґрунту, тоді

$$W_n = \mu G_n,$$

де μ – коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту по ґрунту; можна визначити через кут внутрішнього тертя ґрунту ρ , $\mu = \operatorname{tg} \rho$;

G_n - вага призми ґрунту перед відвалом:

$$G_n = \delta V_n = \delta \frac{bH^2}{2 \operatorname{tg} \rho},$$

де δ - щільність ґрунту.

Розраховуючи силу переміщення стружки ґрунту нагору по відвалу, прийmemo, що вона визначається складовою сили тертя стружки по відвалу (рис.5.3);

$$W_c = \mu_1 N \cos \alpha$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя ґрунту по поверхні відвала, що виражається через кут зовнішнього тертя ґрунту,

$$\mu_1 = \operatorname{tg} \varphi;$$

N – нормальна сила, що діє з боку призми ґрунту на відвал;
 α - кут різання ґрунту.

Силу N визначимо як складову ваги призми (рис. 5.3):

$$N = G_n \cos \alpha = \frac{\delta \cdot b \cdot H^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \rho} \cdot \cos \alpha.$$

Тоді

$$W_c = \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{b \cdot H^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \rho} \cdot \delta \cdot \cos^2 \alpha.$$

Отже, опір ґрунту копанню відвалом бульдозера:

$$P = W_p + W_c + W_n = K \cdot b \cdot h + (\mu + \mu_1 \cos^2 \alpha) \cdot G_n =$$

$$= K \cdot b \cdot h + \delta \cdot \frac{b \cdot H^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \rho} \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + \delta \cdot \frac{b \cdot H^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \rho} \operatorname{tg} \rho.$$

Отримане рішення має наступні недоліки:

- сила різання визначається через експериментально встановлений питомий опір ґрунту різанню, що обмежує використання отриманої залежності умовами постановки досліду;
- складові опору копанню підсумовані без урахування їхньої взаємодії;
- у ході переміщення відвалом призма ґрунту не є твердим тілом і не може скочити по поверхні розроблюваного масиву, оскільки лезо ножа знаходиться нижче неї;
- не враховується вплив швидкості переміщення машини на опір копанню.

Незважаючи на вказані недоліки, введення і припущення дозволили побудувати модель процесу у першому наближенні.

Наступне уточнення моделі може відбуватись шляхом уведення експериментально визначених коефіцієнтів кореляції, або ускладнення самої моделі. Наприклад, з механіки ґрунтів відомо, що в більшості випадків ґрунти можуть моделюватися середовищем, що володіє зчепленням, кутами зовнішнього і внутрішнього тертя, щільністю. Уточнена модель, яка буде містити вказані параметри і якості ґрунту, буде більш досконалою, але відповідно і більш складною. Специфіка завдання, яке вирішує дослідник, визначає необхідний рівень адекватності математичних моделей реальним фізичним процесам.

5.2 Застосування методів механіки до рішення задач динаміки машин

Одна з центральних задач розрахунку машинних агрегатів на міцність, надійність і довговічність - визначення діючих навантажень у різних умовах роботи.

Чим точніше вдається при проектуванні установити умови навантаження деталей машин, тим менше імовірність відмовлень, зв'язаних з порушенням нормального функціонування окремих кінематичних ланцюгів і машини в цілому.

При розрахунках на міцність звичайно виходять з того, що оператор, що керує машиною, прагне реалізувати потужність двигуна по-

вною мірою за рахунок використання максимально припустимого силового або швидкісного режиму виконання робочих операцій.

Якщо з якихось причин оператор цього не робить, то він має таку можливість, і максимальне статичне навантаження на робочий орган $M_{p.o.c. \max}$ машини визначається за максимальним крутним моментом, що може розвинути двигун ($M_{\delta e, \max}$), з урахуванням передатного числа коробки передач (i) та коефіцієнта корисної дії цих передач (η):

$$M_{p.o.c. \max} = M_{\delta e, \max} i \eta.$$

Аналогічно визначається навантаження на валах проміжних передач при підстановці у формулу відповідних значень i та коефіцієнта η .

Однак дійсні навантаження, що виникають на робочих органах машин, у ряді випадків можуть досить істотно перевищувати статичний крутний момент, який обчислено таким способом.

Це характерно для машин циклічної дії, робочі процеси яких пов'язані з розгоном і уповільненням робочих органів, а також коли навантаження на робочий орган змінюються оператором або внаслідок зміни властивостей оброблюваного матеріалу.

І те й інше має місце в робочих процесах більшості аварійно-рятувальних машин і приводить до виникнення додаткових динамічних навантажень.

Динамічні навантаження - наслідок дії сил інерції, що виникають у механічних системах, при несталих процесах руху. Таким чином, при розрахунках на міцність загальне навантаження на робочий орган машини ($M_{p.o.}$) визначається як сума статичної ($M_{p.o.c.}$) і динамічної (M_{δ}) складових:

$$M_{p.o.} = M_{p.o.c.} + M_{\delta}.$$

Якщо ввести поняття коефіцієнта динамічності K_{δ} як відношення загального навантаження до її статичної складової:

$$K_{\delta} = \frac{M_{p.o.}}{M_{p.o.c.}},$$

то, установивши експериментально коефіцієнт динамічності навантаження для даної машини, максимальне розрахункове навантаження можна визначити за формулою:

$$M_{p.o.} = K_{\delta} M_{p.o.c.}$$

При цьому динамічна складового навантаження:

$$M_{\delta} = M_{p.o.c.} (K_{\delta} - 1).$$

Недолік такого методу визначення розрахункового навантаження полягає в тому, що для створення нових машин доводиться користуватися даними експериментів, проведених на існуючих машинах, або ж, якщо таких нема, досвідом експлуатації існуючих машин.

У цих умовах коефіцієнт динамічності вибирають орієнтовно, що приводить або до необґрунтованого завищення запасу міцності (завищення матеріалоемності) машин, або до зниження їхньої надійності. І те й інше небажано, особливо з огляду на сучасну тенденцію до збільшення одиничної потужності, робочих і транспортних швидкостей і загальної маси машин за одночасного зниження матеріалоемності і підвищення надійності.

Виникають наукові задачі - розкрити фізичну сутність коефіцієнта динамічності, встановити вплив на нього параметрів проєктованої машини або створити методику більш обґрунтованого визначення динамічних навантажень з урахуванням основних параметрів машини, властивостей оброблюваного матеріалу, застосовуваних прийомів керування.

Рішення таких задач базується на застосуванні теоретичних методів динаміки машин, викладених у теоретичній механіці і використовуваних у теорії механізмів і машин.

Хід рішення зводиться до складання рівняння руху системи на основі принципу Даламбера або методу Лагранжа, інтегрування цього рівняння і до одержання на цій основі параметрів руху - переміщень, швидкостей, прискорень, що дозволяє підійти до визначення навантажень, що виникають на виході систем і їхніх ланок, а також до встановлення законів зміни зазначених параметрів, частот, амплітуд коливань і ін.

Незважаючи на удавану простоту підходу, рішення конкретних задач динаміки нерідко виливається в самостійне наукове дослідження, що вимагає розробки нової математичної моделі, обґрунтування ряду допущень, що спростують рішення, але пов'язані з необхідністю постановки експерименту, використання спеціальних математичних прийомів, включаючи складання нових програм для ЕОМ, постановки теоретичних і експериментальних досліджень, необхідних для математичного опису функціонування окремих підсистем досліджуваної динамічної системи.

При рішенні інженерних задач динаміки будь-яку механічну систему можна уявити як сукупність твердих тіл, що пов'язані між собою пружними або іншими зв'язками і знаходяться під дією рушійних сил (моментів) і сил (моментів) опору.

Вид рівняння і параметри руху залежать від маси елементів системи, пружності й інших властивостей зв'язків, закономірностей зміни рушійних сил і сил опорів. Для кожної маси рівняння руху може бути представлено в такому виді:

$$\text{– при поступальному русі: } m\ddot{x} = P_{\text{дв}} - P_c,$$

$$\text{– при обертальному русі: } J\ddot{\alpha} = M_{\text{дв}} - M_c,$$

де m, J - маса і момент інерції розглянутого елемента системи,
 X, α - лінійне і кутове переміщення,
 $P_{\text{дв}}, M_{\text{дв}}$ - сила і рушійний момент,
 P_c, M_c - сила і момент сил опору.

Динамічна модель бульдозера показана на рис. 5.4.

Двигун тягача розвиває крутний момент $M_{\text{дв}}$, який через колінчатий вал і маховик передається на диски фрикційної муфти, що забезпечує передачу крутного моменту на трансмісію;

J_I - момент інерції цих частин з урахуванням приведенного до валу моменту інерції всіх мас двигуна;

q_I - крутильна жорсткість валу, що передає обертання на трансмісію.

Моменти інерції інших обертових тіл позначені $J_1, J_2, J_3, \dots, J_n$ і т.д., а жорсткості зв'язків - відповідно $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ і т.д.

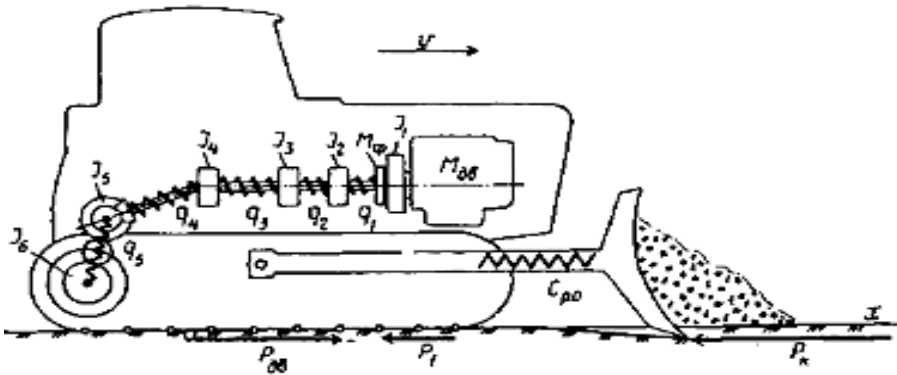


Рис. 5.4 – Динамічна модель бульдозера

Рух даної динамічної системи може бути представлено системою рівнянь руху:

$$J_1 \ddot{\alpha}_1 = M_{об}(\dot{\alpha}) - q_1(\alpha_1 - \alpha_2);$$

$$J_2 \ddot{\alpha}_2 = q_1(\alpha_1 - \alpha_2) - q_2(\alpha_2 - \alpha_3);$$

$$J_3 \ddot{\alpha}_3 = q_2(\alpha_2 - \alpha_3) - q_3(\alpha_3 - \alpha_4);$$

.....

$$m_{p.o.} \ddot{x} = C_{p.o.}(x_T - x) - P_c,$$

де $m_{p.o.}$ – маса робочого устаткування;

x_T – переміщення трактора;

x – переміщення відвала бульдозера.

Спільне рішення отриманої системи диференціальних рівнянь у замкнутому вигляді одержати неможливо.

Разом з тим, якщо задача полягає у відшуванні навантажень, що діють на відвал бульдозера, то рівняння можливо істотно спростити, з огляду на те, що деформації валів трансмісії значно менше деформацій робочого устаткування бульдозера, яке представляє собою просторову рамну конструкцію, а деформації робочого устаткування при копанні однорідних ґрунтів у багато разів менше переміщення відвала за час наповнення його ґрунтом.

Такий погляд дозволяє розглядати бульдозер як тверде недеформоване тіло, приведена маса якого m_{np} складається з приведеної до тягової гусениці маси обертових частин передач трансмісії m'_{np} і маси трактора m_T , що поступально рухається із робочим устаткуванням $m_{p.o.}$.

Приведену до поступального руху масу обертових частин трансмісії і двигуна визначають за формулою:

$$m'_{np} = \sum_{i=1}^z \frac{J_i i_i^2 \eta_i}{R^2},$$

де z - загальна кількість обертових деталей, що передають момент від двигуна до тягової зірочки гусеничного ходу, а також деталей, які обертаються разом з ними;

J_i - власні моменти інерції обертових деталей;

i_i - передаточні числа між кожною обертовою деталлю і валом тягової зірочки;

η_i - ККД відповідної передачі;

R - радіус початкової окружності зірочки.

Загальна приведена маса бульдозера:

$$m_{np} = m'_{np} + m_T + m_{p.o.}$$

Тепер рівняння поступального руху бульдозера як одномасової системи можна записати в наступному виді:

$$m_{np} \ddot{x} = P_{oe}(\dot{x}) - P_c(x),$$

тому що рушійна сила $P_{oe}(\dot{x})$ може бути представлена у функції швидкості (\dot{x}) , сила опору $P_c(x)$ - у функції переміщення (x) .

Установимо необхідні функціональні зв'язки.

Рушійна сила бульдозера – тягова сила трактора T , що при даному загальному передаточному числі трансмісії i_0 і ККД η_0 пропорційна моменту двигуна $M_{об}$:

$$T = \frac{M_{об} i_0 \eta_0}{R}.$$

Залежність моменту двигуна від кутової швидкості обертання – характеристика дизеля, оснащеного регулятором числа оборотів, показана на рис. 5.5.

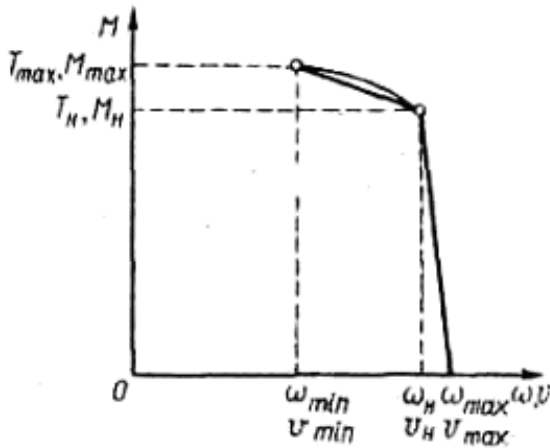


Рис. 5.5 – Зовнішня характеристика дизеля

У даному випадку при визначенні максимальних динамічних навантажень розглядається зовнішня характеристика, тобто така, що має місце при зміні подачі палива в циліндри двигуна тільки регулятором, без обмежень, що може встановлювати бульдозерист.

Графік зовнішньої характеристики складається з двох ділянок:

- діапазону регулювання, у якому швидкість змінюється від ω_{max} до ω_n (від максимальної до номінальної) при зростанні крутного моменту від нуля до номінального значення M_n ,

- діапазону перевантаження, у якому зі збільшенням навантаження на двигун кутова швидкість істотно знижується (від ω_n до ω_{min}) при зростанні крутного моменту від номінального M_n до максимального значення M_{max} .

Подальше зростання навантаження на валу двигуна приводить до його швидкої зупинки.

Замінивши в діапазоні перевантаження положисту криву характеристики тракторного дизеля прямою, одержимо функціональні залежності крутного моменту від кутової швидкості:

- для діапазону регулятора

$$M = M_H \frac{\omega_{\max} - \omega}{\omega_{\max} - \omega_H};$$

– для діапазону перевантаження

$$M = M_H \left[1 + \left(\frac{M_{\max}}{M_H} - 1 \right) \frac{\omega_H - \omega}{\omega_H - \omega_{\min}} \right].$$

Оскільки момент двигуна, при постійному передаточному числі трансмісії, ККД і радіусі тягової зірочки пропорційний тяговій силі T , а кутова швидкість - лінійній швидкості руху машини V , сила тяги і швидкість для обох діапазонів характеристики двигуна пов'язані лінійними залежностями виду:

$$T = B - DV$$

з різними значеннями коефіцієнтів B та D для різних діапазонів характеристики двигуна.

Сила тяги T за своєю природою - статична складова тягової сили. В умовах несталого уповільненого руху бульдозера до неї додається дотична сила, передана на гусениці від інерційного моменту обертових мас трансмісії, що за відсутності прослизання дисків муфти зчеплення і бортових фрикціонів трактора буде

$$P_u = m'_{np} \ddot{x}_T.$$

На нижчих робочих передачах трансмісії у формуванні цієї сили основну роль відіграє момент інерції маховика і валів, що мають велику масу й обертаються з високими швидкостями.

Таким чином, загальна рушійна сила на гусеницях трактора при несталому русі дорівнює $T + P_u$.

Вона може досягати значень, що перевищують тягові можливості трактора за зчепленням з поверхнею ґрунту.

У цьому випадку рушійна сила стабілізується і дорівнює силі тяги трактора за умовою зчеплення:

$$T_\phi = m_T g \phi,$$

де g - прискорення вільного падіння;

φ - коефіцієнт зчеплення.

Отже, у процесі копання ґрунту бульдозером зміна сили тяги підкоряється трьом характерним закономірностям:

$T = B - DV$ - двигун працює на регуляторній ділянці зовнішньої характеристики;

$T = B_I - D_I V$ - двигун працює у зоні перевантаження;

$T = T_\varphi$ - трактор буксує.

Опір рухові бульдозера складається з опору обертанню гусениць P_f і опору копанню ґрунту P_k . Приймаємо, що копають на горизонтальній поверхні, опір руху постійний, оскільки він невеликий в порівнянні з опорами, що виникають на відвалі.

Візьмемо за основу найпростішу схему (рис. 5.3) процесу копання і проаналізуємо його спрощений математичний опис.

Якщо прийняти, що глибина різання й обсяг ґрунту перед відвалом збільшуються пропорційно переміщенню x , що близько до дійсності, то зміну опору копанню можна виразити простою залежністю:

$$P_k = Ax,$$

де A , (Н/м) – коефіцієнт пропорційності, що характеризує інтенсивність зростання опору, яку можна визначити експериментально або аналітично. Наприклад, на початку процесу копання, коли перед відвалом ґрунту ще мало, $A = Kbh/x_h$ або $A = KbV_h/V$, де x_h - шлях, пройдений бульдозером до досягнення глибини копання h ; V_h/V - відношення вертикальної швидкості опускання відвала до швидкості руху бульдозера.

У результаті маємо три диференціальних рівняння руху, що описують процес копання:

– при роботі двигуна в діапазоні регулятора

$$V_{\max} > \dot{x} > V_H \quad \text{та} \quad Ax + P_f < T_\varphi :$$

$$\ddot{x} + \frac{D}{m_{np}} \dot{x} + \frac{A}{m_{np}} x = \frac{B - P_f}{m_{np}} ;$$

– у діапазоні перевантаження $V_H > \dot{x} > V_{\min}$ та $Ax + P_f < T_\phi$:

$$\ddot{x} + \frac{D_1}{m_{np}} \dot{x} + \frac{A}{m_{np}} x = \frac{B_1 - P_f}{m_{np}},$$

– при русі з буксуванням гусениць трактора $Ax + P_f \geq T_\phi$:

$$\ddot{x} + \frac{A}{m_T} x = \frac{T_\phi - P_f}{m_T}.$$

Розглянемо можливості подальшого спрощення результатів рішення задачі визначення максимальних зовнішніх динамічних навантажень, що виникають на відвалі бульдозера.

Виконані розрахунки і результати спостережень за роботою бульдозерів показують, що екстремальні умови навантаження цих машин звичайно супроводжуються повною втратою зчеплення гусеничного ходу з поверхнею ґрунту. При цьому перехід від руху з незначним прослизанням до повного буксування досить швидкий.

На цьому режимі сповільнення поступального руху маса бульдозера досягає максимуму в момент його зупинки, інерційний момент трансмісії і статичний момент, що розвивається двигуном, можуть бути реалізовані тільки у виді максимальної сили тяги за зчепленням з ґрунтом; у той же бік діє сила інерції трактора, що поступально рухається.

Для цього випадку рішення рівняння руху для значення максимального від'ємного прискорення приводиться до наступного виду:

$$j_{\max} = -V_0 \sqrt{\frac{A}{m_T}} \sin \left(\arctg \left(-\frac{V_0}{j_0} \sqrt{\frac{A}{m_T}} \right) \right) + j_0 \cos \left(\arctg \left(-\frac{V_0}{j_0} \sqrt{\frac{A}{m_T}} \right) \right).$$

Аналіз цього виразу для розрахункових умов дозволив прийняти:

$$\sin \left(\arctg \left(-\frac{V_0}{j_0} \sqrt{\frac{A}{m_T}} \right) \right) \approx 1, \quad \cos \left(\arctg \left(-\frac{V_0}{j_0} \sqrt{\frac{A}{m_T}} \right) \right) \approx 0,$$

де V_0, j_0 - відповідно швидкість і прискорення, за яких почалося буксування трактора.

Тоді максимальне сповільнення бульдозера становитиме $j_{\max} = -V_0 \sqrt{A/m_T}$, максимальне динамічне навантаження на відвал $P_0 = V_0 \sqrt{Am_T}$, повне навантаження $P = T_\varphi - P_f + V_0 \sqrt{Am_T}$.

Отримано досить прості вирази, які можуть бути застосовані для визначення розрахункових навантажень бульдозерів. Одночасно розкривається фізичний зміст коефіцієнта динамічності.

За відносно невеликого опору коченню ($P_f \approx 0$) коефіцієнт динамічності навантаження на робоче устаткування становить:

$$K_\partial = 1 + \frac{V_0 \sqrt{Am_T}}{T_\varphi},$$

а оскільки $T_\varphi = m_T g \varphi$, то:

$$K_\partial = 1 + \frac{V_0}{g \varphi} \sqrt{\frac{A}{m_T}}.$$

Таким чином, головні фактори, що впливають на зовнішні динамічні навантаження бульдозерів, – швидкість, за якої починається буксування руху, інтенсивність зростання опорів копанню і маса машини.

Для визначення початкової швидкості буксування необхідно використовувати рівняння руху на режимах, що відповідають характеристичі двигуна. Рішення цієї задачі істотно спрощується, якщо прийняти $V_0 = V_H$.

Правомірність такого допущення підтверджується тим, що номінальна сила тяги тракторів перевіряється за умовою зчеплення і звичайно на нижчій робочій передачі вона не менше сили T_φ .

За заданої початкової швидкості і прийнятого закону зростання опорів копанню на режимі буксування вираз для визначення динамічного навантаження, що відповідає моменту зупинки машини, легко одержати з рівняння зміни кінетичної енергії:

$$\frac{m_T V_0^2}{2} = \frac{Ax^2}{2},$$

відкіля:

$$P_\phi^{\max} = Ax = V_0 \sqrt{Am_T}.$$

Отримані рівняння використовуються для визначення динамічних навантажень, що виникають у процесі копання однорідних ґрунтів, піддатливість яких істотно перевищує можливі деформації робочого устаткування і деталей, що з'єднують його з трактором.

При зіткненні відвала із твердими перешкодами необхідно враховувати жорсткість не тільки перешкоди C , але і робочого устаткування бульдозера ($C_{p.o.}$).

У даному випадку слід розглядати двомасову систему, у якій частина маси робочого устаткування може бути віднесена до трактора, але з деякою неточністю.

З огляду на звичайне співвідношення мас трактора і робочого устаткування, можна обмежитися розглядом однієї маси і введенням у складені залежності приведеної жорсткості C_{np} .

Тоді при двох послідовно з'єднаних жорсткостях:

$$C_{np} = \frac{C \cdot C_{p.o.}}{C + C_{p.o.}}.$$

Аналіз даного виразу показує, що якщо одна зі складової приведеної жорсткості значно більше за іншу, то в розрахунках її можна не враховувати, тобто вважати відповідний елемент абсолютно жорстким.

Таким чином, результатом розглянутого прикладу теоретичного дослідження динамічних процесів при роботі бульдозера є проста розрахункова формула, якою конструктор може скористатися, виконуючи орієнтовні розрахунки при прийнятті рішень про вибір елементів конструкції робочого устаткування, про можливість захисту його від поломок і залишкових деформацій. Уточнені розрахунки проводяться на заключних етапах проектування.

Не менше значення має розглянута модель системи (її функціонування) у різних умовах, що дозволяє установити задачі і шляхи подальших досліджень, спрямованих на уточнення розрахункових методів. В основу робочої гіпотези були покладені наступні головні допущення:

- керування оператора полягає в тім, що перед початком процесу копання важіль подачі палива ним встановлюється у крайнє положення, включена нижча робоча передача, механізм керування відвалами включений на опускання. Надалі втручання оператора на хід процесу виключається;

- характеристика двигуна в діапазоні регулятора і в діапазоні перевантаження описується лінійними залежностями, які отриманою експериментально в умовах статичного навантаження;

- деформаціями валів передач і корпусу трактора в порівнянні з деформаціями ґрунту можна нехтувати при визначенні зовнішніх навантажень, що виникають на відвалі бульдозера;

- рух гусеничної машини при робочих зусиллях копання, менших граничної сили зчеплення, відбувається без ковзання, а при подальшому збільшенні робочих зусиль зчеплення миттєво порушується;

- опір копанню зростає за лінійною залежністю, а високочастотними коливаннями опорів при вирішенні даної задачі динаміки можна нехтувати;

- за швидкостей копання бульдозерами можна не враховувати витрати кінетичної енергії на передачу прискорення ґрунтові, що накопичується перед відвалом.

Деякі з зазначених допущень обґрунтовані в раніше виконаних дослідженнях. Прийнятність інших вимагає експериментальної перевірки і постановки спеціальних досліджень з теорії двигунів внутрішнього згоряння, теорії різання і копання ґрунтів. Також необхідно провести спеціальні теоретичні й експериментальної роботи з оцінки жорсткості металевих конструкцій бульдозерів і враховувати їх результати при подальших дослідженнях.

5.3 Математичні методи, що застосовуються при дослідженні процесів експлуатації машин

Розрізняють **виробничу** і **технічну експлуатацію** машин. Під **виробничою експлуатацією** розуміють здійснення системи заходів,

що забезпечують найбільш ефективно використання машин, виконання ними робіт у заданий термін і з мінімальними витратами.

Технічна експлуатація - це комплексна система вимірів, спрямованих на забезпечення працездатного стану парку машин, мінімального простою машин при технічному обслуговуванні і ремонті, одержання найбільш високого відсотка готовності машин до роботи. Вимога забезпечення ефективної експлуатації машин обумовлює необхідність дослідження таких процесів за заданого критерію оптимізації.

У більшості випадків як критерій приймають питомі приведені витрати на одиницю продукції машини. Це приводить до необхідності побудови відповідних економіко-математичних моделей. Умови експлуатації машин настільки різноманітні, що вивчення процесів, які при цьому протікають, можливе переважно з застосуванням ймовірно-статистичних методів дослідження.

Більшість процесів у суспільстві і природі мають випадковий характер. Випадкові процеси, як і випадкові події в цілому, вивчають теорія ймовірностей і математична статистика. На їх основі розроблені спеціальні методи, що дозволяють знаходити рішення важливих задач, зокрема, теорія надійності та теорія обслуговування і інші.

Теорія надійності стосовно машинобудування охоплює наступні задачі:

- вивчення природи виникнення відмовлень в елементах конструкцій машин;
- забезпечення якісного рівня надійності машини на стадії її проектування, створення й експлуатації.

Теорія обслуговування використовується при вирішенні задач планування і керування робіт та реалізації вимог, що виникають випадково і потребують точного часу їхнього виконання. Особливо часто такі задачі виникають при вирішенні питань використання машин (система екскаватор - самоскид або змішувач - самоскид і т.д.) та їхнього технічного обслуговування і ремонту.

При дослідженні процесів ймовірного характеру, занадто складних для явного вирішення методами теорії ймовірностей широко застосовується метод Монте-Карло. У задачах оптимізації цей метод використовується з метою генерування випадкових точок з зони визначення цільової функції для завдання випадкових

напрянків руху до екстремуму. При імітаційному моделюванні цей метод дозволяє імітувати випадкові явища, що мають місце в реальних виробничих процесах, що моделюються.

Імітаційне моделювання - вид математичного моделювання, що дозволяє імітувати на ЕОМ реальну складну систему. Імітація на ЕОМ різко зменшує терміни дослідження, обсяг експериментів, дає можливість відтворювати будь-які ситуації. Використання цього методу ускладнено через великі витрати часу на підготовку задачі для ЕОМ і складності перевірки адекватності побудованої моделі реальним системам.

Для побудови моделей і їх дослідження застосовується також **теорія графів**. **Графом** називають безліч точок (вершини графа) і ліній (промені графа), що з'єднують деякі з цих вершин. Теорія графів розглядає операції над ними: додавання, множення, об'єднання графів. Прикладом орієнтованого графа (що виходить з одного джерела без циклів) можуть служити сіткові графіки. Інший приклад застосування теорії графів - розвиток програмно-цільових методів керування з описом ієрархічного дерева цілей.

Згадані теорії масового обслуговування, надійності і графів являють собою напрямки інтенсивно розроблюваного останнім часом загального методу дослідження операцій, покликаного вирішити дві основні задачі:

- описати безліч припустимих рішень і цільову функцію;
- знайти максимум цільової функції і припустиме рішення, що здійснює цей максимум.

Розглянемо інші теорії, розроблені в рамках дослідження операцій.

Лінійне і динамічне програмування. Лінійне програмування вирішує задачу визначення перемінних, мінімізуючи задану лінійну цільову функцію за заданих обмежень. Цей метод широко використовується при рішенні так званих транспортних задач, коли потрібно мінімізувати транспортні витрати при доставці матеріалів з різних місць у задані пункти. Динамічне програмування дозволяє вирішувати подібні задачі з урахуванням зміни діючих факторів у часі.

Теорія запасів розглядає питання визначення оптимальних запасів з урахуванням випадкового характеру їхнього поповнення і використання.

Теорія черг оптимізує число обслуговуючих пристроїв, що відповідає мінімуму загальної вартості очікування клієнтів і простою обслуговуючого пристрою.

Теорія ігор - математична теорія конфліктів - розглядає процес ухвалення рішення за часткової або повної відсутності даних про обстановку у випадку, коли інтереси граючих сторін не збігаються. Ці методи застосовують і у випадках, коли «супротивником» виступає природа. Такі задачі виникають при організації процесів у будівництві, на транспорті і т.д.

При вирішенні задач технічного обслуговування машин і устаткування вирішуються такі питання, як заміна машин, устаткування, профілактичний огляд, поточний ремонт і відновлення, організація служби технічного контролю.

5.4 Фізичне моделювання

Фізичне моделювання, як правило, застосовують при постановці лабораторних експериментів, що дозволяє істотно зменшити витрати на їхнє проведення. Цим методом можна також вирішувати задачі, коли досліджуване явище настільки складне, що не вдається скласти для нього задовільну математичну модель, або рішення сформульованої задачі стикається з нездоланими математичними труднощами.

При фізичному моделюванні зберігається фізична природа явища і змінюється тільки його масштаб. Дослідження моделей, однак, дозволяє одержати достовірну інформацію, якщо вони побудовані за законами подоби. Подібними називають системи, геометрично подібні одна до іншої, у яких однойменні величини, що характеризують явище, відносяться як постійні числа, установлені на основі законів моделювання.

Фізичне моделювання базується на наступному. Нехай досліджуване явище визначається величинами $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots, a_s$, з яких n величин - розмірні (a_1, a_2, \dots, a_n), ($s-n$) - безрозмірні (a_{n+1}, \dots, a_s). Потрібно установити закономірність $a_1=f(a_2, \dots, a_s)$.

Якщо цю залежність знаходять методом фізичного моделювання, то, відповідно до теореми теорії подоби, зазначену залежність між фізичними величинами можна замінити більш простою залежністю критеріїв подоби, тобто:

$$P_1 = f(P_2 \dots P_{s-m}),$$

де $(P_2 \dots P_{s-m})$ - критерії подоби;

m - число фізичних величин, прийнятих за базисні, котрі мають незалежні розмірності й у котрі входять всі основні одиниці величин.

Власне P -теорема формулюється так: усяке повне рівняння фізичного процесу між s величинами, записане у певній системі одиниць, може бути представлене у виді залежності між деякими $s-m$ безрозмірними комплексами, що називаються критеріями подоби. Саме можливість такого запису дозволяє скоротити число перемінних від s до $s-m$, що спрощує постановку експерименту й обробку його результатів.

Може виявитися, що $s-m = 1$. Це означає, що є всього один критерій, який виконується автоматично, і явище завжди буде подібне явищу, що наявне в оригіналі при дотриманні граничних і початкових умов.

Критерії подоби - це безрозмірні комбінації фізичних величин, що складені за певними правилами і є однаковими для групи подібних процесів. Відношення критеріїв подоби до природи і моделі називається індикатором подоби.

Перша теорема теорії подоби говорить: у подібних явищ критерії подоби чисельно рівні, а індикатори подоби дорівнюють одиниці. Ця теорема визначає необхідні умови подоби, яких, однак, може виявитися недостатньо. Необхідні і достатні умови подоби встановлює третя теорема (теорема Кирпичова й Тухмана): два фізичних явища подібні, якщо вони описуються однією й тією ж системою диференціальних рівнянь, мають подібні (початкові і граничні) умови однозначності і визначальні їхні критерії подоби чисельно рівні.

Таким чином, для здійснення фізичного моделювання процесу необхідно, насамперед, визначити критерії подоби. Відомі два методи їхнього одержання на основі аналізу: розмірністю величин, що визначають даний процес; диференціальними рівняннями, що описують даний процес.

Перевага першого - можливість одержання критеріїв подоби без знання математичної залежності між фізичними величинами

досліджуваного процесу. Однак використання цього методу не виключає помилок, що з'являються при неправильному визначенні числа величин, які характеризують процес.

Відповідно до теорії розмірності розрізняють розмірні фізичні величини (час, довжина, маса, швидкість і т.п.) і безрозмірні (коефіцієнт Пуассона, коефіцієнт опору ковзанню і т.п.). Значення розмірних величин залежать від прийнятих масштабів, тобто від системи одиниць, наприклад: $t = 1 \text{ година} = 60 \text{ хв} = 3600 \text{ с}$.

Безрозмірні величини не залежать від прийнятої системи одиниць виміру. Розмірні величини поділяють на величини з незалежними і залежними одиницями, а самі одиниці - на незалежні і залежні, основні і похідні. Наприклад, шлях, швидкість і прискорення мають залежні одиниці, оскільки одиниці кожної з них можна виразити через одиниці двох величин, що залишилися. А от шлях, прискорення і сила мають незалежні одиниці, оскільки неможливо одиниці кожної з них виразити (розподілом, множенням) через одиниці величин, що залишилися.

Вибір основних одиниць певною мірою умовний і визначає прийнятну систему одиниць виміру. У механіці звичайно вибирають три одиниці. Наприклад, в одиницях SI : шлях - s , м; час - t , с; маса - m , кг. Всі інші одиниці будуть похідними від цих трьох одиниць.

Одиниці будь-якої іншої похідної величини можна виразити формулою $s^\alpha t^\beta m^\gamma$, наприклад одиниці шляху, швидкості і прискорення будуть, відповідно: s , st^{-1} , st^{-2} .

Якщо серед величин $a_1, \dots, a_n, \dots, a_s$ ($s-n$) величин безрозмірних, то саме вони і є критеріями, що відразу можна виписати як такі. Серед n величин, що залишилися, m мають незалежні розмірності, в котрі входять всі основні одиниці виміру, тобто потрібно знайти ще $(n-m)$ критеріїв подоби. Діють тут у такий спосіб. Приймають m величин за базисні і по черзі кожну з тих, що залишилися $(n-m)$ величин записують у чисельник, а у знаменник - добуток з величин з незалежними розмірностями, кожна з яких має невідомий поки ступінь:

$$P_{s-n+1} = \frac{a_1}{(a_1')^\alpha (a_2')^\beta \dots (a_m')^\gamma}$$

$$P_{s-n-m} = \frac{a_{n-m}}{(a_1')^{\alpha m} (a_2')^{\beta m} \dots (a_m')^{\gamma m}}$$

Оскільки критерій - величина безрозмірна, відношення одиниць величин у цих рівностях повинно дорівнювати одиниці. З цієї умови визначаються значення показників ступенів. Викладене і визначає метод одержання критеріїв подоби аналізом одиниць визначальних величин. Відповідно до викладеного може бути рекомендована така послідовність дій:

- виписують усі фактори (параметри), що визначають процес;
- з них вибирають безрозмірні величини, що самі по собі є критеріями подоби;
- із тих n розмірних величин, які залишилися вибирають m базисних величин, які мають незалежні одиниці виміру, у які входять всі основні одиниці виміру;
- складають вирази для $n-m$ безрозмірних величин, для цього в кожний вираз для Π в чисельник вводять одну з $n-m$ величин з показником ступеня, що дорівнює одиниці (від першої $(n-m)$ -ї величини), у знаменник залежності записують добутки з m величин, кожна з яких зводиться в невідомий поки ступінь;
- в отриманих виразах для Π дорівнюють показники ступенів відповідних одиниць чисельника і знаменника, на підставі чого визначають значення невідомих ступенів;
- отримані в такий спосіб безрозмірні комплекси є критеріями подоби;
- для кращого виділення фізичного змісту отримані критерії аналізують, їх можна поділяти або множити, однак загальне число критеріїв повинно залишатися незмінним $(n-m)$;
- записують критерії рівняння, тобто один із критеріїв як функцію інших $s-m-l$ критеріїв.

Приведені положення визначають умови повного фізичного моделювання.

Природно, говорячи про параметри, що визначають процес, про систему визначальних рівнянь, слід пам'ятати, що вони самі по собі є певною ідеалізацією об'єкта дослідження, і в цьому змісті треба мати на увазі, що і встановлені умови визначають наближене фізичне моделювання.

Крім того, деякі критерії у визначених границях не мають істотного впливу на досліджуваний процес і в цьому плані їхній вплив можна не враховувати.

5.5 Основи методики експериментального дослідження

Експеримент - один з найбільш важливих, а в ряді випадків і найбільш трудомісткий, етап наукового дослідження. Залежно від складності процесу або явища, що вивчаються, і заданих термінів виконання роботи напрямки експериментального дослідження можуть бути різними.

У ряді випадків **мета експериментального дослідження** - установлення фізичної природи явища, механізму досліджуваного процесу, виявлення відповідних закономірностей, пізнання яких являє основу для розробки відповідної математичної моделі, побудови теорії за відповідних абстрактних узагальнень.

У таких випадках говорять про постановку пошукових експериментів. Метою експерименту може бути оцінка прийнятності допущень прийнятих при теоретичному дослідженні, установлення галузі застосування точності й теоретичних розробок, пошук вирішення поставленої задачі за відсутності теоретичних розробок. Цей метод застосовують, коли він вбачається єдино можливим, бо трудомісткість таких експериментальних досліджень найбільш висока.

Експеримент - це науково поставлений дослід, метою якого є вивчення явища в умовах, що точно враховуються, із застосуванням комплексу різноманітного устаткування і вимірювальних засобів. Незважаючи на те, що тип і умови дослідження можуть бути різними, постановці дослідів властива визначена спільність. Залежно від умов проведення дослідження, розрізняють лабораторні, польові і виробничі (експлуатаційні) експерименти.

Лабораторні експерименти проводять у випадках, коли необхідні висока відтворюваність умов постановки дослідів, виключення різного роду випадкових впливів і перешкод, одержання достатньо точних результатів за малого числа дослідів. Такого роду експерименти в більшості випадків проводять з моделями машин, робочих органів, середовищ.

Польові експерименти, як правило, проводять з натурними моделями машин для оцінки їхніх основних параметрів, що визначають технічну характеристику машин. Такого роду експерименти наближаються до реальних умов експлуатації машин, однак не цілком відтворюють них.

Виробничі (експлуатаційні) експерименти проводять шляхом інструментальних спостережень без втручання в реальні процеси, без зміни їхніх умов. Такі експерименти служать для оцінки експлуатаційних властивостей досліджуваних об'єктів. Виробничі експерименти найбільш тривалі і трудомісткі.

Методика експерименту - це сукупність положень, що визначають постановку і послідовність виконання досліджень. Вона включає у себе наступні основні етапи:

- формулювання цілей і задач дослідження;
- вибір об'єкта досліджень і умов постановки дослідів;
- розробка програми експериментів і послідовності їх проведення;
- вибір необхідного устаткування і вимірювальних засобів з урахуванням необхідної точності одержання результатів;
- постановка дослідів;
- обробка й аналіз отриманих даних.

Один з найбільш важливих етапів - вибір цілей і задач експерименту. Підставою для цього служать висновки за результатами аналізу стану питань за темою дослідження, припущення про досліджувані закономірності відповідного процесу або явища, результати теоретичних розробок.

Крім цілей і задач, методика експерименту містить вибір об'єкта дослідження, умов постановки дослідів, кількості перемінних факторів, які треба дослідити, обґрунтування прийнятих засобів вимірів і використовованого устаткування, програми експерименту, опис послідовності проведення дослідів, обробки й аналізу результатів. Відповідно до мети експерименту, об'єкт дослідження може вивчатися на моделях або на натурних установках і машинах, у штучно створених або реальних середовищах, що й визначає умови постановки дослідів.

Досліджувані перемінні фактори вибирають виходячи з аналізу ступеня впливу тих або інших параметрів на досліджуваний процес. Основою для цього є результати раніше виконаних експериментальних і теоретичних розробок, припущення про характер досліджуваного процесу, розроблені аналітичні моделі. Іноді для цього здійснюють постановку пошукових експериментів.

Відповідно до умов дослідів, обраних факторів, характеру досліджуваного процесу, явища підбирають устаткування, вимірювальні засоби.

Під устаткуванням розуміють різного роду установки, стенди, пристосування для монтажу вимірювальних засобів.

У деяких випадках такі пристрої доводиться проектувати і виготовляти відповідно до мети і задач дослідження.

При виборі засобів вимірів досліджуваних факторів, насамперед, слід орієнтуватися на прилади, що серійно випускаються, і пристрої, робота яких визначена відповідними інструкціями, стандартами або іншими документами. Якщо вони відсутні або не повною мірою задовольняють умовам постановки дослідів, конструюють

і виготовляють вимірювальні пристрої, які спеціально призначені для запропонованого дослідження.

У таких випадках слід максимально уніфікувати виготовлене обладнання з існуючими засобами вимірів. При виборі засобів вимірів постає досить важливе питання - їхня точність. Чим вище точність прийнятих засобів вимірів, тим менше число дослідів і нижче трудомісткість дослідження.

Програмою експерименту встановлюється число дослідів, їхня повторність. За невеликого числа (не більш двох-трьох) – факторів, які впливають на кінцевий результат дослідження можлива постановка класичного експерименту. У цьому випадку послідовно вивчають процес в його залежності від якого-небудь одного фактора при постійних інших. Потім здійснюють постановку дослідів при іншому перемінному факторі і т.д. Число дослідів у цьому випадку визначається кількістю перемінних факторів, числом рівнів, на яких встановлюються значення кожного фактора, і повторністю дослідів. Повторність дослідів - мінімальна кількість вимірів за даних значень факторів, обумовлена заданою точністю і надійністю результатів вимірів.

За великого числа перемінних факторів програму експерименту доцільно встановлювати відповідно до теорії математичного планування експерименту, що істотно скорочує трудомісткість дослідження.

У методиці проведення експерименту необхідно ретельно описати характер і послідовність операцій, здійснюваних при постановці дослідів, способи контролю умов експерименту. Тут же розробляються форми журналів, актів випробувань, у які вносяться дата і час постановки дослідів, результати випробувань і спостережень, приводиться опис характерних фізичних явищ, можливі

відхилення від умов проведення дослідів. У ряді випадків розраховують терміни і витрати на проведення експерименту.

Методика експерименту містить опис використовуваних методів обробки й аналізу дослідних даних, зіставлення їх з результатами теоретичних розробок. Застосовувані методи повинні забезпечувати точність і надійність отриманої інформації, її адекватність досліджуваному процесові, передбачати оцінку розбіжності між результатами розрахунків і експерименту.

Складена методика експерименту - документ, що підлягає апробації й обговоренню в науковому колективі, затвердженню керівником, що може викликати її коректування. Коли апіорної інформації про досліджуваний процес мало, таке коректування необхідне й у ході постановки дослідів. Будь-які відступи від методики, її коректування повинні бути ретельно проаналізовані та узгоджені із відповідними структурами.

РОЗДІЛ 6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Найважливішою складовою частиною наукових досліджень є експеримент, основою якого є науково поставлений дослід із точно врахованими і керованими умовами. Саме слово експеримент походить від латинського *experimentit* – проба, дослід.

У науковій мові дослідницької роботи термін «експеримент» звичайно використовується в значенні, загальному для цілого ряду сполучених понять: дослід, цілеспрямоване спостереження, відтворення об'єкта пізнання, організація особливих умов його існування, перевірка передбачення.

У це поняття вкладається наукова постановка випробувань і спостереження досліджуваного явища в конкретних умовах, що дозволяють стежити за ходом явища і відтворювати його щоразу при повторенні цих умов. Саме по собі поняття «експеримент» означає дію, спрямовану на створення умов з метою здійснення того чи іншого явища і за можливістю найбільш чистого, тобто не ускладненого іншими явищами.

Основною метою експерименту є: виявлення властивостей досліджуваних об'єктів, перевірка справедливості гіпотез і на цій основі широке і глибоке вивчення теми наукового дослідження. Постановка й організація експерименту визначаються його призначенням. Експерименти, що проводяться в різних галузях науки, є хімічними, біологічними, фізичними, психологічними, соціальними і т. под.

Вони розрізняються: за способом формування умов (природних і штучних); за цілями дослідження (перетворюючі, констатуючі, контролюючі, пошукові, вирішальні); за організацією проведення (лабораторні, натурні, польові, виробничі і т.п.); за структурою досліджуваних об'єктів і явищ (прості, складні); за характером зовнішніх впливів на об'єкт дослідження (речовинні, енергетичні, інформаційні); за характером взаємодії засобу експериментального дослідження з об'єктом дослідження (звичайний і модельний); за типом моделей, досліджуваних в експерименті (матеріальний і уявний); за контрольованими величинами (пасивний або активний); за числом варійованих факторів (однофакторний і багатофакторний); за характером досліджуваних об'єктів чи явищ (технологічні, соціологічні) тощо.

Звичайно, для класифікації можуть бути використані й інші ознаки.

З числа названих ознак природний експеримент припускає проведення випробувань у природних умовах існування об'єкта дослідження (найчастіше використовується в біологічних, соціальних, педагогічних і психологічних науках).

Штучний експеримент припускає формування штучних умов (широко застосовується в природних і технічних науках). Перетворюючий (творчий) експеримент включає активну зміну структури і функцій об'єкта дослідження відповідно до висунутої гіпотези, формування нових зв'язків і відношень між компонентами об'єкта чи між досліджуваним об'єктом та іншими об'єктами.

Дослідник відповідно до розкритих тенденцій розвитку об'єкта дослідження навмисно створює умови, що повинні сприяти формуванню нових властивостей і якостей об'єкта.

Експеримент, що констатує, використовується для перевірки певних припущень. У процесі цього експерименту констатується наявність визначеного зв'язку між впливом на об'єкт дослідження і результатом, виявляється наявність певних фактів.

Контролюючий експеримент зводиться до контролю за результатами зовнішніх впливів на об'єкт дослідження з урахуванням його стану, характеру впливу й очікуваного ефекту.

Пошуковий експеримент проводиться в тому випадку, якщо утруднена класифікація факторів, що впливають на досліджуване явище унаслідок відсутності достатніх попередніх (апріорних) даних. За результатами пошукового експерименту встановлюється значущість факторів, здійснюється відсівання незначущих.

Вирішальний експеримент ставиться для перевірки справедливості основних положень фундаментальних теорій у тому випадку, коли дві чи декілька гіпотез однаково погоджуються з багатьма явищами. Ця узгодженість приводить до утруднення, яку саме з гіпотез вважати правильною.

Вирішальний експеримент дає такі факти, що погоджуються з однією з гіпотез і суперечать іншим. Прикладом вирішального експерименту служать випробування з перевірки справедливості теорії світла Ньютона і хвилеподібної теорії Гюйгенса. Ці випробування були поставлені французьким вченим Фуко (1819–1868). Вони торкалися питання про швидкість поширення світла усередині прозорих тел.

Відповідно до гіпотези Ньютона, швидкість світла усередині таких тіл повинна бути більше, ніж у порожнечі. Але Фуко своїми ви-

пробуваннями довів зворотне, тобто що в менш щільному середовищі швидкість світла більша. Це і був той вирішальний дослід, що вирішив суперечку між двома гіпотезами (у даний час гіпотеза Гюйгенса замінена електромагнітною гіпотезою Максвелла).

Лабораторний експеримент проводиться в лабораторних умовах із застосуванням типових приладів, спеціальних моделюючих пристроїв, стендів, устаткування і таке інше.

Найчастіше в лабораторному експерименті вивчається не сам об'єкт, а його зразок. Цей експеримент дозволяє доброякісно, з необхідною повторністю вивчити вплив одних характеристик при варіюванні інших, одержати цікаву наукову інформацію з мінімальними витратами часу і ресурсів. Однак такий експеримент не завжди цілком моделює реальний хід досліджуваного процесу, тому виникає потреба в проведенні натурального експерименту.

Натурний експеримент проводиться в природних умовах і на реальних об'єктах. Цей вид експерименту часто використовується в процесі натурних випробувань виготовлених систем. Залежно від місця проведення випробувань натурні експерименти підрозділяються на виробничі, польові, полігонні, напівнатурні і т. ін.

Натурний експеримент завжди вимагає ретельного продумання і планування, раціонального підбору методів дослідження. Практично у всіх випадках основна наукова проблема натурального експерименту – забезпечити достатню відповідність (адекватність) умов експерименту реальній ситуації, у якій буде працювати згодом створюваний об'єкт.

Тому центральними задачами натурального експерименту є: вивчення характеристик впливу середовища на випробуваний об'єкт, ідентифікація статичних і динамічних параметрів об'єкта, оцінка ефективності функціонування об'єкта і перевірка його на відповідність заданим вимогам.

Експерименти можуть бути відкритими і закритими, такі експерименти широко поширені в психології, соціології та педагогіці.

У відкритому експерименті його задачі відкрито повідомляють піддослідним особам, у закритому – з метою одержання об'єктивних даних – ці задачі приховані від них.

Будь-яка форма відкритого експерименту впливає на суб'єктивну сторону поведінки піддослідних осіб. У цьому зв'язку відкритий експеримент доцільний тільки тоді, коли є можливість і

достатня впевненість у тому, що вдасться викликати у піддослідної особи бажання взяти активну участь і суб'єктивно підтримати намагання досягти результату експерименту.

Закритий експеримент характеризується тим, що його ретельно маскують, тобто піддослідна особа не здогадується про експеримент і робота протікає зовні в природних умовах. Такий експеримент не викликає у піддослідних осіб підвищеної сторожкості і зайвого самоконтролю, прагнення поводитися не так, як звичайно.

Простий експеримент використовується для вивчення об'єктів, що не мають розгалуженої структури, з невеликою кількістю взаємозалежних і взаємодіючих елементів, що виконують найпростіші функції.

У складному експерименті вивчаються явища чи об'єкти з розгалуженою структурою (можна виділити ієрархічні рівні) і великою кількістю взаємозалежних і взаємодіючих елементів, що виконують складні функції.

Високий ступінь пов'язаності елементів приводить до того, що зміна стану якого-небудь елемента чи зв'язку спричиняє зміну стану багатьох інших елементів системи.

У складних об'єктах дослідження можлива наявність декількох різних структур, декількох різних цілей. Але усе-таки конкретний стан складного об'єкта може бути описано. У дуже складному експерименті вивчається об'єкт, стан якого з тих чи інших причин до цього часу не вдається докладно і точно описати. Наприклад, для опису потрібно більше часу, ніж той, який має дослідник між змінами станів об'єкта чи коли сучасний рівень знань недостатній для проникнення в суть зв'язків об'єкта (або вони незрозумілі).

Інформаційний експеримент використовується для вивчення впливу певної (різної за формою і змістом) інформації на об'єкт дослідження (найчастіше інформаційний експеримент використовується в біології, психології, соціології, кібернетиці і т.п.). За допомогою цього експерименту вивчається зміна стану об'єкта дослідження під впливом інформації, що повідомляється йому.

Речовинний експеримент припускає вивчення впливу різних речовинних факторів на стан об'єкта дослідження. Наприклад, вплив різних домішок на якість сталі і т.п.

Енергетичний експеримент використовується для вивчення впливу різних видів енергії (електромагнітної, механічної, теплової і

т. ін.) на об'єкт дослідження. Цей тип експерименту широко розповсюджений у природничих науках.

Звичайний (чи класичний) експеримент включає експериментатора як суб'єкта чи об'єкта предмету експериментального дослідження і засоби (інструменти, прилади, експериментальні установки), за допомогою яких здійснюється експеримент.

У звичайному експерименті експериментальні засоби безпосередньо взаємодіють з об'єктом дослідження. Вони є посередниками між експериментатором і об'єктом дослідження.

Моделльний експеримент на відміну від звичайного має справу з моделлю досліджуваного об'єкта. Модель входить до складу експериментальної установки, заміщаючи не тільки об'єкт дослідження, але часто й умови, у яких вивчається деякий об'єкт.

Моделльний експеримент при розширенні можливостей експериментального дослідження одночасно має і ряд недоліків, пов'язаних з тим, що розходження між моделлю і реальним об'єктом може стати джерелом помилок, і крім того, екстраполяція результатів вивчення поведінки моделі на моделюємий об'єкт вимагає додаткових витрат часу, теоретичного обґрунтування правомірності такої екстраполяції.

Розходження між знаряддями експерименту при моделюванні дозволяє виділити уявний і матеріальний експеримент. Знаряддями уявного експерименту є уявні моделі досліджуваних об'єктів чи явищ (почуттєві образи, образно-знакові моделі, знакові моделі).

Для позначення уявного експерименту іноді користуються термінами: ідеалізований чи уявний експеримент. Уявний експеримент є однією з форм розумової діяльності суб'єкта - дослідника, що у процесі якої відтворюється в уяві структура реального експерименту.

Структура уявного експерименту включає: побудову уявної моделі об'єкта дослідження, ідеалізованих умов експерименту і впливів на об'єкт, свідому і планомірну зміну, комбінування умов експерименту і впливів на об'єкт, свідоме і точне застосування на всіх стадіях експерименту об'єктивних законів науки, завдяки чому виключається абсолютна сваволя. У результаті такого експерименту формуються висновки.

Матеріальний експеримент має аналогічну структуру. Однак у матеріальному експерименті використовуються матеріальні, а не ідеальні об'єкти дослідження. Основна відмінність матеріального ек-

сперименту від уявного в тому, що реальний експеримент являє собою форму об'єктивного матеріального зв'язку свідомості з зовнішнім світом, тим часом як уявний експеримент є специфічною формою теоретичної діяльності суб'єкта.

Подібність уявного експерименту з реальним значною мірою визначається тим, що всякий реальний експеримент, перш ніж бути здійсненим на практиці, спочатку проводиться людиною думкою в процесі обмірковування і планування. Тому уявний експеримент нерідко виступає в ролі ідеального плану реального експерименту, у певному розумінні випереджаючи його.

Уявний експеримент має більш широку сферу застосування, ніж реальний експеримент, тому що застосовується не тільки при підготовці і плануванні останнього, але й у тих випадках, коли проведення реальних випробувань є неможливим. Так, Галілей в уявному експерименті прийшов до висновку про існування руху за інерцією, що звело нанівець точку зору Аристотеля, відповідно до якої тіло, що рухається, зупиняється, якщо сила, що його штовхає, припиняє свою дію.

Цей висновок міг бути отриманий тільки за допомогою уявного експерименту. З цього приводу А. Ейнштейн говорив наступне: «Ми бачили, що закон інерції не можна вивести безпосередньо з експерименту, його можна вивести лише шляхом уявного експерименту, який пов'язаний зі спостереженням. Такий експеримент ніколи не можна виконати в дійсності, хоча він веде до глибокого розуміння реальних експериментів».

Уявний експеримент, замінюючи собою реальний, розширює границі пізнання, тому що забезпечує одержання такої інформації, яку іншими засобами добути неможливо. Уявний експеримент дозволяє перебороти неминучу обмеженість реального досліду шляхом абстрагування від небажаних впливів, які затемнюють результати і повне усунення яких у реальному експерименті практично недосяжне.

Уявний експеримент є істотним моментом усякої творчої діяльності.

Уявний експеримент використовується не тільки вченими, але і письменниками, художниками, педагогами, лікарями. Уявне експериментування яскраво виявляється в мисленні шахістів. Величезна роль уявного експерименту в технічному конструюванні і винахідництві. Результати уявного експерименту знаходять висвітлення у формулах, кресленнях, графіках, ескізних проектах і т.п.

Пасивний експеримент передбачає вимір тільки обраних показників (параметрів, перемінних) у результаті спостереження за об'єктом без штучного втручання в його функціонування.

Прикладами пасивного експерименту є спостереження: за інтенсивністю, складом, швидкостями руху транспортних потоків; за числом захворювань взагалі чи якою-небудь визначеною хворобою; за працездатністю певної групи працівників; за показниками, що змінюються з віком; за числом дорожньо-транспортних подій тощо.

Пасивний експеримент, власне кажучи, є спостереженням, що супроводжується інструментальним виміром обраних показників стану об'єкта дослідження.

Активний експеримент пов'язаний з вибором спеціальних вхідних сигналів (факторів) і контролює вхід і вихід досліджуваної системи.

Однофакторний експеримент припускає виділення потрібних факторів, стабілізацію факторів, що заважають, та почергове варіювання цікавих для дослідника факторів.

Стратегія багатфакторного експерименту полягає в тому, що варіюються всі перемінні відразу, і кожен ефект оцінюється за результатами всіх випробувань, проведених у даній серії експериментів.

Технологічний експеримент спрямований на вивчення елементів технологічного процесу (продукції, устаткування, діяльності працівників і т.п.) чи процесу в цілому.

Соціологічний експеримент використовується для виміру існуючих міжособистісних соціально-психологічних відносин у малих групах з метою їхньої наступної зміни.

Як уже відзначалося, приведена класифікація експериментальних досліджень не може бути визнана повною, оскільки з розширенням наукового знання розширюється й галузь застосування експериментального методу. Крім того, залежно від задач експерименту різні його типи можуть поєднуватися, утворювати комплексний чи комбінований експеримент.

Для проведення експерименту будь-якого типу необхідно: розробити гіпотезу, що підлягає перевірці; створити програми експериментальних робіт; визначити способи і прийоми втручання в об'єкт дослідження; забезпечити умови для здійснення процедури експериментальних робіт; розробити шляхи і прийоми фіксування

ходу і результатів експерименту; ретельно підготувати засоби експерименту (прилади, установки, моделі і т.п.); забезпечити експеримент необхідним обслуговуючим персоналом.

Результати експериментів повинні бути зафіксовані зручним способом у таблицях, графіках, формулах, номограмах, що дозволяє швидко і доброякісно зіставляти отримані результати та проводити їх аналіз. Усі перемінні повинні бути оцінені в єдиній системі одиниць фізичних величин.

Особлива увага в методиці повинна бути приділена математичним методам обробки й аналізу отриманих дослідних даних, наприклад, встановленню емпіричних залежностей, апроксимації зв'язків між характеристиками, що варіюються, встановленню критеріїв і довірчих інтервалів і ін. Діапазон чутливості (нечутливості) критеріїв повинен бути стабілізований (експлікований).

Результати експериментів повинні відповідати трьом статистичним вимогам: вимозі ефективності оцінок, тобто мінімальності дисперсії відхилення щодо невідомого параметра, вимозі обґрунтованості оцінок, тобто за збільшення числа спостережень оцінка параметра повинна наближатись до його істинного значення; вимозі не зміщення оцінки – відсутність систематичних помилок у процесі обчислення параметрів.

Найважливішою проблемою при проведенні й обробці експерименту є сумісність цих трьох вимог.

Після розробки і затвердження методики встановлюється обсяг і трудомісткість експериментальних досліджень, що залежать від глибини теоретичних розробок, ступеня точності прийнятих засобів вимірів (чим чіткіше сформульована теоретична частина дослідження, тим менше обсяг експерименту).

Залежно від попередньої теоретичної підготовки можливі три випадки проведення експерименту: 1) якщо теоретично отримана аналітична залежність, що однозначно визначає досліджуваний процес, то обсяг експерименту для підтвердження даної залежності виявляється мінімальним, оскільки функція однозначно визначається експериментальними даними; 2) якщо теоретичним шляхом встановлений лише характер залежності, тобто задане сімейство кривих, то експериментальним шляхом необхідно визначити коефіцієнти і, отже, обсяг експерименту зростає; 3) якщо теоретично не удалося одержати яких-небудь залежностей і розроблені

лише припущення про якісні закономірності процесу, то доцільний пошуковий експеримент, при якому обсяг експериментальних робіт різко зростає.

У таких випадках доречно застосовувати метод математичного планування експерименту.

На обсяг і трудомісткість проведення експериментальних робіт істотно впливає вид експерименту.

Наприклад, польові експерименти, як правило, завжди мають велику трудомісткість, що слід враховувати при плануванні.

Після встановлення обсягу експериментальних робіт складається перелік необхідних засобів вимірів, обсяг матеріалів, список виконавців, календарний план і кошторис витрат.

План-програму розглядає науковий керівник, обговорюють у науковому колективі і затверджують у встановленому порядку.

При розробці плану-програми експерименту завжди необхідно прагнути до його спрощення, наочності без втрати точності і вірогідності. Це досягається попереднім аналізом і зіставленням результатів вимірів того самого параметра різними технічними засобами, а також методів обробки отриманих результатів.

В умовах інтенсифікації проведення наукових досліджень найважливіше місце в процесі підготовки експерименту повинно приділятися його автоматизації із введенням експериментальних даних безпосередньо в ЕОМ, з розрахунком результуючих показників, з автоматичним керуванням ходу експерименту (послідовністю і повторністю вимірів, визначенням середніх значень, побудовою графіків і таке інше).

6.1 Метрологічне забезпечення експериментальних досліджень

Важливе місце в експериментальних дослідженнях займають виміри. Відповідно до стандарту, **вимір** – це визначення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів. Суть виміру полягає в порівнянні вимірюваної величини з відомою величиною, прийнятою за одиницю (еталон).

Теорією і практикою вимірів займається **метрологія** – наука про виміри, методи і засоби забезпечення їхньої єдності і способи досягнення необхідної точності.

До основних проблем метрології відносяться: загальна теорія вимірів; одиниці фізичних величин (величини, яким за визначенням

привласнене числове значення, рівне одиниці) та їх системи (сукупність основних і похідних одиниць, утворена відповідно до деяких принципів, наприклад, міжнародна система одиниць – *SI*); методи і засоби вимірів (до методів відносять сукупність прийомів використання принципів і технічних засобів, застосовуваних при вимірах і метрологічних властивостях, що мають нормування); методи визначення точності вимірів; основи забезпечення єдності вимірів, за яких результати виміру виражені в узаконених одиницях, а похибки вимірів відомі з заданою імовірністю, що можливо при однаковості засобів виміру (засоби вимірів повинні бути проградуйовані в узаконених одиницях, а їхні метрологічні властивості – відповідати нормам).

Найважливіші значення в метрології приділяються еталонам і зразковим засобам вимірів. До еталонів відносяться засоби вимірів (чи комплекс засобів вимірів), що забезпечують відтворення і збереження одиниці з метою передачі її розміру нижчим засобам виміру. Еталони виконані за особливою специфікацією.

Метрологічна служба пов'язана з усією системою стандартизації в країні, оскільки метрологія сама є, власне кажучи, стандартизацією вимірів і однією з основ стандартизації, тому що забезпечує вірогідність, порівнянність показників якості, що закладаються у стандарти, дає методи визначення і контролю таких показників. Ці передумови визначають ту велику увагу, що приділяється розвитку метрологічної служби у всіх її аспектах.

Метрологічна служба являє собою розгалужену мережу наукових і контрольно-випробувальних організацій, здатних виконувати значні роботи, як у науково-теоретичному, так і в прикладних аспектах точних вимірів. На сьогодні усю роботу зі стандартизації і метрології в країні очолює Державний комітет стандартів Кабінету Міністрів (Держстандарт), задачами якого є удосконалення системи стандартизації і метрології, розширення масштабів використання стандартизації і метрології як ефективного засобу підвищення технічного рівня й якості продукції у всіх галузях господарства, зміцнення і розвиток державної метрологічної служби, стандартизація методів, засобів вимірів тощо.

Основоположником метрології як науки в нашій країні був великий російський учений Д. І. Менделєєв, який створив у 1893 р. Головну Палату мір і ваг, та провів, зокрема, велику роботу з впровадження метричної системи (1918–1927).

Нині науково-дослідні метрологічні інститути працюють в Харкові і Львові. У Києві організована лабораторія нагляду за стандартами і вимірювальною технікою, а в найбільших наукових і промислових центрах – Харкові, Донецьку, Дніпропетровську й інших – центри стандартизації і метрології.

Важливою ланкою метрологічної служби, створеною як у міністерствах та інших відомствах у цілому, так і на окремих, підлеглих їм підприємствах, у науково-дослідних інститутах, вузах, є відомча метрологічна служба – важлива складова частина метрологічної служби країни, призначена для проведення повсякденної систематичної роботи в даному відомстві чи на даному підприємстві із забезпечення загальнодержавної єдності вимірів. З цього випливає нерозривний зв'язок відомчої метрологічної служби з державною, котра в цьому питанні є провідною, вирішальною і контролюючою.

Функціями органів відомчої служби є нагляд за станом усіх засобів вимірів, які знаходяться в застосуванні, або зберігаються в місцях видачі і на складах, за правильним застосуванням вимірювальних і випробувальних пристроїв, усіма способами перевірки, що у більшості випадків перебувають у безпосереднім підпорядкуванні органів відомчої метрологічної служби, а також розробка методів перевірки засобів вимірів з максимальним наближенням умов перевірки до умов експлуатації, контроль за дотриманням стандартів на методи вимірів і розробка цих стандартів.

Фахівці цієї служби здійснюють також метрологічний контроль операцій з випробування готової продукції й удосконалення методів контролю й випробувань з метою забезпечення підвищення якості продукції й ін.

Методи виміру можна підрозділити на прямі і непрямі. При прямих вимірах шукану величину встановлюють безпосередньо з випробування.

Розрізняють також абсолютні і відносні виміри. **Абсолютні** - це прямі виміри в одиницях вимірюваної величини; **відносні виміри** являють собою відношення вимірюваної величини до однойменної величини, що відіграє роль одиниці виміру цієї величини стосовно однойменної, прийнятої за вихідну. Наприклад, вологість повітря приймається у відносних одиницях (відсотках) стосовно повного його водонасичення.

У дослідженнях застосовуються сукупні і спільні виміри. При **сукупних вимірах** одночасно виміряються кілька однойменних величин, а шукану величину при цьому знаходять шляхом рішення системи рівнянь. При спільних вимірах одночасно проводять виміри не однойменних величин для встановлення залежності між ними.

Виділяється кілька основних методів виміру. **Метод безпосередньої оцінки** відповідає визначенню значення величини безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального приладу прямої дії (наприклад, вимір маси на циферблатних вагах).

При використанні методу порівняння з мірою вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою (наприклад, вимір маси на підйомних вагах зі зрівноважуванням гирями). При методі протиставлення здійснюється порівняння з мірою (вимірювана величина і величина, відтворена мірою, одночасно впливають на прилад, за допомогою якого встановлюється співвідношення між цими величинами, як, наприклад, при вимірі маси на рівно-плечових вагах із розміщенням вимірюваної маси і гирь на двох протилежних чашках ваг).

При диференціальному методі на вимірювальний прилад впливає різниця вимірюваної і відомої величини, відтвореної мірою (наприклад, виміри, виконувані при перевірці мір довжини порівнянням зі зразковою мірою на компараторі).

При нульовому методі результуючий ефект впливу величини на прилад доводять до нуля (наприклад, вимір електричного опору мостом з повним його зрівноважуванням).

При методі заміщення обмірювану величину заміщають відомою величиною, відтвореною мірою (наприклад, зважування з почерговим поміщенням вимірюваної маси і гирі на ту саму чашку ваг).

При методі збігів різниця між вимірюваною величиною і величиною, відтвореною мірою, виміряється з використанням збігу оцінок шкал чи періодичних сигналів.

Невід'ємною частиною експериментальних досліджень є засоби вимірів, тобто сукупність технічних засобів, що мають нормовані похибки, що подають необхідну інформацію для експериментатора.

На сьогодні приладобудуванням випускається велика кількість засобів вимірів і спостережень для виміру показників – фізичних, механічних, хімічних властивостей, а також структури матеріалу і виробу тощо.

Поряд з цим можна виділити засоби виміру, що дозволяють безпосередньо визначити випробуваний показник (наприклад, прес для визначення міцності матеріалів), і виміру, що дають можливість побічно судити про досліджуваний показник (ультразвукові дефектоскопи дозволяють оцінити міцність матеріалу за швидкістю проходження ультразвуку).

До засобів вимірів відносять міри, вимірювальні прилади, установки і системи. Найпростішим засобом виміру є міра, призначена для відтворення фізичної величини заданого розміру (наприклад, гиря – міра маси).

Вимірювальним приладом називають засіб виміру, призначений для одержання певної інформації про досліджувану величину в зручній для експериментатора формі. У цих приладах вимірювана величина перетворюється на показання чи сигнал.

Прилади складаються з двох основних вузлів: сприймаючого сигнал і перетворюючого на показання. Прилади класифікують, наприклад, за способом відліку значення вимірюваної величини, що показують і реєструють. Найбільш поширеними є аналогові прилади, що показують, відлікові пристрої яких складаються зі шкали і покажчика.

Ці прилади дають показання без будь-яких додаткових операцій експериментатора. Однак меншу похибку мають цифрові прилади, що показують (механічні, електронні й інші).

Відліковий механізм таких приладів фіксує вимірювану величину у вигляді цифр. Прилади, що реєструють, бувають самописними і друкованими. Самописні прилади (термограф, шлейфовий осцилограф та ін.) видають графік вимірів. Друковані прилади видають вимір у вигляді цифр на стрічці.

Прилади також класифікують за точністю вимірів, стабільністю показань, чутливістю, межами виміру й інші.

Вимірювальна установка (стенд) являє собою систему, що складається з основних і допоміжних засобів вимірів, призначених для виміру однієї чи декількох величин.

Установки містять у собі різні засоби вимірів і перетворювачі, призначені для одно- чи багатоступінчастого перетворення сигналу до такого рівня, щоб можна було зафіксувати його вимірювальним механізмом. Перетворювачі, що збільшують у кілька разів на виході величину без зміни її фізичної сутності, називають масштабними (трансформатори, електронні підсилювачі й інші).

Є також перетворювачі, що вхідний сигнал можуть перетворювати, змінюючи його фізичну сутність. Так, електромеханічний перетворювач перетворює електричний сигнал на вході в механічний на виході чи навпаки. Один прилад може мати кілька перетворювачів, що змінюють на виході вимірювану величину в різних діапазонах, зручних при вимірі певної величини.

Вимірювальні установки можуть виробляти також сигнали, зручні для автоматичної обробки результатів вимірів. Нерідко при проведенні експериментів доводиться створювати вимірювальні установки з фіксацією різних фізичних величин.

Вихідний сигнал засобів виміру фіксується відліковими пристроями, що бувають шкальними, цифровими і реєструючими. Шкала є важливою частиною приладу. Відстань у міліметрах між двома суміжними оцінками на шкалі називають **довжиною розподілу шкали**. Різниця між значеннями вимірюваної величини, що відповідає початку і кінцю шкали, називають **діапазоном показань приладу**.

Вимірювальні прилади (відлікові пристрої) характеризуються величиною похибки і точністю, стабільністю вимірів і чутливістю. Похибки приладів бувають абсолютними і відносними.

Похибка засобу виміру – одна з найважливіших його характеристик. Вона виникає внаслідок застосування для виготовлення приладів недоброякісних матеріалів та комплектуючих виробів, поганої якості виготовлення приладів, незадовільної експлуатації й ін. Істотний вплив справляють градуїровка шкал і періодична перевірка приладів.

Крім цих систематичних похибок виникають випадкові, обумовлені сполученнями різних випадкових факторів, – помилками відліку, паралаксом, варіацією і таке інше. Таким чином, необхідно розглядати не які-небудь окремі, а сумарні похибки приладів.

Діапазоном вимірів називають ту частину діапазону показань приладу, для якої встановлені похибки приладу (якщо відомі похибки приладу, то діапазон вимірів і показань приладу збігається).

Прилади не можна перевантажувати, хоча деякі прилади витримують перевантаження, але згодом похибки у верхній межі виміру істотно зростають.

Різницю між максимальним і мінімальним показаннями приладу називають **розмахом**. Якщо ця величина непостійна, тобто якщо при зворотному ході наявне збільшення чи зменшення ходу, то цю різницю називають **варіацією показань**.

Іншою характеристикою приладу є його чутливість, тобто здатність пристрою, що відраховує, реагувати на зміни вимірюваної величини. Під порогом чутливості приладу розуміють найменше значення обмірюваної величини, що викликає зміну показання приладу, яку можна зафіксувати.

Основною характеристикою приладу є його точність. Вона характеризується сумарною похибкою.

Засоби виміру поділяються на класи точності. **Клас точності** – це узагальнена характеристика, обумовлена межами основної і додаткових похибок, що допускаються і впливають на точність.

Стабільність (відтворюваність приладу) – це властивість відлікового пристрою забезпечувати сталість показань однієї й тієї ж величини. Згодом у результаті старіння матеріалів стабільність показань приладів порушується.

Стабільність приладу визначається варіацією показання. Тому при встановленні стабільності нормують величину варіації, що допускається.

На усі вимірювальні прилади тією чи іншою мірою діє магнітне поле. Тому ряд електровимірювальних приладів повинен бути захищений від дії магнітного поля, а також електростатичних явищ. У спеціальній метрологічній літературі розроблені схеми захистів I (більш висока) і II категорій.

В останні роки при дослідженнях різних процесів почали широко застосовуватися електричні, електронні, частотні, радіоізотопні й інші прилади. Такі прилади, як правило, вимагають додаткового захисту від пилу, вібрації, газу, світла й ін.

Відсутність такого захисту може викликати похибки, що перевищують припустимі.

Усі засоби виміру (прилади, використовувані для виміру в наукових дослідженнях) проходять періодичну перевірку на точність. Така перевірка передбачає визначення і за можливістю зменшення похибок приладу.

Перевірка дозволяє установити відповідність даного приладу регламентованому ступеню точності і визначає можливість його застосування для даних вимірів, тобто визначаються похибки і встановлюється, чи не виходять вони за межі значень, що допускаються.

Перевірку засобів вимірів здійснюють на різних рівнях – від спеціальних державних організацій до низових ланок. Державні

метрологічні інститути виконують державний контроль за забезпеченням у країні єдності вимірів.

На високоточні вимірювальні засоби державні метрологічні організації видають спеціальне посвідчення, у якому після перевірки вказують номінальні значення вимірюваної величини, клас точності, граничну похибку, що допускається, результати перевірки похибки приладу у вигляді таблиць, варіації вимірів.

Для приладів меншої відповідальності посвідчення може не видаватися і замінятися лише вказівкою про те, що прилад задовольняє вимогам стандарту чи інструкції. Замість інструкції прилад (чи футляр) маркують клеймом перевірки.

Вимірювальні прилади й установки різних організацій піддають обов'язковій державній перевірці раз у 1 - 2 роки. При відповідному поводженні з приладами цього терміну цілком достатньо для гарантованої експлуатації.

Однак у ряді випадків унаслідок недбалого поводження з приладами їхні експлуатаційно-вимірювальні характеристики можуть порушуватися і тоді перевірка потрібна раніше.

У періоди між державними перевірками здійснюється відомча перевірка засобів вимірів, що за обсягом робіт іноді мало чим відрізняється від державних перевірок, але, як правило, проводиться за скороченою програмою. Такі перевірки більш оперативні (чим державні) і проводяться за графіком, розробленим для даної організації.

Аналіз експлуатаційних якостей вимірювальних засобів показав, що прилади й установки, що зберігались тривалий час на складах (1–2 роки), піддаються старінню і погіршують свої властивості. Іноді при цьому похибки перевищують припустимі значення. Тому вимірювальні засоби, збережені на складі, перед застосуванням необхідно обов'язково піддати перевірці.

Робоча перевірка засобів вимірів проводиться в низових ланках кожним експериментатором, безпосередньо в організаціях пере-виконуються різні операції: визначаються діапазон вимірів, варіації вимірів й ін. В окремих випадках виконують регулювання і градування засобів вимірів.

Під регулюванням приладу розуміють операції, спрямовані на зниження систематичних помилок до величини, меншої за припустиму похибку. Вимірювальні прилади звичайно забезпечені двома вузлами для регулювання нуля і чутливості. Регулювання нуля при-

значене для усунення систематичних помилок у діапазоні нижньої межі вимірів.

У ряді випадків виникають систематичні похибки, що лінійно зростають чи убувають зі зміною вимірюваної величини. Таку похибку регулюванням нуля усунути неможливо. Її можна зменшити за допомогою регулювання чутливості.

Оскільки похибка різна на різних ділянках довжини шкали, то за допомогою одночасного регулювання вузла нуля і чутливості досягають істотного зниження систематичної помилки приладу на початку, в середині і кінці діапазону вимірів.

Найбільш розповсюдженим способом перевірки приладу і оцінки його експлуатаційних характеристик є спосіб порівняння. Суть його зводиться до зіставлення приладу, що перевіряється, зі зразковим при вимірі однієї й тієї ж величини.

За відліком судять про похибку, що має прилад, який перевіряється. Важливим моментом в організації експерименту є вибір засобів вимірів. Засоби виміру повинні максимально відповідати тематиці, меті і задачам НДР, забезпечувати високу продуктивність праці експериментальних робіт, забезпечувати необхідну якість експериментальних робіт (тобто заданий ступінь точності за мінімальною кількістю вимірів, високу відтворюваність і надійність), найбільшою мірою виключати систематичні помилки (бажано максимально використовувати засоби вимірів з автоматичним записом), мати високу економічну ефективність (тобто мінімум витрат людських, грошових і матеріальних ресурсів), забезпечувати ергономічні вимоги експерименту (антропометричні, санітарно-гігієнічні, психофізіологічні тощо), забезпечувати вимоги техніки безпеки і пожежної профілактики.

Таким чином, метрологічне забезпечення наукових досліджень і особливо забезпечення єдності вимірів і одноманітності засобів виміру є найважливішим чинником успішного проведення наукових досліджень. Без успішного розвитку метрології не можливий прогрес у розвитку науки і, навпаки, без успішного розвитку науки не можливий прогрес у метрології.

6.2 Робоче місце експериментатора і його організація

Робочим місцем називається частина робочого простору, на яку поширюється безпосередній вплив експериментатора в процесі дослідження.

Робочий простір – це частина лабораторного чи виробничого приміщення, що оснащена необхідними експериментальними засобами й обслуговується одним чи групою дослідників.

Робочий простір може бути стаціонарним (у лабораторіях, науково-дослідних установах, полігонах і т.п.), умовно-стаціонарним (у пересувних лабораторіях, тимчасових полігонах), та мобільним (у ходових лабораторіях).

Лабораторія являє собою спеціально обладнане приміщення, в якому проводяться експериментальні дослідження.

Відповідно до особливостей робочого простору можна виділяти три типи дослідницьких лабораторій: **стаціонарні, пересувні і ходові.**

Робоче місце стаціонарної лабораторії комплектується спеціальним робочим столом.

Залежно від призначення лабораторії кожен лабораторний стіл, крім води, електрики і газу, може додатково забезпечуватися підведенням пари, стиснутого повітря і загального вакууму.

На столах розміщуються також штепселі для включення електричних моторчиків, настільних ламп, обчислювальних машинок, нагрівальних приладів (паяльники, плитки), розташовуваних на шматках товстого листового азбесту.

Особливу увагу треба приділяти освітленості робочого місця.

Устаткування пересувних лабораторій є близьким до стаціонарних, але трохи уступає їм через недостачу площі.

Пересувні лабораторії, замість лабораторних столів, оснащуються робочою поверхнею (відкидний столик) для ведення необхідних записів у процесі проведення експерименту.

Дослідник (експериментатор) у лабораторії виконує відповідальну роботу, від якої часто залежить правильність рішення розділів розпоряджень методики, акуратність, старанність підготовки експерименту, уважність при його проведенні, що є найголовнішими умовами ефективності експериментальної роботи.

Приступаючи до проведення експерименту, дослідник повинен ще раз обміркувати й уточнити методику, підготувати всю необхідну документацію (акти, лабораторні зошити, журнали), що призначені для реєстрації ходу і результатів випробувань.

Усі аналізи, визначення і спостереження необхідно записувати в спеціальний журнал, форма якого повинна щонайкраще

відповідати досліджуваному процесу з максимальною фіксацією усіх фактів і умов їхнього прояву.

При одержанні в одному статистичному ряді результатів, що різко відрізняються від сусідніх вимірів, виконавець повинен, проте, записати всі дані без перекручувань і вказати обставини, що супроводжують зазначений вимір. Це потім дозволить установити причини відхилень (перекручувань) і відповідним чином кваліфікувати такі виміри.

Якщо в процесі виміру необхідні найпростіші розрахунки, то вони повинні бути внесені до журналу чи окремого зошита із зазначенням дня чи місяця проведення досліду, номеру і серії випробувань.

Лабораторні журнали і зошити – важливі документи. Тому вони повинні зберігатися належним чином і забезпечувати можливість легкої перевірки.

Потрібно прагнути не допускати виправлень, а в разі потреби вони повинні робитися так, щоб не виникало плутанини при розрахунках. Кожне виправлення повинно супроводжуватися підписом експериментатора і короткою довідкою про його причину.

Ніяких записів чи позначок, що не стосуються до справи, у лабораторних журналах і зошитах робити не можна.

При проведенні експерименту виконавець повинен безупинно стежити за засобами вимірів, стійкістю апаратів і установок, правильністю їхніх показань, характеристикою навколишнього середовища, не допускати сторонніх осіб у робочу зону. Виконавець зобов'язаний систематично проводити перевірку засобів вимірів.

Одночасно з проведенням наступних вимірів виконавець повинен проводити попередню обробку результатів та їхній аналіз. Тут особливо повинні виявлятися його творчі здібності. Такий аналіз дозволяє контролювати досліджуваний процес, коректувати експеримент, поліпшувати методика і підвищувати ефективність експерименту.

У процесі проведення експериментальних робіт необхідно дотримуватись вимог інструкцій з промислової санітарії, техніки безпеки, пожежної профілактики. Особливу увагу слід приділяти задачі зменшення шуму при експерименті, стану газових кранів і електроустаткування. Всі електроприлади повинні заземлюватись. Газові крани повинні періодично перевірятися фахівцями на витік газу.

Особливо ретельно необхідно дотримуватись перерахованих вимог при виконанні виробничих експериментів. Унаслідок великих обсягів робіт і значної їхньої трудомісткості, помилки, допущені в процесі експерименту, можуть істотно збільшити тривалість досліджень і зменшити їхню точність.

Спочатку результати вимірів зводять у таблиці за характеристиками, що варіюють, для різних досліджуваних питань, ретельно вивчають сумнівні числові дані, що різко відрізняються від статистичного ряду спостережень, від середніх значень. При аналізі результатів необхідно установити точність, з якою потрібно проводити обробку дослідних даних (точність обробки не повинна бути вищою за точність вимірів).

Особливе місце належить аналізу експерименту. Це завершальна частина, на основі якої роблять висновок про підтвердження гіпотези наукового дослідження. **Задача експерименту** – це творча частина дослідження. Іноді за цифрами важко представити фізичну сутність процесу. Тому потрібно особливо ретельне зіставлення фактів, причин, які впливають на хід того чи іншого процесу, і встановлення адекватності гіпотез експериментам.

Результати деяких лабораторних і більшості виробничих експериментів оформляються протоколом, що підписується експериментатором і керівниками виробництва. Якщо випробуванням піддавалися люди, то протокол підписується тим, хто брав у них участь.

Великим є вплив психологічних факторів на хід і якість експерименту.

У процесі проведення експерименту виміри різних показників не можуть бути виконані абсолютно точно, оскільки самі вимірювальні прилади, інструменти мають певну похибку. Похибки вимірів виникають також унаслідок недосконалості методів і засобів вимірів, недостатньо ретельного проведення досліду, впливу різних неврахованих факторів у процесі досліду, суб'єктивних особливостей експериментатора.

Похибки вимірів поділяють на систематичні і випадкові.

Систематичними називаються такі, котрі при повторних експериментах залишаються постійними (чи змінюються за відомим законом). Якщо числові значення цих похибок є відомими, їх можна врахувати під час повторних вимірів.

Випадковими називаються похибки, що виникають випадково при повторному вимірі. Ці виміри не можуть бути виключені як систематичні. Однак при багаторазових повтореннях за допомогою статистичних методів можна виключити найбільш випадкові виміри.

Слід відмітити, що одержання й обробка статистичних даних вимагають великої уваги і навичок. Різновидом випадкових похибок є грубі похибки чи промахи, що істотно перевищують систематичні чи випадкові похибки. Промахи і грубі похибки викликані, як правило, помилками експериментатора. Їх легко знайти і згодом не враховувати при аналізі.

Якщо в ряді однакових вимірів зустрічаються виміри з дуже великими випадковими помилками, що мають малу імовірність, то такі виміри відносять до промахів експериментатора і відкидають.

Однак при цьому потрібно пам'ятати, що існує дуже мала (але відмінна від нуля) імовірність того, що відкинута число є не промахом, а природним статистичним відхиленням, нехтування ним, як правило, не призводить до істотного погіршення оцінки результатів вимірів. Дійсно, у процесі експерименту іноді буває важко відокремити систематичні похибки від випадкових, але при ретельному і багаторазовому експерименті все-таки можна це зробити.

Основна задача вимірів полягає в тому, щоб здійснити вимір з найменшими похибками, використовуючи всі можливі методи усунення систематичних і випадкових помилок.

Систематичні похибки можна розділити на наступні групи: **інструментальні** похибки, що виникають унаслідок порушень засобів вимірів за рахунок додаткових люфтів, неточності градуйованої шкали, зносу і старіння вузлів і деталей засобів виміру і таке інше; виникаючі через неправильну установку засобів виміру; виникаючі в результаті дії зовнішнього середовища (високих температур повітря, магнітних і електричних полів, атмосферного тиску і вологості повітря, вібрацій і коливань від транспорту, що рухається, тощо); **суб'єктивні** похибки, що виникають внаслідок індивідуальних фізіологічних, психофізіологічних, антропологічних властивостей людини, а також похибки методу, що з'являються в результаті недостатньої обґрунтованості методу вимірів (при різних спрощеннях схем чи функціональних залежностей, за відсутності теоретичних обґрунтувань методу виміру, малої кількості повторів тощо).

Систематичні похибки можуть бути постійними чи перемінними, що збільшуються чи зменшуються в процесі експерименту. Їх обов'язково потрібно виключати шляхом регулювання чи ремонту засобів виміру, ретельної перевірки їхньої установки, усунення небажаних впливів зовнішнього середовища.

Одним з ефективних методів усунення систематичних помилок є виключення їх у процесі повторних вимірів величин. Застосовують також метод заміщення, при якому в процесі вимірів замість досліджуваного об'єкта встановлюють еталонний, заздалегідь обмірюваний з високою точністю. Різниця у вимірах дозволяє знайти похибку вимірювального засобу. Якщо все-таки не можна установити значення систематичних похибок, то обмежуються оцінкою їхніх границь.

Особливе місце серед похибок вимірів займають суб'єктивні, джерелами яких часто є психологічні чи психофізіологічні причини. Наприклад, через недостатній зір експериментатор може недостатньо точно зчитувати показання приладів.

Для усунення такого роду похибок потрібно забезпечити необхідне освітлення і підбирати відповідне градування шкал приладів. Психологічними причинами похибок є різні психологічні бар'єри та інерційність мислення.

Часто нові несподівані результати експерименту дослідник прагне зрозуміти в рамках старих уявлень, і якщо вони не укладаються у старі уявлення, то розглядаються як промахи і відкидаються. Тут позначаються інерційність мислення, віра в досконалість і універсальність старих уявлень, іноді острах нового.

Іноді дослідник у процесі аналізу результатів експерименту несвідомо підганяє експериментальні дані, щоб підтвердити раніше висунуту гіпотезу. Ця небезпека є особливо великою, якщо висновок робиться на підставі даних, на яких можуть істотно позначатися помилки виміру і вплив невраховуваних факторів. У таких умовах неважко підібрати достатню кількість фактів, що підтверджують прийняту гіпотезу, пояснити помітні відхилення промахами і тим самим відійти від істини.

Для виключення таких помилок відомий фізик Резерфорд проводив серії випробувань, показники яких враховували студенти, що не знали, у чому полягає випробування, а криві по отриманих точках проводили інші люди, які також не знали, що повинно вийти.

Застосування такої методики обробки матеріалів експерименту дозволило Резерфорду і його учням не зробити жодного помилкового відкриття, у той час як їх було чимало в інших лабораторіях.

Іноді помилки експерименту пов'язані з тим, що дослідник не уявляє собі чітко, що він збирається одержати. У результаті не враховуються найважливіші фактори, що утруднює аналіз експериментальних даних.

Усе вищевикладене показує, що будь-який результат експерименту повинен сприйматися критично і багаторазово перевірятися. Краще повторний огляд здійснювати іншим часом дня або, якщо є можливість, через кілька днів.

Після завершення всіх серій експерименту дослідник приймає те чи інше рішення: визнати основну частину роботи закінченою, провести додатковий збір інформації і добір матеріалу з метою підтвердження гіпотези, визнати роботу невдалою і таке інше.

Якщо самостійні випробування продовжуються тривалий час, рекомендується проводити періодично їхнє обговорення в науковому колективі.

Це дозволяє скорегувати хід експерименту, направити його в необхідне русло.

6.3 Обчислювальний експеримент

Обчислювальним експериментом називається методологія і технологія досліджень, що базуються на застосуванні прикладної математики й електронно-обчислювальних машин як технічної бази при використанні математичних моделей.

Таким чином, обчислювальний експеримент ґрунтується на створенні математичних моделей досліджуваних об'єктів, що формуються за допомогою деякої особливої математичної структури, здатної відбивати властивості об'єкта, що виявляються ним у різних експериментальних умовах.

Однак ці математичні структури перетворюються на моделі лише тоді, коли елементам структури дається фізична інтерпретація, встановлюється співвідношення між параметрами математичної структури й експериментально визначеними властивостями об'єкта, а також коли характеристики елементів моделі і самої моделі в цілому знаходять відповідність властивостям об'єкта.

Таким чином, математичні структури разом з описом відповідності експериментально виявленим властивостям об'єкта і є

моделлю досліджуваного об'єкта, що відбиває в математичній, символічній (знаковій) формі об'єктивно існуючі в природі залежності, зв'язки і закони.

Модель може (якщо можливо) супроводжуватися елементами наочності і пояснюватися наочним образом. У якійсь своїй частині вона може здійснюватися з яким-небудь наочним образом чи реальним пристроєм, а модель складного пристрою може за якимись властивостями уподібнюватися моделі простого об'єкта.

Таким чином, кожен обчислювальний експеримент ґрунтується як на математичній моделі, так і на прийомах обчислювальної математики.

Сучасна обчислювальна математика складається з багатьох розділів, що розвиваються разом з електронно-обчислювальною технікою. Так, наприклад, останнім часом з'явився дискретний аналіз, що дає можливість одержати будь-який чисельний результат тільки за допомогою арифметичних і логічних дій.

Задача обчислювальної математики тут зводиться до представлення рішень (точно чи приблизно) у вигляді послідовності арифметичних операцій, тобто алгоритму рішення.

На основі математичного моделювання і методів обчислювальної математики утворилися теорія і практика обчислювального експерименту, технологічний цикл якого прийнято розділяти на наступні етапи.

1. Для досліджуваного об'єкта будується модель, звичайно спочатку фізична, що фіксує поділ усіх діючих у розглянутому явищі факторів на головні і другорядні, котрі на даному етапі дослідження відкидаються; одночасно формулюються допущення й умови застосовності моделі, границі, в яких будуть справедливо отримані результати; модель записується в математичних термінах, як правило, у виді диференціальних чи інтегро-диференціальних рівнянь.

Створення математичної моделі проводиться фахівцями, що добре знають дану сферу природознавства чи техніки, а також математиками, що представляють собі можливості вирішення математичної задачі.

2. Розробляється метод розрахунку сформульованої математичної задачі. Ця задача представляється у виді сукупності алгебраїчних формул, за якими повинні вестися обчислення, й умов, що

показують послідовність застосування цих формул; набір цих формул і умов зветься **обчислювальним алгоритмом**.

Обчислювальний експеримент має різноманітний характер, тому що рішення поставлених задач часто залежить від численних вхідних параметрів. Проте кожен конкретний розрахунок в обчислювальному експерименті проводиться за фіксованих значень усіх параметрів. Тим часом у результаті такого експерименту часто ставиться задача визначення оптимального набору параметрів.

Тому при створенні оптимальної установки доводиться проводити велике число розрахунків однотипних варіантів задачі, що відрізняються значенням деяких параметрів. У зв'язку з цим при організації обчислювального експерименту можна використовувати ефективні чисельні методи.

3. Розробляються алгоритм і програма рішення задачі на ЕОМ. Програмування рішень визначається тепер не тільки мистецтвом і досвідом виконавця, а переростає в самостійну науку зі своїми принциповими підходами.

4. Проведення розрахунків на ЕОМ. Результат виходить у вигляді деякої цифрової інформації, яку надалі необхідно буде розшифрувати.

Точність інформації визначається при обчислювальному експерименті вірогідністю моделі, покладеної в основу експерименту, правильністю алгоритмів і програм (проводяться попередні «тестові» випробування).

5. Обробка результатів розрахунків, їхній аналіз і висновки. На цьому етапі може виникнути необхідність уточнення математичної моделі (ускладнення чи навпаки, спрощення), пропозиції зі створення спрощених інженерних способів рішення і формул, що дають можливість одержати необхідну інформацію більш простим способом.

Обчислювальний експеримент набуває виняткового значення в тих випадках, коли натурні експерименти і побудова фізичної моделі виявляються неможливими. Особливо яскраво можна проілюструвати значення обчислювального експерименту при дослідженні масштабів сучасного впливу людини на природу. Те, що прийнято називати кліматом, – стійкий середній розподіл температури, опадів, хмарності і таке інше, – являє собою результат складної взаємодії грандіозних фізичних процесів, що протікають в

атмосфері, на поверхні землі й в океані. Характер та інтенсивність цих процесів на сьогодні змінюються значно швидше, ніж у порівняно близькому геологічному минулому, у зв'язку з впливом забруднення повітря індустріальними викидами вуглекислого газу, пилу і таке інше.

Кліматичну систему можна досліджувати, будуючи відповідну математичну модель, що повинна описувати еволюцію кліматичної системи, що враховує взаємодіючі між собою атмосферу, океан і сушу.

У науці і техніці відомо чимало галузей, в яких обчислювальний експеримент виявляється єдиною можливим при дослідженні складних систем.

6.4 Інформаційно-вимірювальна техніка

Інформаційно-вимірювальна техніка служить для виміру фізичних величин за значеннями, за якими можна судити про протікання процесів, стан середовищ, і для видачі відповідної інформації. Ця техніка вміщує в себе прилади й цілі системи.

Приладами прийнято називати вимірювальні пристрої, змонтовані в окремому блоці, що випускаються промисловістю серійно і мають чітко визначене призначення.

У широкому розумінні складні прилади являють собою також системи, що складаються з окремих елементів вимірювальної й інформаційної техніки.

Однак термінологічно зручно **інформаційно-вимірювальною системою** (ІВС) називати багатофункціональний комплекс, що складається із приладів, пристроїв, устаткування й тих або інших завдань і спрямований на вирішення, пов'язане з одержанням, перетворенням і видачею інформації.

Класифікацію засобів інформаційно-вимірювальної техніки показано на рис. 6.1. За цільовим призначенням вони можуть бути одно- і багатоцільовими; за кількістю каналів, по яких надходить інформація, одно- і багатоканальними. Ці ознаки можуть поєднуватися в будь-яких сполученнях.

За способом видачі інформації прилади й системи можуть бути індикаторними, тобто такими, в яких інформація зчитується спостерігачами, запам'ятовується або записується ними, і реєструючими. В обох випадках інформація може надходити у вигляді миттєвих значень вимірюваної величини, середніх і макси-

мальних значень, суми наростаючого підсумку або за певні проміжки часу, а також у вигляді похідної.

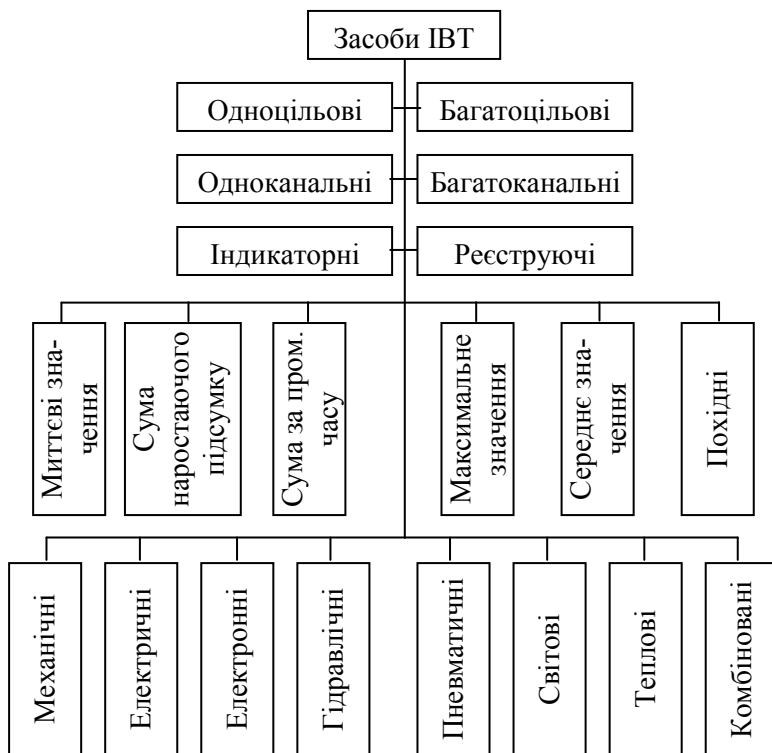


Рис. 6.1 – Класифікація засобів інформаційно-вимірювальної техніки

За принципом одержання інформації розрізняють системи механічні, електричні, електронні, гідравлічні, пневматичні, світлові, теплові, комбіновані.

Якість інформації, одержуваної за допомогою ІВС, забезпечується правильним вибором методу вимірів й апаратури, коректним складанням схеми ІВС, забезпеченням сприятливих умов її роботи.

На вибір методу впливають необхідна точність вимірів, діапазон зміни величин, кількість незалежних факторів і взаємозалежних параметрів процесу, умови, в яких передбачається проводити експеримент.

Не завжди є виправданим прагнення застосувати найбільш точну апаратуру й методику вимірів. Іноді похибки й розкид показань, пов'язані із зовнішніми умовами, в яких проводяться виміри, не дозволяють оцінити достовірні значення вимірюваної величини з точністю, властивою даним приладам.

Разом з тим більш точна апаратура, як правило, є дорожчою, складнішою в обігу, вимагає високої кваліфікації персоналу. У підсумку виявляється, що більш простими й дешевими засобами вимірів, а головне більш надійними, можна досягти тих самих, а іноді й кращих результатів.

Вибираючи вимірювальну апаратуру, насамперед, орієнтуються на характеристику приладу. Характеристики приладів діляться на дві групи: статичні, або метрологічні й динамічні.

До основних статичних характеристик відноситься **клас точності** - припустима наведена статична похибка за нормальних умов. У цьому випадку вона визначається як максимальне відхилення абсолютної величини показання приладу від її достовірного значення, виражене у відсотках від верхньої межі вимірів для даного приладу. За достовірне значення приймається показання еталонного приладу.

Статичною є похибка, встановлена при повному «заспокоєнні» індикатора приладу. **Нормальними умовами** прийнято вважати температуру $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ та тиск 10^5 Па.

Прилади (за винятком електричних) поділяються на 4 класи: 0,2; 0,5; 1,5; 2,5. Електричні прилади мають 8 класів точності - від 0,05 до 4,0; ІВС поділяються на 7 класів.

Класи точності встановлюються спеціальними метрологічними лабораторіями Держстандарту й систематично контролюються.

При метрологічному контролі встановлюється так звана основна похибка. За зміни умов досліду, в порівнянні з нормальними, може виникати додаткова похибка.

Варіація показань - найбільша різниця показань відносно показань еталонного приладу, отримана в результаті багаторазових вимірів.

Чутливість - відношення збільшення показань приладу до зміни вимірюваної величини. Чутливість ІВС дорівнює добутку чутливості окремих елементів системи.

Вона впливає на абсолютну величину основної похибки тим більше, чим більше вимірювана величина. **Порогом чутливості** називається найменше значення вимірюваної величини, що викликає помітне відхилення індикатора приладу.

Слабка чутливість знижує точність вимірів, а зайва може ускладнити ІВС, викликати коливальні процеси.

Межі вимірів - діапазон вимірюваної величини, в якому допускається використовувати прилад (вимірювальну систему). Їх слід вибирати з урахуванням можливого перевантаження приладу.

Збільшення меж виміру робить прилад більш універсальним, але знижує точність виміру малих величин, тому що відносна похибка при вимірі останніх буде істотно відрізнятися від класу точності в більшій бік.

Власне споживання енергії виявляється на чутливості - основній похибці приладу, якщо енергія відбирається від об'єкта виміру на передачу й перетворення сигналу.

Якщо енергія витрачається на привід допоміжних пристроїв (освітлення, привід механізмів, що реєструють, сигналізація й ін.), то вибір приладу слід погоджувати з можливостями використання його в даних умовах проведення вимірів, тобто з наявністю відповідних джерел живлення.

Динамічні характеристики ІВС мають істотне значення при вивченні швидких процесів, коли інерційність вимірювального пристрою може істотно позначатися на результатах вимірів.

Вимір навантажень і напруг, що виникають у деталях робочого устаткування, передач і приводів швидкохідних машин, що швидко змінюються й супроводжуються коливальними процесами широкого діапазону частот, вимагає аналізу динамічних властивостей вимірювальних систем. Наявність в ІВС пружних і коливальних елементів при відповідних їхніх параметрах може приводити до резонансних явищ, що спотворюють достовірну картину зміни вимірюваної величини.

Наявність інерційних ланок, сухого й рідинного тертя, нелінійних елементів у механічних, гідравлічних й електричних схемах ІВС призводить до запізнювання, що обумовлює зрушення фаз на вході й виході.

Вид деяких динамічних характеристик ІВС показано на рис. 6.2.

Крива 1 зображує аперіодичну характеристику. У цьому випадку час перехідного процесу t_1 відповідає часу, протягом якого індикатор системи досягає показання Y_n (достовірного значення вимірюваної величини) за винятком статичної похибки приладу. Крива 2 являє собою аперіодичну характеристику із запізнюванням. Тут час перехідного процесу t_2 містить у собі час запізнювання t_0 .

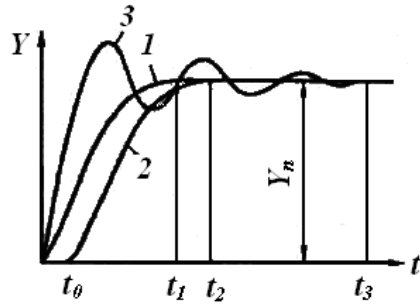


Рис. 6.2 – Види динамічних характеристик приладів

Коливальна характеристика із згасанням відображається кривою 3 із часом перехідного процесу t_3 . У всіх випадках правильне показання приладу, що відповідає його класу точності, можна одержати тільки тоді, коли час виміру величини більше часу перехідного процесу.

При вимірі й реєстрації величин, що змінюються в часі зі швидкістю, порівняною зі швидкістю протікання перехідних процесів ІВС, переключування будуть неприпустимо великими.

Тому для реєстрації швидкоплинних процесів слід використовувати прилади з невеликою інерційністю, зокрема електронні.

Перехідні процеси вносять переключування за амплітудою й фазою. Для оцінки динамічних властивостей ІВС використовують їх амплітудні, частотні, фазово-частотні й амплітудно-фазові характеристики.

Структуру ІВС у загальному вигляді зображено на рис. 6.3.

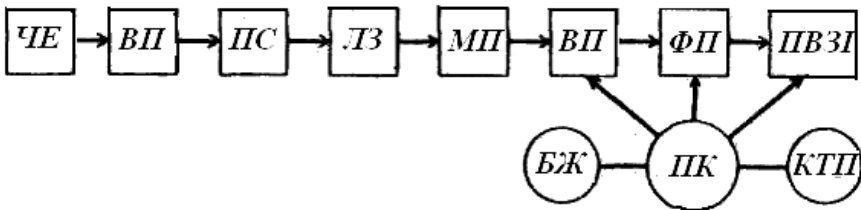


Рис. 6.3 – Блок-схема ІВС

Вимірювальний вплив на систему здійснює чутливий елемент (ЧЕ). Цей вплив необхідно перетворити на певний сигнал, для чого служать вимірювальні перетворювачі (ВП), тобто датчики. Таким чином, ВП - первинний перетворювач.

У ряді випадків сигнал ВП доцільно перетворити за допомогою перетворювача сигналу (ПС) у величину, зручну для передачі на відстань і виміру існуючими приладами. Для передачі сигналу на відстань служить лінія зв'язку (ЛЗ).

Однак, для виміру сигналу, що надійшов, необхідно змінити його величину, для чого використовується масштабний перетворювач (МП), тобто підсилювач.

Далі сигнал надходить на вимірювальний пристрій (ВП), потім він обробляється у вигляді певної інформації, зручної для читання, вивчення, зберігання, для чого служить функціональний перетворювач (ФП), пристрій для видачі й зберігання інформації (ПВЗІ).

Для керування складними системами обладнується пульт керування (ПК), з яким пов'язані блок живлення (БЖ) і контрольно-тарувальні пристрої (КТП). Представлену схему слід розглядати як спробу найбільш повно описати функції ІВС.

В реальних системах послідовність розташування елементів може бути іншою, деякі функції виключаються або поєднуються в одному пристрої.

На сьогодні при дослідженнях і випробуваннях машин найбільш широко застосовуються ІВС, що базуються на використанні електричних методів виміру неелектричних величин. Розглянута структурна схема повною мірою відповідає таким ІВС.

Основними перевагами електричних методів виміру є:

- універсальність (можливість використання тих самих елементів у різних комбінаціях для вирішення різноманітних технічних завдань);
- широкий вибір принципів дії, типорозмірів приладів, пристроїв для живлення електричним струмом, перетворень струму й видів енергії;
- більша номенклатура стандартних елементів, що виробляються промисловістю великими серіями;
- простота передачі сигналів на відстань і забезпечення дистанційного керування системою;
- багатоканальність;
- широкі можливості керування, одержання різних видів інформації та її обробки;

– невелика інерційність електричних систем і можливість компенсації в самій вимірювальній схемі різного роду похибок.

Можливості електричних ІВС істотно розширилися за рахунок використання засобів електроніки, мікроЕОМ.

Вимірювальні перетворювачі в електричних ІВС бувають **пасивними (параметричними)**, у яких параметри струму живлення змінюються під впливом вимірюваної величини, і **активними (генераторними)**, що виробляють струм, що надходить у вимірювальний ланцюг.

До першого відносяться резистори (реостатні й тензометричні), смісні, індуктивні, термо- і фоторезистори, сельсини, до других - тахогенератори, індуктори, термоелектричні, гальванічні й ін. Важливо, щоб характеристика ВП була лінійною, тобто щоб величина вихідного сигналу була прямо пропорційною вхідній величині, оскільки це значно спрощує використання результатів вимірів.

Найбільш поширеними в ІВС є ВП опору, зокрема тензорезистори. Реостатні ВП хоча й дозволяють пропускати досить потужні сигнали, що не вимагають посилення, однак вони є менш чутливими до переміщень движка й за малих переміщень чутливого елемента їхнє використання пов'язане з необхідністю введення передавальних механізмів.

Тензорезистори є чутливими до переміщень, що виникають за рахунок пружних деформацій деталей машин, і мають розміри, що дозволяють розміщати їх безпосередньо на самих деталях.

Широко застосовуються дротові й фольгові тензорезистори (рис. 6.4), решітка тензорезисторів *1* виготовляється з матеріалів з високим питомим опором (константан, ніхром й ін.), дротова – діаметром 0,02...0,05 мм, фольгова - товщиною 0,004...0,012 мм із базою Б 5, 10, 20, 30 мм.

Вони працюють під напругою 12 В, робочий струм для дротових решіток - 30 мА, для фольгових - 2 мА.

Номінальний опір дротових тензорезисторів - 50, 100, 200, 400, 500 Ом, фольгових - 50, 100, 200 Ом. Решітку закріплено на паперовій або плівковій основі 2. Спай 3 з'єднує решітку із провідниками живлення 4.

Опір провідника *R*, залежно від його розмірів, виражається співвідношенням $R = \rho \cdot l / s$, де ρ - питомий опір матеріалу; *l* - довжина; *s* - площа поперечного перерізу провідника.

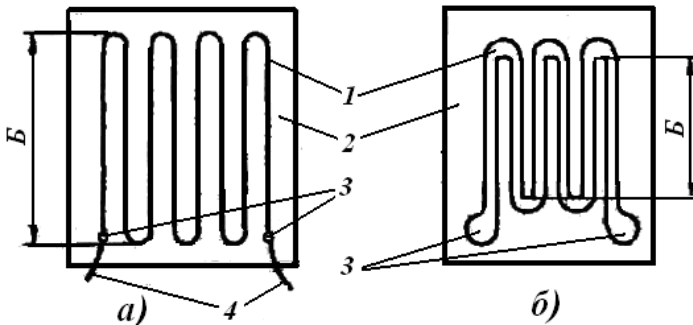


Рис. 6.4 – Прямокутні тензорезистори

а) дротовий; б) фольговий

Враховуючи зміну поперечного перерізу й питомого опору за відносного подовження провідника $\Delta l/l$, відносно збільшення опору можна виразити залежністю $\Delta R/R = K \Delta l/l$, де K - коефіцієнт тензочутливості тензорезистора (для константану $K = 2...2,1$): $K = 1 + 2\mu + \nu$, де μ - коефіцієнт Пуассона; ν - коефіцієнт, що враховує зміну питомого опору провідника.

Таким чином, якщо на стержень, який розтягується силою P , наклеєно тензорезистор так, що база (Б) розташовано уздовж дії цієї сили, то опір тензорезистора буде пропорційно деформації стержня. В межах пружних деформацій при модулі пружності матеріалу стержня E сила P , напруження σ та опір R будуть пов'язані співвідношенням:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{K}{E} \sigma = \frac{K}{SE} P.$$

Тензорезистори наклеюються на ретельно підготовлену поверхню в місцях, де потрібно визначати деформації, сили або напруги.

Невелика база дозволяє розташовувати їх у важкодоступних місцях, на деталях складної конфігурації, незначна маса не впливає на динамічні процеси, що відбуваються в механізмах.

Сучасна апаратура дозволяє одночасно спостерігати й реєструвати навантаження, що виникають у багатьох деталях машин, синхронно, в їхній взаємодії й взаємозумовленості.

Тензорезистор наклеюють клеями типу БФ-2 холодним або гарячим способом; це охороняє його від вологи, бруду й механічних впливів.

Маркування дає інформацію про основні характеристики тензорезисторів. Наприклад: ДКП-20-100 Х(Г) - дровотий, константановий на паперовій основі, база 20 мм, опір 100 Ом, Х(Г) - холодний або гарячий спосіб наклеювання; ФКПА-10-200 Х(Г) - фольговий, константановий, прямокутний, підтип А, база 10 мм, опір 200, холодний і гарячий способи наклеювання.

Правильно встановлений тензорезистор може довгостроково й багаторазово використовуватися на одному місці, але перестановці не підлягає. Незважаючи на те, що на придбану партію виробник видає характеристику основних параметрів, перед установкою на чутливі елементи слід зробити контрольне тарування одного або декількох тензорезисторів даної партії.

Тарувальний пристрій являє собою консольну балку рівного опору вигину, на яку наклеюється контрольований тензорезистор і включається у вимірювальну схему. Балка поступово навантажується рівними ступенями навантаження.

За показниками вимірювального приладу будується тарувальний графік «навантаження – розвантаження». Таким чином, перевіряються масштаб і лінійність тензорезисторів.

Вхідним сигналом тензорезисторів є зміна опору. Для електричних ІВС найбільш зручний сигнал - напруга.

Перетворювачем сигналу в цьому випадку може бути вимірювальний міст. На рис. 6.5 зображено вимірювальну схему з використанням електричного моста як перетворювача вихідного сигналу тензорезистора.

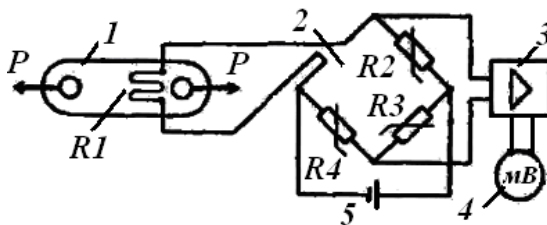


Рис. 6.5 – Мостова схема з'єднання тензорезисторів при вимірі сил і напружень розтягання

Схему призначено для виміру сили P , що розтягує досліджувальну конструкцію. Чутливий елемент - тягова ланка 1 , встановлена, наприклад, між тягачем і причепом. Дротовий тензорезистор включений в одне із плечей моста 2 , що складається із чотирьох резисторів: R_1, R_2, R_3, R_4 . В одну діагональ моста включене джерело живлення 5 , інша - з'єднана з вимірювачем 4 .

З огляду на те, що зміни напруги в діагоналі моста є досить малими, у схему включений підсилювач 3 , що відіграє роль перетворювача масштабу сигналу. При виконанні умов $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$ міст збалансований, тобто напруга на виході дорівнює нулю.

Якщо під дією сили баланс порушується, у вимірювальній діагоналі моста виникає напруга, пропорційна силі P . Посилений сигнал надходить на вимірник.

У подібних ІВС можуть виникати різні перешкоди, для усунення яких розроблено ряд методів. Наприклад, тензорезистори є чутливими до змін температури.

Якщо в результаті підвищення температури навколишнього середовища збільшується довжина тягової ланки 1 (рис. 6.5), то за незмінної сили P міст розбалансовується й показання вимірювального приладу змінюється.

Для компенсації температурних похибок у схемі (рис. 6.5) на тягову ланку поставлено тензорезистор R_4 , решітку якого орієнтовано так, що він реагує на температурні зміни так само, як і тензорезистор R_1 , але не реагує на подовження ланки від сили P .

Якщо при цьому опори R_2 й R_3 перебувають в однакових умовах, то вимірювальну систему захищено від впливу температури на результати показань вимірника сили P .

У цих схемах тензорезистор R_4 - активний, а інші - компенсаційні.

Активний тензорезистор наклеєно на деталь, що відіграє роль чутливого елемента, інші - на пластину з матеріалу з такими ж пружними властивостями, що не піддається навантаженню.

За рівності опорів збалансованого моста $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ і напруги на вході моста U напруга на виході становить $U_B = U \Delta R / 4R$.

Для того, щоб збільшити напругу на виході, тензорезистор R_3 за наявності місця можна встановити на тяговій ланці паралельно R_1 , і R_2 - паралельно R_4 . Тоді буде два активних і два компенсаційних тензорезистори й напруга на виході становитиме:

$$U_B = \frac{U\Delta R}{2R}(1 + \mu),$$

де μ - коефіцієнт Пуассона. Таким чином, сигнал збільшується в 2,6 рази.

Оскільки при обертанні максимальні напруження виникають на поверхні вала, під кутом 45° до його осі, для виміру крутних моментів і дотичних напружень решітка активного тензорезистора повинна бути орієнтована в цьому напрямку. Посилення сигналу можна домогтися збільшенням числа активних тензорезисторів.

Різнорамні схеми наклеювання дозволяють у складно навантаженому стані деталі виділити ті або інші види деформацій і напруг. Наприклад, якщо деталь навантажена розтяганням (сила P) і вигином від сили P_1 і необхідно виміряти окремо деформацію розтягання (рис. 6.6), то на деталь слід наклеїти із протилежних сторін тензорезистори $R1$ й $R3$.

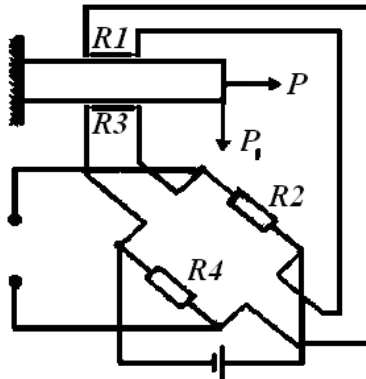


Рис. 6.6 – Установка тензорезисторів, що виключає вплив вигину

Тоді в результаті вигину опір $R1$ збільшується, а опір $R3$ зменшується, а під дією сили P обидва опори збільшуються і вихідна напруга у вимірювальній діагоналі буде пропорційною силі P .

Аналогічно можна виділити інші складові довільно навантаженого стану елементів конструкції.

Тензорезистори встановлюють в місцях, доступних для монтажу й огляду, захищених від впливу вологи й агресивних середовищ на рівних і гладких поверхнях достатніх розмірів.

Слід обирати місця, в яких очікується виникнення найбільших напруги і деформацій як за довжиною випробовуваного елемента конструкції, так і за його поперечним перерізом.

Іноді має сенс змінити конфігурацію деталі, якщо це не викличе залишкових деформацій при дії очікуваних навантажень і не вплине на суть експерименту, тому що при проведенні тензометричних досліджень завдання може полягати в тім, щоб установити напружений стан деталей певної конфігурації.

Установка тензометричних датчиків на деталях машин ускладнюється, якщо ці деталі в процесі вимірів рухом (наприклад, вали, що передають крутні моменти, вимір яких є завданням відповідних випробувань).

У цих випадках технічні труднощі виникають через необхідність передачі електричного сигналу з вала, який обертається, на нерухому лінію зв'язку й пристрій, що здійснюють подальше перетворення й обробку інформації.

Звичайні контактні пари, застосовувані в техніці промислових енергетичних машин, не використовуються через те, що їхні контактні опори здатні істотно спотворювати відносно слабкі сигнали тензорезисторів.

Струмоз'ємні пристрої, застосовувані в тензометрії, бувають контактними й безконтактними. У контактних парах можна допускати перехідні опори не більше 0,5...1,0 мкОм.

Це вимагає спеціального підбору контактних пар та їх електричних характеристик.

За невеликих швидкостей ковзання в контакті можна застосовувати латунні кільця й мідно-графітові щітки; за високих швидкостей - срібні кільця й срібно-графітові щітки. Струмоз'ємні кільця із ртутним контактом забезпечують найкращу струмопровідність.

У цьому випадку зазор між рухомими й нерухомими кільцями, поверхню яких покрито шаром амальгами, заповнюється ртуттю, що забезпечує рідинний контакт.

Безконтактне струмознімання здійснюється за допомогою трансформаторних або радіопередавальних пристроїв.

Загальна схема ІВС (рис. 6.4) складається з перетворювачів і пристроїв для видачі й зберігання інформації. У тензометрії в більшості випадків необхідно змінювати масштаб сигналу тензорезисторів, перетвореного електромостовою схемою в різницю потенціалів.

З цією метою випускаються стандартні прилади - підсилювачі постійного і змінного струмів з різною кількістю каналів, що дозволяє одночасно підсилювати сигнали, які подаються з декількох місць випробовуваного об'єкта.

Конструкцією підсилювачів передбачається подача вихідної інформації на вхід реєструючих приладів. До останніх в електротензометрії відносяться осцилографи й магнітографи, а також самописи різної конструкції.

Зв'язок між окремими елементами електричних ІВС здійснюється за допомогою електричних проводів, до яких пред'являються певні вимоги залежно від умов роботи системи.

У тензометричних системах опір проводів лінії зв'язку повинні бути на кілька ступенів нижче опорів вимірювальних перетворювачів.

Особливої уваги вимагають лінії зв'язку систем, що працюють у польових умовах. Вони повинні бути надійно захищені від впливу вологи й механічних ушкоджень.

У більшості випадків лінія зв'язку повинна забезпечувати можливість переміщення випробовуваного об'єкта відносно місця установки джерела живлення, пульта керування, перетворювачів і вимірювальних пристроїв. Це вимагає гнучкого зв'язку.

Для живлення одного каналу тензосистеми потрібно два проводи, а у випадку багатоканальних систем їх кількість відповідно збільшується. Зміна параметрів струму в прилеглих провідниках призводить до наведення електромагнітних перешкод, які спотворюють результати вимірів.

Таким чином, для створення лінії зв'язку в зазначених умовах використовують багатожильні броньовані кабелі, провідники яких надійно ізолювані й екрановані.

При проведенні польових випробувань машин, робочий процес яких пов'язаний з їхнім пересуванням, вимірювальну апаратуру звичайно зосереджують в пересувній лабораторії, що супроводжує випробовувану машину.

Багатожильний екранований кабель - лінія зв'язку - повинен забезпечувати вільне маневрування випробовуваної машини. За значної довжини й маси кабелю це викликає істотні незручності, а кабель швидко зношується.

Більш досконалі є радіометричні засоби зв'язку, що складаються з компактного радіопередавача, що передає інформацію від датчиків до підсилювальних та реєструючих приладів.

У цьому випадку виключаються незручності, пов'язані з використанням кабелів, і полегшується маневреність випробовуваного об'єкта при нерухомій лабораторії. На жаль, апаратура такого роду промисловістю України не випускається, а саморобні пристрої мають високу похибку і піддаються перешкодам, пов'язаним із впливом непередбачених радіохвильових процесів в ефірі.

Пересувні тензолaboratorії широко використовуються в техніці випробувань і досліджень різних машин. Вони монтуються на закритих самохідних й причіпних транспортних засобах, добре захищених від впливу атмосферних явищ, обладнаних стелажми для розміщення апаратури і контейнерами для зберігання необхідних матеріалів.

Лабораторія обладнується блоком живлення електричним струмом, звичайно у складі акумуляторних батарей, зарядного агрегату, стабілізатора напруги й за необхідності має темний відсік, у якому проявляється й обробляється світлочутливі осцилографічний папір або плівка.

Іноді у складі устаткування лабораторії передбачається апаратура для обробки результатів проведених вимірів.

Як транспортний засіб, на якому обладнується тензолaboratorія, використовуються кращі автомобілі підвищеної прохідності, автобуси, швидкості яких є не нижчими за швидкості випробовуваних машин.

Вимірювальні прилади й устаткування, чутливі до вібрації, слід встановлювати на амортизаторах і вживати заходів до запобігання впливу вологи, перегріву й переохолодженню.

Приклад планування внутрішнього приміщення пересувної тензолaboratorії представлено на рис. 6.7, де 1 - відсіки для зберігання матеріалів, кабелів, установок блока живлення; 2 - відсіки для підвіски кабелю живлення вимірювальних перетворювачів; 3 - додаткове колесо; 4 - фотовідсік; 5 - приміщення вимірювальної лабораторії; 6 - верстат для дрібних слюсарних робіт; 7 - приладовий стіл і пульти керування.

Промисловістю випускається велика номенклатура стандартних приладів.

При виборі вимірювальної апаратури слід віддавати перевагу приладам, що відповідають поставленій меті, тому що створення спеціальних вимірювальних приладів істотно збільшує обсяг і вартість робіт.

Основними параметрами, вимірювані у процесі вивчення функціонування будівельних і дорожніх машин, є: час, переміщення,

швидкість, прискорення, сила й крутний момент, витрата рідин і газів, температура й ін.

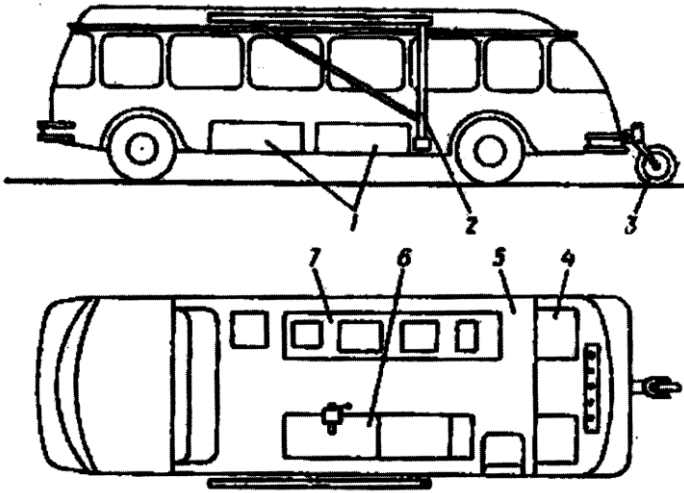


Рис. 6.7 – Пересувна тензометрична лабораторія

Для досліджень робочих процесів машин та їхніх випробувань, крім описаних, вимірювальними системами служать різні прилади, спеціальні стенди, установки й пристосування (рис. 6.8 – 6.10).

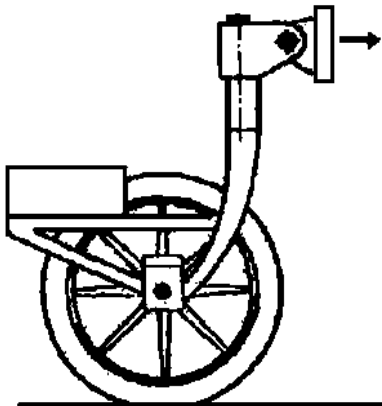


Рис. 6.8 – Додаткове колесо для виміру шляху й швидкості руху

Для виміру інтервалів часу застосовуються **механічні й електричні секундоміри**.

Механічні секундоміри випускаються із ціною розподілу 0,1 й 0,2 секунди і забезпечуються звичайно однією або двома секундними стрілками з окремими кнопками. Їхня похибка становить 11...16 с на добу й залежить від температури. **Електросекундоміри** з живленням від напруги 220 В та струмом стабілізованої частоти мають дистанційне керування та високу точність.

У тензометричних ІВС вимірники часу вбудовуються в електричну схему реєструючих приладів у вигляді імпульсних датчиків високої стабільності.

Таким чином, вимірювані величини реєструються в часі.

Швидкості поступального руху випробовуваних машин вимірюються реєстрацією часу проходження ділянки певної довжини.

Такий спосіб є правильним у випадках, коли гарантована постійна швидкість руху на заздалегідь обмірюваній ділянці може обмежитися визначенням середньої швидкості руху.

Якщо необхідно виміряти поточне значення швидкості поступального руху машин, такий спосіб виміру не придатний.

Багато транспортних і тягових машин обладнуються вбудованими приладами для виміру швидкості руху - **спідометрами**.

Ці прилади пристосовані тільки для візуального визначення всього пройденого шляху й миттєвої швидкості за кількістю обертів і частотою обертання одного з валів трансмісії, пов'язаного з тяговими колесами постійним передаточним числом.

Досить істотну похибку до показань спідометра може внести пробуксовка (ковзання) тягових коліс, що тим більше, чим більше передана кутова сила. На показання спідометра також впливає силовий радіус пневматичних шин, що залежить від навантаження й внутрішнього тиску.

Для підвищення точності виміру пройденого шляху й швидкості використовується додаткове колесо (рис. 6.8), яке прикріплюється шарнірно до випробовуваної машини і копіює шлях, що вона проходить, за умови надійного контакту із поверхнею кочення.

Шлях і швидкість поступального руху визначають за непрямыми показниками – числом обертів і частотою обертання осі додаткового колеса.

Для виміру сумарного числа обертів застосовуються механічні лічильники, електромагнітні лічильники імпульсів, тригерні лічильники імпульсів.

Механічні лічильники з'єднуються з обертовим валом безпосередньо або за допомогою механічних передач, а за необхідності установки на відстані - гнучким валом.

Електроімпульсні та тригерні лічильники вимагають перетворення частоти обертання на електричні сигнали.

Тригерні лічильники мають найбільшу швидкодію, але їхнє застосування виправдане там, де ця перевага є особливо важливою.

Миттєві значення кутової швидкості (частоти обертання) вимірюють **тахометрами**. Шкалу тахометра для виміру поступальної швидкості градуують на підставі співвідношення:

$$v = \frac{\pi k r n}{30i},$$

де v - швидкість, що відповідає даній частоті обертання, м/с;

$k = 0,93...0,99$ - коефіцієнт, що враховує деформацію ободу колеса під навантаженням і можливе прослизання;

r - радіус колеса, м;

n - частота обертання вала, з яким з'єднаний тахометр, об/хв;

i - передаточне число між валом тахометра й віссю колеса.

Тахометри за принципом дії бувають **відцентрові, годинникові, фрикційні, електричні, магнітні, стробоскопічні, пневматичні, гідравлічні, вібраційні**.

У відцентровому тахометрі від приводного валика приводиться в обертання відцентровий механізм, пов'язаний зі стрілкою покажчика. Положення обертових мас механізму, а отже, і стрілки залежить від частоти обертання.

Для розширення діапазону вимірюваних швидкостей у конструкції передбачається кілька передач між приводним валиком і відцентровим механізмом, кожні з яких відповідає своя шкала.

У годинникових тахометрах годинниковий механізм об'єднаний з лічильником обертів. В результаті їхньої спільної дії прилад показує частоту обертання.

При випробуваннях будівельних машин найбільш зручними й широко поширеними є електричні тахометри. Вимірювальний пере-

творювач такого тахометра - тахогенератор, що з'єднаний з валом, частоту обертання якого вимірюють.

Напруга струму, що виробляється тахогенератором і пропорційна частоті обертання якоря, подається на покажчик, шкалу якого градуйовано в одиницях вимірюваної величини.

Якщо є потреба, показання тахогенератора можна подавати на записуючий пристрій осцилографа, де вимір швидкості буде реєструватися синхронно з іншими вимірюваними величинами.

Переваги описаного способу виміру швидкостей: достатня точність показань (0,2...0,5 %), надійність у роботі, можливість дистанційних вимірів і реєстрація отриманих даних.

Прискорення вимірюють за допомогою **акселерометрів інерційного типу** (рис 6.9). Принцип дії полягає в тому, що інерційна маса I , встановлена на пружному чутливому елементі 2, закріпленому жорстко в тому місці, де потрібно вимірювати прискорення, під дією сили інерції прагне переміщатися відносно корпусу у бік, зворотний напрямку прискорення, створюючи у пружному елементі напруження й деформації тим більші, чим більше прискорення.

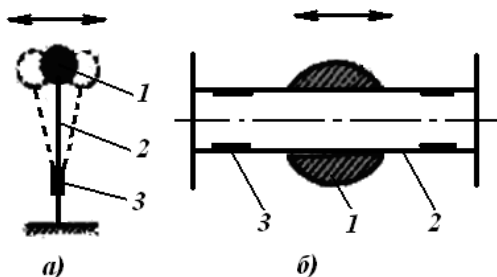


Рис. 6.9 – Вимірювальні перетворювачі прискорень

а – плоский консольний чутливий елемент; б – трубчастий чутливий елемент

Вимірювальними перетворювачами можуть служити тензорезистори 3. Щоб уникнути впливу резонансних явищ на результати вимірів, власна частота коливань акселерометра повинна бути значно вищою (в 5-10 разів) за частоту досліджуваного процесу.

Інерційні віброметри - прилади для виміру амплітуд і частот вібрацій – базуються на тому самому принципі, з тією лише

різницею, що власна частота коливань чутливого елемента з інерційною масою в них повинна бути не менш ніж в 5-6 разів менше частоти вимірюваних вібрацій.

Одним з основних видів вимірів, виконуваних при випробуваннях і дослідженнях робочих процесів пересувних машин, є їх **динамометрування**, тобто вимір тягових зусиль, необхідних для подолання опорів, які виникають в процесі пересування. З цією метою використовуються **динамометри й динамографи**.

Як тягові динамометри найбільш поширеними є механічні й гідравлічні прилади із чутливим елементом у вигляді пружини, а також електротензометричні тягові ланки.

На рис. 6.10 показані схеми механічних пружинних динамометричних приладів: динамометр зі стрілочним покажчиком і плоскою еліптичною пружиною, динамограф з електричним приводом реєструючого пристрою, динамометр із електричним приводом числового реєструючого пристрою.

У динамометрі (рис. 6.10, а) при дії тягової сили на вушка 2 відстань між ними в результаті деформації пружини 1 змінюється. Шестерня 4, встановлена на одній осі зі стрілкою 5 і пов'язана з рейкою 6, повертається, і стрілка займає положення на шкалі 3, що відповідає вимірюваній силі.

Способи передачі руху на стрілку покажчика можуть бути різними. Можлива також установка додаткової стрілки, положення якої фіксується на оцінці, що відповідає максимальному відхиленню. Тоді на шкалі буде зафіксовано максимальну силу тяги.

Динамометри такого типу використовують для виміру сил у статиці або за досить малих швидкостей руху, коли можна візуально вивчати характер процесу (вимірювана величина змінюється повільно).

Основна особливість принципу дії динамографа - наявність пристрою для безперервної реєстрації зміни вимірюваної тягової сили (рис. 6.10, б).

Спиральна пружина 1 через шток 2 сприймає силу, прикладену до вушок 4 й 9. До корпусу 3 прикріплений стрічкопротягувальний механізм, що приводить у дію стрічку 6 через редуктор 7 двигуном 8. Перо 5 залишає слід на стрічці 6 у вигляді графіка зміни тягової сили. Змінюючи швидкість протягання стрічки, можна розтягти або стиснути графік для полегшення наступної обробки динамограми. Динамограф такого типу, відомий за назвою «динамометр В.П.

Горячкіна», мав привід стрічкопротягувального механізму від заводної пружини, що виключало джерело живлення, але обмежувало час безперервного запису процесу.

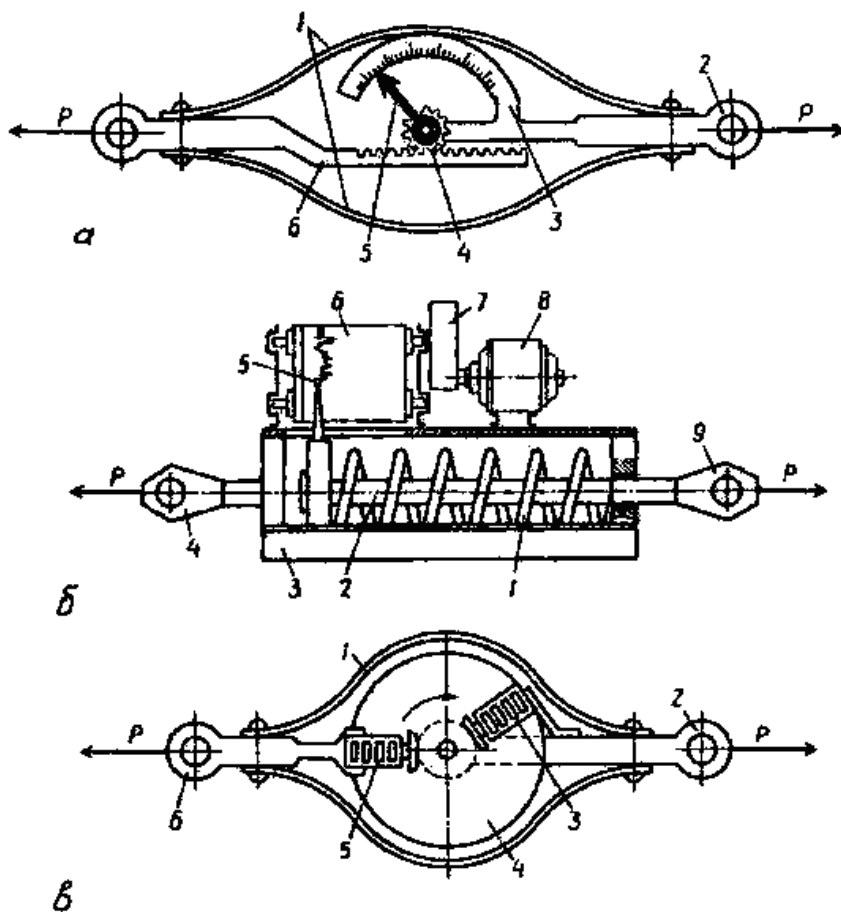


Рис. 6.10 – Типи пружинних динамометрів:

а) – індикаторний; б) самописний; в) з видачею середнього значення

Одержувати інформацію про досліджуваній процес у вигляді середнього значення вимірюваної величини за певний проміжок часу дозволяє схема, показана на рис. 6.10, в. На кронштейні 1,

пов'язаному з вушком 2, встановлений диск 4, що обертається з постійною швидкістю.

Цифрові лічильники 3 й 5 пов'язані з диском фрикційною передачею, однак лічильник 3 встановлений так, що його приводний ролик перебуває на незмінній відстані від центра диска r_1 , а приводний ролик лічильника 5 змінює своє положення залежно від прикладеної сили.

Якщо значення сили $P=0$ відповідає відстані від центра диска до ролика лічильника 5, то зі збільшенням сили буде мати місце рівність $P=c(r_2-r_1)$, де c - жорсткість пружини, кн./м.

Тоді середня сила за будь-який проміжок часу вимірів:

$$P = \left(\frac{z_2}{z_1} - 1 \right) \cdot r_1 c \text{ кН},$$

де z_1 й z_2 - показання лічильників відповідно 3 й 5.

Механічні пружинні динамографи й динамометри мають значну масу й розміри, що обмежує їхнє застосування при випробуваннях машин, які володіють відносно високими швидкостями переміщення. При випробуваннях причіпних машин для земляних робіт тягові сили досягають сотень кілоньютонів.

Довжина тягової ланки динамометра досягає 0,5 м і більше, сполучні вушка виконуються зі значними зазорами. Все це істотно спотворює характер зчеплення, призводить до набігання причепа при гальмуванні, наступних ривків за прискорень та рухання з місця. Реєструючі пристрої, змонтовані на корпусі приладу, перебувають у несприятливих умовах експлуатації.

Цих недоліків певною мірою позбавлені гідравлічні динамографи, які звичайно складаються (рис. 6.11) з окремих конструктивних елементів: більш компактної тягової ланки і вимірювально-реєструючої частини, з'єднаних гнучким трубопроводом. Тягова ланка 1 являє собою циліндр із поршнем 2, штокову порожнину якого заповнено рідиною.

Тягова ланка встановлюється між тягачем і причепом і пов'язується гнучким шлангом з вимірювальним циліндром 3, що разом з реєструючим пристроєм може розташовуватись у кабіні водія. Вимірювальний циліндр меншого діаметра має поршень 4, що впирається у вимірювальну пружину 5.

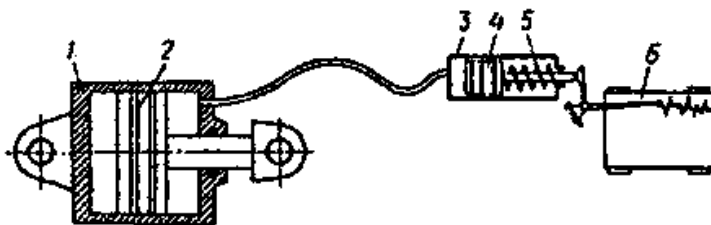


Рис. 6.11 – Гідравлічний динамограф

Переміщаючись під тиском рідини, поршень пускає в хід реєструючий пристрій 6. Сила, що діє на вимірювальну пружину:

$$P_u = \frac{PD_1^2}{D^2 - d_{ш}^2},$$

де P - тягова сила;

D_1 , - діаметр поршня вимірювального циліндра;

D і $d_{ш}$ - діаметр відповідно поршня й штока тягової ланки.

Таким чином, вимірювальні пружини гідравлічних динамометрів значно менше пружин, що перебувають під безпосереднім впливом тягових сил, отже, такі динамометри мають менші габарити й масу вимірювальної частини приладу, переміщення поршня тягової ланки є незначними й істотно зменшують його габаритну довжину.

Вимірювальну пружину можна легко замінити відповідно до необхідного діапазону виміру тягових сил, а це підвищує точність вимірів у кожному діапазоні.

Є конструкції гідравлічних динамометрів з тяговою ланкою, виконаною у вигляді месдозы. Месдоза від гідравлічного циліндра, використаного в розглянутій схемі, відрізняється тим, що її поршень відділений від рідини гнучкою діафрагмою. Камера месдозы з'єднується трубкою із самописним манометром.

При використанні тензометричної апаратури для тягових випробувань як чутливий елемент використовується спеціально виготовлена тягова ланка, що працює на розтягання; передбачаються вушка для приєднання ланки до силовимірювального ланцюга, ділянка з добре обробленою поверхнею; розміри площин

відповідають базі обраних тензорезисторів з постійним поперечним перерізом.

Розміри поперечного перерізу розраховуються без зайвого запасу міцності для того, щоб у місці наклеювання тензорезисторів пружні деформації стержня досягали найбільшого значення при виникненні максимальних очікуваних тягових сил.

Тягова ланка виготовляється зі сталі з високими пружними властивостями. При прямокутному поперечному перерізі (рис. 6.12) тензорезистори 1, 3, що працюють на розтягання, наклеюються на вузьку грань ланки симетрично поздовжній осі стержня по обидва боки.

Тензорезистори температурної компенсації 2, 4 наклеюються на широку грань у поперечному напрямку. Це оберігає схему від можливого впливу вигину й змін температури навколишнього середовища. Деформацій кручення можна уникнути конструкцією зчипки.

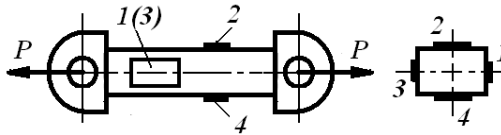


Рис. 6.12 – Тензометрична тягова ланка

Застосовуються також двотаврові перетини стержня й кільцеві тягові ланки. Тягова ланка тарується за показниками зразкового динамометра.

Наклеєні тензорезистори й проводка надійно захищені від механічних ушкоджень і впливу вологи.

Крутний момент на валах машин вимірюють за допомогою ротаційних динамометрів і динамографів. Існує багато різновидів таких приладів, що базуються на різних принципах.

Відомі конструкції пружинних приладів з передачею інформації на нерухомі реєстраційні пристрої й з реєстрацією на пристроях, що обертаються разом з валом, гідравлічних - із пружинними й манометричними чутливими елементами, електричних, що базуються на різних ефектах.

Однак різноманітність конструктивних виконань машин не дозволяє створити універсальні конструкції ротаційних динамографів, придатні для використання в різних умовах. Більшість створених конструкцій є громіздкими, інерційними, їхня

установка вимагає внесення змін до конструкції передач, що часто істотно спотворює характер динамічних процесів у машинах.

Незважаючи на описані труднощі створення надійного струмознімання з обертових валів, найбільш практичний метод виміру крутних моментів - **електротензометрія**.

Крутні моменти на вихідних валах двигунів вимірюють на спеціальних установках - гальмових стендах.

Для виміру температури застосовують термометри індикаторного типу, а також термометри, пристосовані для реєстрації результатів вимірів. **За принципом дії** розрізняють термометри розширення, манометричні, електричні термометри опору, термоелектричні пірометри й пірометри випромінювання.

Рідинні термометри розширення й манометричні залежно від виду робочої рідини можуть використовуватися для виміру температур $-20+40...55^{\circ}\text{C}$. Манометричні термометри (рис. 6.13) зручні при дистанційному вимірі температури. Термометр складається з балончика для рідини або газу 1, капілярної трубки 2 і манометра 3 зі шкалою.

Електричні термометри опору на базі термісторів (напівпровідникових чутливих елементів) застосовуються для виміру температур $-60...+180^{\circ}\text{C}$ при контактних і дистанційних вимірах.

Термістор розміром 2...6 мм включається в мостову схему, вимірювальна діагональ якої має мікроамперметр або самопис. Термометр має високу чутливість, зручний для вимірів у важкодоступних місцях, але через недостатню міцність термісторів не придатний для роботи в умовах вібрації.

Для виміру високих температур широко використовується термоелектричний ефект. Термоелектричний перетворювач складається із двох спаяних провідників з різних металів (рис. 6.14). Якщо помістити спай 1 у місце виміру, за рахунок різниці температур вимірюваного й навколишнього середовища, де перебувають протилежні кінці провідників 2, генерується електричний струм, що надходить на мілівольтметр 3. Похибка термоелектричних перетворювачів промислового виготовлення близько 1%, однак вона збільшується при вимірі температур нижче -100°C і відсутності спеціальних компенсаційних пристроїв, а також змінюється зі зміною температури навколишнього середовища.

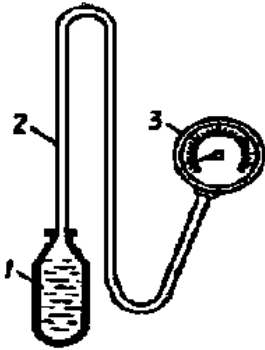


Рис. 6.13 – Манометричний дистанційний термометр

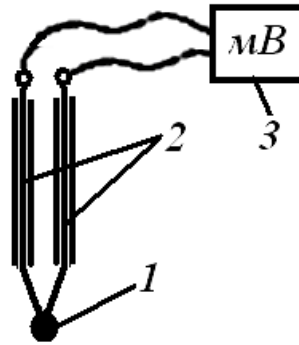


Рис. 6.14 – Дистанційний термоелектричний перетворювач

При випробуваннях машин із двигунами внутрішнього згоряння звичайно виникає завдання визначення витрати палива на різних режимах роботи машини.

В лабораторних умовах може використовуватись ваговий метод, коли бачок з паливом встановлюється на чашці ваг, а витрата визначається зважуванням на початку й в кінці встановленого проміжку часу. Більш універсальним є об'ємний спосіб, що застосовується в умовах польового й експлуатаційного експерименту.

Для цього використовуються **мірні паливні бачки** (рис. 6.15). Мірний бачок може виготовлятися зі скляного градуйованого циліндра або металевої труби. В останньому випадку (рис. 6.15, а) покажчиком рівня рідини служить стержень 1 зі стрілкою 2, укріплений на поплавку 3. При відповідному положенні триходового крана 4 бачок заповнюється з паливного бака самопливом.

В іншому положенні крана рідина витрачається з мірного бачка, у третьому - надходить у двигун з основного бака. Місткість бачка повинна відповідати витраті палива за один вимір. Для тривалих вимірів сумарної витрати палива може використовуватись **спарена мірна ємність** (рис. 6.15, б). Крани 1 й 2 періодично перемикаються, по черзі з'єднуючи один бачок з основним баком, а інший - із трубопроводом палива для двигуна. Ці операції можуть бути автоматизованими, а кількість перемикачів зареєстрована лічильником.

На цей час реалізовані схеми **імпульсних витратомірів**, що складаються з поршневого дозатора з електрогідравлічним керуванням й електронного тригерного пристрою, що керує роботою доза-

тора й формує вимірювальні електричні імпульси, необхідні для реєстрації витрати палива.

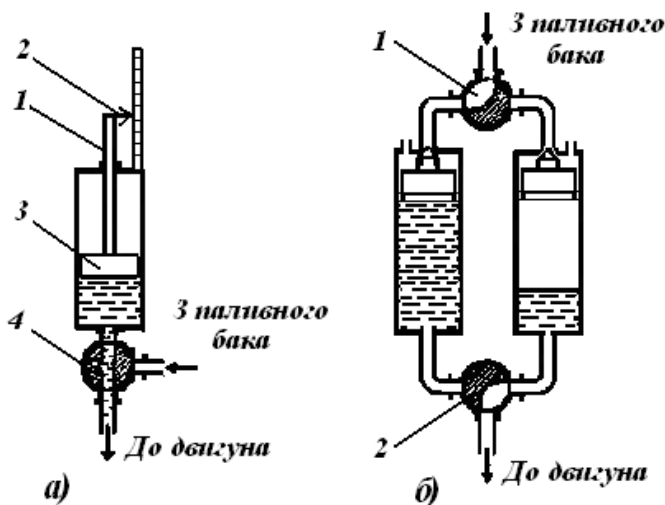


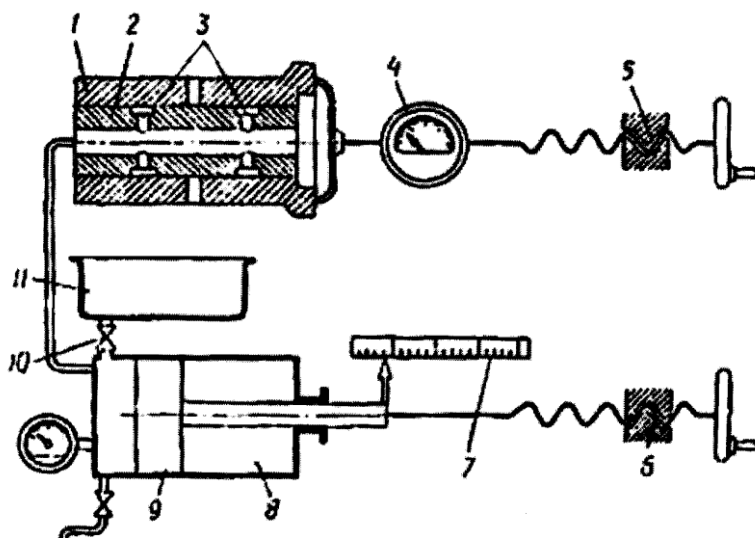
Рис. 6.15 – Мірні паливні бачки:

а) одинарний; б) подвійний

Широке впровадження гідравлічних приводів у конструкції будівельних та рятувальних машин поставило перед дослідниками ряд проблем, пов'язаних зі збільшенням елементів, економією дорогих експлуатаційних матеріалів. Виникла необхідність у створенні приладів, що дозволяють проводити спостереження за станом елементів гідравлічних приводів.

Один з таких приладів - розроблений в ХАДІ пристрій УКЧ-1 (рис. 6.16), призначений для визначення ступеня забруднення робочих рідин гідравлічних приводів машин продуктами зношування розміром до 5 мкм у діапазоні вимірюваних класів чистоти.

Пристрій складається із плунжерної пари, рухомий елемент якої виконаний у вигляді гільзи 1, яка переміщується відносно нерухомого плунжера 2 через динамометр 4 за допомогою гвинтової пари 5. Зазор між гільзою й плунжером відповідає максимальному розміру продуктів зношування, концентрація яких у робочій рідині оцінюється силою тертя між гільзою й плунжером.



**Рис. 6.16 – Пристрій УКЧ-1 для визначення ступеня забруднення
робочої рідини гідравлічних приводів**

Контрольована проба робочої рідини міститься в ємності 11, що поєднана із циліндром 8 поршневого насоса. При відкритому вентилі 10 за допомогою гвинтової пари 6 поршень 9 переміщується вправо й заповнює циліндр контрольованою рідиною.

При зворотному русі поршня рідина надходить у плунжерну пару й через дросельні отвори 3 заповнює зазор між гільзою й плунжером. Необхідна для цього кількість рідини контролюється за шкалою 7.

За тиску в системі, рівному нулю, і заповненому зазорі плунжерної пари здійснюється рух гільзи відносно плунжера і реєструються показання динамометра 4. Цьому значенню сили рушення відповідає певний індекс забруднення рідини й клас її чистоти.

Підвищення надійності машин й устаткування, створення методів розрахунку на задану довговічність вимагає, насамперед, вивчення режимів навантаження в різних умовах експлуатації.

Необхідно встановити типові види робіт, тривалість експлуатації машини в різних умовах, одержати достовірні дані про навантаження й напруги, що виникають у різних елементах конструкції.

У реальних умовах роботи будівельних і рятувальних машин ці дані залежать від багатьох факторів, зміна яких має випадковий характер, внаслідок чого оцінка режиму роботи цих машин можлива статистичними методами.

Необхідними є дані про середні навантаження, середню тривалість дії навантажень різного рівня та їхні статистичні розподіли, про асиметрію циклу напруг та ін. Ці дані можна отримати при випробуваннях машин реєстрацією на стрічці осцилографа відповідних параметрів робочих процесів у характерних деталях машинної системи.

Однак при проведенні тривалих випробувань, необхідних для одержання достовірних статистичних закономірностей, такий метод не прийнятний не тільки у зв'язку з технічними труднощами й більшими витратами часу й засобів, але й тому, що застосування комплексу тензометричної апаратури неминуче позначається на самому характері робочого процесу машин і устаткування.

При зборі інформації про режими навантаження машин необхідною є досить проста й надійна апаратура, вбудована в елементи машинних систем без принципових змін у їхній конструкції, пристосована для зберігання достатнього обсягу інформації, що накопичується протягом робочої зміни.

Прототип таких приладів - застосовувані на тракторах **лічильники мотогодин**. Однак вони видають недостатню інформацію. Більше інформації одержують за допомогою режимомірів (рис. 6.17).

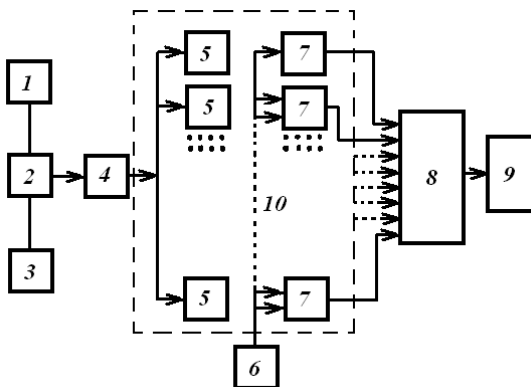


Рис. 6.17 – Схема алгоритму режимоміра

На рис. 6.17 показано блок-схему режимоміра, призначеного для виміру тензодатчиками напруг, сил та крутних моментів у металоконструкціях, тисків у гідросистемах, переміщень і швидкостей. Його виконано у вигляді переносного пристрою, що складається з трьох блоків і дозволяє робити виміри на рухомих машинах й у стаціонарних умовах.

Тензодатчики 1 утворюють вимірювальний міст разом з балансувальним пристроєм 2.

На міст подається напруга від генератора 3.

Сигнал датчиків через підсилювач 4 подається на блок аналого-цифрового перетворювача 10.

Аналого-цифровий перетворювач складається з десяти амплітудних дискримінаторів 5, кожний з яких настроєно на певний рівень амплітуди спрацьовування, і десяти ключових схем 7.

Ключові схеми, спрацьовуючи, пропускають рахункові імпульси генератора імпульсів 6 на блок перерахункових схем 8, звідки сигнал надходить на рахунковий блок 9, що фіксує час перебування навантаження на рівні, що перевищує заданий настроюванням дискримінатора.

Режимомір дозволяє оцінити в цифровій формі характер розподілу навантаження на десятих рівнях.

Більш складним є режимомір ХАДІ-8, він забезпечує реєстрацію до чотирьох величин на 20 рівнях з максимальною похибкою 1,5 % у діапазоні температур -40...+50 °С.

6.5 Калібрування й перевірка приладів

Перевірка вимірювальних приладів полягає в зіставленні показань перевіряючого приладу і показань іншого, більш точного приладу, отриманих в однакових умовах.

В результаті перевірки встановлюється інструментальна похибка приладу, що перевіряється.

Таким само методом здійснюється калібрування, але його кінцевий результат - визначення масштабу приладу, побудова каліброваного графіка або нанесення шкали на виготовлений нестандартний прилад.

Всі засоби вимірів, що використовуються при виконанні експериментальних досліджень і випробувань промислової продукції, підлягають обов'язковій перевірці у спеціальних метрологічних лабораторіях.

Результати вимірів, виконаних вимірювальними засобами, що не пройшли перевірки або не атестовані в органах Держстандарту, вважаються недійсними.

Разом з тим перед початком нового циклу випробувань й експериментів слід виконувати поточну перевірку використовуваних приладів, а за тривалої роботи справного приладу практикується кількаразова перевірка в ході експерименту.

Тому дослідницькі й випробувальні лабораторії повинні мати у своєму розпорядженні відповідні контрольно-тарувальні засоби: еталонні, зразкові й контрольні прилади різних розрядів.

На право перевірки приладів базові лабораторії Держстандарту видають відповідні посвідчення.

Прилади перевіряють і калібрують на стаціонарних або переносних установках (стендах).

Калібровану діаграму будують у такий спосіб. Прилад вмикається в один ланцюг зі зразковим, діапазон вимірів розбивається на кілька інтервалів.

Калібрування починається з нульової лінії. Для установки нульової лінії у вимірювальний ланцюг подається найбільше навантаження, яке потім повільно зменшується до нуля.

Для самописних приладів це положення самописа приймається за нуль, і пуском стрічкопротягувального механізму на стрічці відзначається нульова лінія.

Потім прикладається перший інтервал навантаження, що втримується доти, поки система повністю не зрівноважиться, після чого положення самописа фіксується пуском стрічкопротягувального механізму, і записуються показання зразкового приладу.

У такий же спосіб доходять до максимального навантаження, потім додатково трохи перевантажують прилад й аналогічним чином роблять розвантаження тими ж інтервалами.

В результаті виходить східчаста калібрована діаграма.

Через наявність тертя й зазорів у механізмах, а також гістерезису в деяких ланках системи висота сходів при розвантаженні є трохи більшою, ніж при навантаженні. Ця різниця тим менше, чим вище чутливість приладу.

Зразковий вид каліброваної діаграми показано на рис. 6.18.

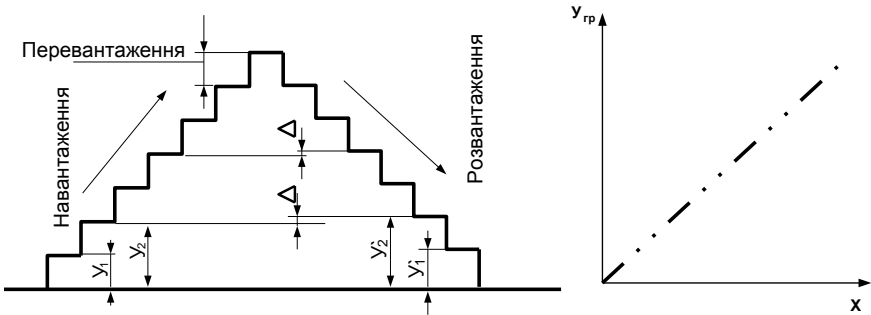


Рис. 6.18 – Діаграми калібрування приладів:

а) східчаста; б) масштабна

Калібрувальний цикл повторюється кілька разів (звичайно три), обчислюються середні значення показань при навантаженні й розвантаженні, по яких може будуватись масштабна діаграма. Результати калібрування оформляються у вигляді таблиці.

Масштаб визначається як відношення достовірного навантаження, встановленого за зразковим приладом, до середньої ординати навантаження й розвантаження.

Характеристика приладу - лінійна, якщо масштаб однаковий для всіх інтервалів навантаження. Ця перевага приладу істотно полегшує обробку результатів вимірів.

Варіації (розкид) показань приладу є характеристикою стійкості показань.

Для кожного щабля навантаження варіація визначається як найбільша різниця показань випробовуваного приладу, виражена у відсотках номінального навантаження.

Тензометричні ланки калібрують на пресах, розривних машинах, а в тих випадках, коли визначається напружений стан деталей, не віддільних від машинної системи, створюють спеціальні навантажувальні пристрої, що імітують реальні умови навантаження.

6.6 Обробка результатів вимірів й оцінка їхньої точності

Ніякі виміри не можуть бути виконаними абсолютно точно – отриманий результат завжди містить деяку похибку. Розрізняють **систематичні, випадкові й грубі** похибки.

Систематичними називають похибки, які залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірах однієї й тієї ж величини (наслідок роботи з несправними приладами, застосування не точних методів вимірів, інші недогляди дослідника).

Такі похибки найчастіше характеризуються сталістю знака, тобто зменшують або збільшують результат. Виявити й усунути систематичні похибки буває нелегко. Для їхнього виключення користуються наступними правилами.

При проведенні експерименту необхідно використовувати тільки засоби виміру, що пройшли метрологічний контроль (перевірку). Бажано також, щоб виміри однієї й тієї ж величини дублювалися застосуванням різних засобів вимірів.

При тривалих експериментальних дослідженнях необхідне контрольне тарування вимірювальних засобів.

При визначенні величин за результатами непрямих вимірів доцільно змінити метод їхнього обчислення. Бажано, щоб обробка результатів вимірів проводилася паралельно з діяльністю експериментатора, незалежно одне від одного.

Якщо викриті систематичні помилки викликані виявленими в такий спосіб причинами, то їх можна визначити, а похибки усунути введенням відповідних виправлень.

Випадковими називають похибки, які при повторних вимірах однієї й тієї ж величини змінюються випадковим чином. Їх поява викликана різними об'єктивними й суб'єктивними причинами.

При багаторазових визначеннях якої-небудь величини для тих самих умов можуть зустрічатися результати, які значно відрізняються від інших тієї ж серії, тобто мають місце грубі похибки. Їх поява найчастіше викликана неухважністю експериментатора, й їх необхідно обов'язково усунути.

Відомі різні методи виключення грубих похибок. Грубі похибки за критерієм максимального відхилення усувають у такий спосіб. За отриманими дослідними даними знаходять середнє арифметичне значення величини (y) та її середньоквадратичне відхилення (σ).

Для сумнівного результату y_k знаходять відносне відхилення:

$$r_p = \frac{y_k - y}{\sigma},$$

де n – число дослідів.

Якщо абсолютне значення величини r_p перевищує табличне значення r_t для обраного рівня надійності й числа ступенів вільності $\psi = n - 2$, то даний результат є грубою похибкою і його необхідно при наступній обробці дослідних даних виключити.

Значення r_t наведено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Максимальне відхилення r_t

Число ступенів вільності	Рівень надійності		Число ступенів вільності	Рівень надійності	
	0,99	0,95		0,99	0,95
1	1,414	1,412	13	2,8	2,493
2	1,723	1,689	14	2,837	2,523
3	1,955	1,809	15	2,871	2,551
4	2,130	1,996	16	2,903	2,557
5	2,565	2,093	17	2,932	2,600
6	2,374	2,172	18	2,959	2,623
7	2,464	2,237	19	2,984	2,644
8	2,54	2,299	20	3,008	2,644
9	2,606	2,343	21	3,030	3,683
10	2,663	2,387	22	3,051	2,701
11	2,714	2,426	23	3,071	2,717
12	2,759	2,461			

Грубі похибки можна також визначати й за критерієм Стюдента. Методика розрахунку цього критерію для сумнівного результату і відповідні таблиці наведені у спеціальній літературі.

Перед підбором емпіричних формул за даними дослідів слід переконатися у вірогідності останніх, тобто в їхній відтворюваності із заданою довірчою ймовірністю.

Оцінка відтворюваності дослідних даних здійснюється за критерієм Коурена:

$$G_p = \frac{\max \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2} \leq G_T,$$

де m - кількість серій паралельно поставлених дослідів;
 σ_i - значення дисперсії i -ої серії.

Якщо отримане число G_p менше табличного G_T , досліді вважають відтвореними.

Величини G_T , що відповідають рівню надійності 0,95, залежно від числа серій m і ступенів вільності $\psi = n - 1$ (n - число дослідів у кожній серії) наведено в табл. 6.2.

При дослідженні процесів, пов'язаних з виробничою й технічною експлуатацією машин, забезпеченням їхньої надійності, часто спостерігають випадкові величини, що змінюються в певному інтервалі з різною щільністю.

Обробку таких спостережень здійснюють методами математичної статистики. Нехай для різних значень величини x маємо велику кількість спостережень величини y .

Тоді діапазон зміни величини x розбивають на m рівних інтервалів $x_1-x_2, x_2-x_3, x_3-x_4, \dots$ і підраховують, скільки разів спостережна величина y потрапляє в кожен інтервал; очевидно, що:

$$\sum_{i=1}^m y_i = N,$$

де N – число спостережень.

Таблиця 6.2 – Критерій Коурена G_T

Кількість серій дослідів	Ступінь вільності							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0,999	0,975	0,939	0,906	0,877	0,853	0,853	0,816
3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633
4	0,907	0,768	0,689	0,629	0,590	0,500	0,637	0,518
5	0,841	0,684	0,598	0,544	0,507	0,478	0,456	0,439
6	0,781	0,616	0,532	0,480	0,445	0,418	0,398	0,382
7	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338
8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,336	0,319	0,304
9	0,639	0,478	0,403	0,358	0,329	0,307	0,290	0,277
10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,254
12	0,541	0,392	0,326	0,288	0,262	0,244	0,230	0,219
15	0,471	0,335	0,276	0,242	0,220	0,203	0,191	0,182
20	0,389	0,271	0,221	0,192	0,174	0,160	0,150	0,142

Відносячи для кожного інтервалу змін x кількість спостережених величин y_i до загального числа спостережень, будують гістограму (рис. 6.19).

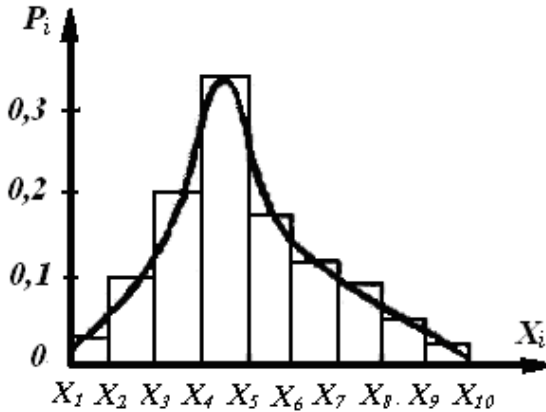


Рис. 6.19 – Гістограма й крива щільності розподілу випадкових величин

Ці експериментальні дані можна апроксимувати теоретичною кривою - нормальним законом Гаусса, законами Пуассона, Вейбула, біноміальним, логарифмічним та ін.

Відповідність обраної теоретичної кривої дослідним даним перевіряють за різними критеріями (критерії Пірсона, Романовського, Колмогорова та ін.), методики розрахунків яких та відповідні таблиці наведені у спеціальній літературі з математичної статистики, теорії ймовірностей та обробки результатів експериментів.

У багатьох випадках вимірювані величини реєструються безупинно за допомогою самописних приладів, осцилографів і т.д. Обробку результатів таких вимірів виконують залежно від цілей дослідження. Зокрема, дослідника може цікавити середньомаксимальні, середньомінімальні й середні значення спостережуваної величини.

У таких випадках обробку роблять аналогічно вимірам випадкової величини. Приймаючи одне максимальне (мінімальне) відхилення за випадкову величину, одержуємо:

$$P_{cp.max} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{i.max}}{N}, \quad P_{cp.min} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{i.min}}{N}.$$

Число максимумів (мінімумів) N забезпечує необхідну точність результатів за заданою надійності.

Ця обставина, зокрема, може використовуватись для визначення тривалості запису вимірюваної величини при плануванні проведення відповідних експериментів.

Оцінку результатів таких вимірів здійснюють за допомогою математичного очікування, кореляційної функції, спектральної щільності.

Як видно з викладеного, обробка результатів експериментальних досліджень - це трудомісткий процес.

З метою його полегшення розроблено програми для обробки результатів дослідів за допомогою ЕОМ, що забезпечують видачу всіх необхідних характеристик.

У ряді випадків використовують **обчислювальні комплекси**, що здійснюють обробку експериментальних даних одночасно з їхньою реєстрацією, тобто має місце часткова або повна автоматизація проведення експериментального дослідження. Постановка таких досліджень проводиться в рамках вирішення великих науково-технічних завдань особливої значущості. Ціль зіставлення й аналізу результатів, теоретичних й експериментальних досліджень визначається рівнем виконаних теоретичних розробок.

Якщо в ході теоретичного дослідження отримано залежності, що описують досліджуваний процес із якісної й кількісної сторін, то в цьому випадку мета такого зіставлення - встановити точність одержуваних розрахункових результатів, сфери застосування отриманих аналітичних виразів.

Це являє собою узагальнену оцінку допущень, прийнятих у ході побудови математичної моделі процесу. Адекватність теоретичних залежностей дослідним даним може встановлюватись за критерієм Фішера.

Проводячи зіставлення, звертаються до такого способу. За даними аналітичного дослідження будують графічні залежності характеристик досліджуваного процесу від факторів, що впливають, і тут же наносять точки або криві, отримані в ході експерименту.

Природно, що повний збіг розрахункових і дослідних даних буде лише в окремих місцях, відхилення ж між дослідними й розрахунковими результатами характеризують точність останніх.

Таке відхилення характеризують відносною похибкою, тобто відношенням різниці між дослідженим і розрахунковим значеннями

величини до дослідженої величини, вираженими у відсотках. Звичайно вказують мінімальну й максимальну похибки або їхнє граничне значення.

Оскільки досліджене значення величини також отримано з певною точністю, відхилення розрахункових даних може знаходитись або в межах похибки експерименту, або виходити за них.

Останнє, по суті, і характеризує прийнятність прийнятих в аналітичних дослідженнях допущень.

Залежно від цілей проведеного дослідження задаються припустимою точністю розрахункових результатів. Чітко встановлених правил тут немає.

Так, при розрахунках, пов'язаних з визначенням міцності конструкцій машин, прийнятною вважається точність 5...10%, при проведенні досліджень робочих процесів машин - до 15...20%, що обумовлено мінливістю властивостей досліджуваних процесів.

У деяких випадках визначення граничної похибки розрахунків є предметом аналітичних досліджень із використанням відповідних критеріїв оптимізації.

Маючи у своєму розпорядженні значення припустимої похибки розрахункових результатів, за побудованими графічними залежностями визначають діапазон зміни факторів, що характеризує сферу застосування аналітичних залежностей.

Якщо такий діапазон зміни факторів відповідає завданням дослідження, то роблять висновок про задовільну відповідність розрахункових і досліджених даних.

У протилежному випадку є потреба у коректуванні аналітичної моделі переоцінкою прийнятності прийнятих допущень, що може становити предмет самостійного дослідження.

В інших випадках вводять відповідні поправочні коефіцієнти, що приводять значення розрахункових даних у відповідність до досліджених даних за обраною припустимою похибки.

Аналогічним чином так роблять і у випадках, коли в ході теоретичного дослідження отримано залежності, що описують процес лише з якісної сторони.

Тут метою зіставлення розрахункових і дослідних даних є визначення значень коригувальних коефіцієнтів, що забезпечують необхідну рівність отриманих результатів.

За відсутності в дослідженні теоретичних розробок аналізують отримані аналітичні вирази емпіричних формул, рівняння регресії.

На основі аналізу розрахункових і дослідних даних формулюють основні висновки й результати проведеного дослідження, визначають напрямок подальших досліджень.

Висновки повинні відбивати фізичну сутність пізнаних закономірностей, ступінь впливу на характеристики процесу різних факторів, можливості кількісної оцінки характеристик процесу з необхідною точністю.

У висновках також констатують наявність екстремальних умов протікання процесу або характерних критичних точок, у яких відбувається зміна виду вивчених закономірностей.

В результатах дослідження відбиваються можливості використання основних положень теоретичних розробок побудованої методики проведення експерименту, ступінь відповідності розрахункових і дослідних даних, формулюють доцільні подальші напрямки як теоретичних, так й експериментальних досліджень.

6.7 Планування експериментів

У широкому розумінні слова планування експериментів містить у собі визначення числа дослідів, витрат праці, часу й засобів. Природно, що основним тут є визначення числа необхідних дослідів. У цьому випадку дослідникові найчастіше доводиться вирішувати дві головні задачі:

- установити число дослідів з визначення якої-небудь фізичної величини із заданою точністю;
- визначити потрібне число дослідів з відшукування функціональної залежності між величиною, що цікавить, і системою факторів, параметрів.

При цьому виходять з того, що похибка при вимірах якої-небудь фізичної величини, як і її значення, якщо вона не є постійною, підкоряється нормальному закону розподілу.

Таке положення має місце в більшості випадків. Гадають також, що функціональний шуканий зв'язок між величинами дійсно існує. Розглянемо рішення обох перерахованих задач.

Розрізняють величини **постійні** (діаметр вала в заданому перетині, його маса й т.д.) і **змінювані, випадкові** (об'ємна маса ґрунту, його вологість і т.д.).

Для визначення постійних величин досить разових вимірів.

Точність вимірів оцінюється Δ - абсолютною й Δ_l - відносною похибками:

$$\Delta = y - a; \quad \Delta_1 = \pm \frac{\Delta}{y} 100\% ,$$

де y - значення даної величини, отримане більш точним приладом;
 a - значення величини, отримане приладом, який використовується при даних вимірах.

Точність приладів характеризується граничною похибкою, віднесеною у відсотках до верхньої, найбільшої межі вимірів (клас приладу). Граничні похибки деяких приладів наведено в таблиці 6.3.

При вимірах величин, що змінюються, і використанні того самого приладу потрібні багаторазові виміри.

Таблиця 6.3 – Граничні похибки за різних способів вимірів

Спосіб застосування, інструмент, прилад	Гранична похибка, %
Сталева 20-метрова рулетка	0,2÷0,3
Планіметри лінійні й полярні	0,4÷0,7
Тахометри відцентрові	0,4÷2,5
Тахогенератори	2,5÷4,0
Ваги	
торговельні й автомобільні	0,8÷1,2
технічні	0,1÷0,2
аналітичні	0,0001÷0,1
Динамометри	
пружинні	1,0÷3,5
гідравлічні	0,7÷2,0
електричні (без підсилювача)	0,2÷0,5
ртутні манометри	1,0÷2,5
стандартні секундоміри	0,4÷0,7
термоелектричні перетворювачі (без підсилювача)	0,5÷2,5
Термометри	
ртутні технічні	0,3÷2,0
напівпровідникові	0,1÷1,0

Якщо при вимірах деякого параметру U , маємо наступні значення цієї величини: U_1, U_2, \dots, U_n , то результат вимірів визначають як середньозважену арифметичну величину:

$$\bar{Y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n},$$

де n - число вимірів.

Точність результату характеризує середньоквадратичне відхилення.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}},$$

де y_i - величина i -го виміру.

На підставі вимірів маємо $Y = \bar{Y} \pm 3\sigma$, де 3σ - абсолютна помилка, обумовлена середньоквадратичним відхиленням і заданою надійністю (імовірністю) результату.

Для переважної більшості технічних вимірів найбільшою середньою арифметичною похибкою є абсолютна похибка $\Delta = \pm 3$. Це означає, що з надійністю 0,997 значення обмірюваної величини буде перебувати в межах $Y = \bar{Y} \pm 3\sigma$.

Даним правилом можна користуватися й при виключенні грубих помилок при вимірах, відкидаючи результати, для яких $\sigma_i > 3\sigma$.

Зрозуміло, точність і надійність результату багаторазових вимірів тим вище, чим більше число вимірів і вище точність застосовуваних приладів.

Однак це збільшує трудомісткість постановки дослідів. За заданих точності й надійності результатів вимірів число дослідів визначають ітераційним методом за формулою:

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{\Delta^2},$$

де t - норма, яка визначає гарантовану ймовірність відхилення середньої малої вибірки від середньої генеральної сукупності (таблиця 6.4). При цьому задаються числом дослідів n_1 , на основі вимірів визначають σ , далі порівнюють число n_1 із отриманим за формулою значенням n .

Таблиця 6.4 – Значення величини t за заданої надійності P і числа дослідів n

n	P				n	P			
	0,9	0,95	0,99	0,999		0,9	0,95	0,99	0,999
2	2,92	4,3	9,92	31,6	16	1,75	2,12	2,92	4,01
3	2,35	3,18	5,84	12,9	17	1,74	2,11	2,90	3,96
4	2,13	2,78	4,60	8,61	18	1,73	2,10	2,88	3,92
5	2,01	2,57	4,03	6,83	19	1,73	2,09	2,86	3,88
6	1,94	2,45	3,71	5,96	20	1,73	2,09	2,85	3,85
7	1,89	2,36	3,50	5,40	21	1,72	2,08	2,83	3,82
8	1,86	2,31	3,36	5,04	22	1,72	2,07	2,82	3,79
9	1,83	2,26	3,25	4,73	23	1,72	2,07	2,81	3,77
10	1,81	2,23	3,17	4,39	24	1,71	2,06	2,80	3,74
11	1,80	2,20	3,11	4,44	25	1,71	2,06	2,79	3,72
12	1,78	2,18	3,05	4,32	26	1,71	2,06	2,78	3,71
13	1,77	2,16	3,01	4,22	30	1,70	2,04	2,75	3,65
14	1,76	2,14	2,98	4,14	40	1,68	2,02	2,70	3,55
15	1,75	2,13	2,95	4,07	60	1,67	2,00	2,66	3,46

Процес закінчується при виконанні умови $n_1 > n$. Орієнтовно число дослідів можна вибрати за таблицею 6.5.

Таблиця 6.5 – Необхідна кількість дослідів

Похибка	Надійність			
	0,9	0,95	0,99	0,999
3σ	2	3	4	5
1σ	5	7	11	17
2σ	3	4	5	7
$0,5\sigma$	13	18	31	50
$0,3\sigma$	32	46	78	127
$0,1\sigma$	273	387	668	1089
$0,05\sigma$	1084	1540	2659	9338
$0,01\sigma$	27161	38416	36358	108307

Чітких критеріїв у виборі надійності результатів вимірів немає.

Для досліджень, пов'язаних з конструкціями машини, достатньою є надійність 0,9; при детальних дослідженнях, що є основою для наступного розрахунку, необхідною є надійність 0,95 й 0,99.

У ряді випадків доводиться визначати значення $Y = f(a, b, c, \dots)$ за результатами вимірів інших величин a, b, c, \dots (непрямі виміри).

Визначаючи похибку величини B , тут користуються наступними правилами. Якщо функція B являє собою суму доданків, то відносна похибка приймається рівною середньоарифметичній похибці доданків.

Відносна похибка добутку або частки дорівнює сумі відносних похибок співмножників, чисельника й знаменника.

Відносна похибка ступеня дорівнює похибці основи, помноженій на показник ступеня й поділеній на основу. Відносна похибка косинуса й синуса дорівнює добутку значень тангенса й котангенса на граничну абсолютну похибку кута в радіанах.

Відносна похибка тангенса й котангенса дорівнює частці від ділення подвійної абсолютної похибки кута на синус подвійного кута. Загальна залежність для визначення похибки в таких випадках має вигляд:

$$\frac{\Delta y}{y} = \pm d[\lg f(a, b, c, \dots)].$$

Розглянемо методи пошуку функціональних залежностей. Нехай потрібно експериментальним шляхом установити вид функції $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Слід пам'ятати, що для вирішення цієї задачі необхідне число дослідів перебуває у статичній залежності від числа аргументів x_n . Тому, насамперед, необхідно спробувати скоротити число змінних у шуканій функції. Цього можна досягти по-різному.

По-перше, вивчення й аналіз літератури з даного питання можуть показати, що шукана величина B або не залежить від якихось аргументів, або залежність є слабкою й пошук її не має сенсу.

По-друге, доцільно використати апріорний метод (метод експертних оцінок), що полягає в опитуванні фахівців з даного питання.

По-третє, як вказувалося раніше, досить ефективним способом скорочення числа аргументів є перетворення функції до безрозмірного виду за допомогою методів теорії подоби й розмірностей.

По-четверте, можна виконати пошукові експерименти і за їхніми результатами відсіяти аргументи, що мало впливають на шукану функцію.

Припустимо, що на підставі виконаної роботи задача звелася до встановлення виду функції від однієї змінної. Тепер треба вирішити питання про межі зміни аргументу (фактора). Це визначається конкретними умовами задачі.

Варто мати на увазі, що вузька зона зміни фактора забезпечує одержання більш точної математичної залежності, однак при звуженні зони зміни фактору втрачається й спільність отриманих результатів.

Далі необхідно визначити число дослідів і крок зміни фактора. Практика проведених досліджень показує, що в більшості випадків достатньою є постановка дослідів за п'ятьох значень фактора, обраних у заданому інтервалі з рівним кроком.

Число дослідів для кожного значення фактора визначають так само, як і при вимірах випадкової величини.

Маючи у своєму розпорядженні результати експерименту, точки наносять на графік і проводять плавну криву, що за можливістю повинна проходити через всі середні точки.

Можуть бути вигини й перегини кривої. У таких зонах необхідна постановка не менше трьох додаткових експериментів.

Маючи експериментальну криву, приступають до підбору відповідної математичної залежності - емпіричної формули. Для цього перетворенням величин у та x прагнуть представити експериментальну криву у вигляді графіка якомога простішої математичної функції.

Оскільки ділянка експериментальної кривої може бути описана різними формулами, при виборі останніх слід враховувати відповідність обраної формули фізичному змісту досліджуваних явищ.

Більш точний і загальний метод визначення параметрів шуканої функції – **спосіб найменших квадратів**. У загальному випадку його застосовують для пошуку функцій у вигляді статичного багаточлена:

$$B = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m.$$

Величина $(m+1)$ – число шуканих коефіцієнтів, що залежить від числа факторів K . Коефіцієнти a_0, \dots, a_m можна знайти за результатами активного або пасивного експерименту.

У першому випадку число дослідів скорочується до мінімуму, однак на зміну факторів у ході експерименту накладаються певні обмеження.

Відомі ортогональні, рототабельні й інші плани експериментів, вибір яких залежить від умов експериментальних досліджень, а методики – наведено у спеціальній літературі.

6.8 Оформлення результатів наукової праці і передача інформації

Після того, як сформульовано висновки й узагальнення, продумано докази і підготовлено ілюстрації, настає наступний етап - літературне оформлення отриманих результатів у вигляді звіту, доповіді, статті і т.д.

Процес літературного оформлення результатів творчої праці припускає знання і дотримання деяких вимог, пропонованих до змісту наукового рукопису. Особливо важливими є ясність викладу, систематичність і послідовність у подачі матеріалу

Текст рукопису слід поділяти на абзаци, тобто на частини, що починаються з нового рядка. Правильна розбивка на абзаци полегшує читання і засвоєння змісту тексту. Критерієм такого розподілу є написаний зміст - кожен абзац включає самостійну думку, що міститься в одній чи декількох пропозиціях.

У рукописі треба уникати повторень, не допускати переходу до нової думки, поки перша не одержала повного закінченого вираження. Не можна допускати в рукописі розтягнутих фраз з накопиченням придаткових пропозицій, вступних слів і фраз, писати необхідно за можливістю короткими й ясними для розуміння пропозиціями.

Текст краще сприймається, якщо в ньому відсутні тавтології, часте повторення тих самих слів і виразів, сполучення в одній фразі декількох свистячих і шиплячих літер.

Виклад повинен бути безстороннім, включати критичну оцінку існуючих точок зору, висловлених у літературі з даного питання, навіть якщо факти не на користь автора. Якщо ж необхідно включити спірну думку, то слід домовитися про це. У тексті бажано менше робити посилань на себе, але якщо це необхідно, то слід вживати вирази в третій особі: автор думає, на нашу думку і т.д.

Не рекомендується перевантажувати рукопис цифрами, цитатами, ілюстраціями, тому що це відволікає увагу читача й утруднює розуміння змісту. Однак не слід і відмовлятися зовсім від такого матеріалу, тому що за ним читачі можуть перевірити результати, отримані в дослідженні. Весь допоміжний матеріал краще навести у звіті

у вигляді додатка. Цитовані в рукописі місця повинні мати точні посилення на джерела.

Необхідно дотримуватися єдності умовних позначок і слів, що допускаються до скорочення відповідно до стандартів. Не можна, наприклад, писати: 10 тонн чи тільки 10 т (без крапки). Дані про ці стандарти і скорочення є в довідкових виданнях, енциклопедіях, словниках. Якщо ж використовуються скорочення нестандартні, властиві даній темі, то у звіті доцільно окремою таблицею дати зведення скорочень і помістити її спочатку звіту.

При написанні наукового звіту, доповіді, статті доцільно дотримуватись наступного загального **плану викладу** (хоча індивідуальні відхилення можливі).

Спочатку продумується назва (заголовок роботи, що повинна бути короткою, визначеною, відповідати змісту роботи, тому що за нею наукова праця буде класифікована у предметному каталозі. Назва роботи виноситься на титульну сторінку, на якій указуються повне ім'я, по батькові і прізвище автора (авторів) у називному відмінку і посада, що ним обіймається у момент написання роботи, назва установи і міста, де було виконано пропоновану роботу, рік її оформлення, прізвище, посада і звання керівника.

Зміст повинен розкрити перед читачем у короткій формі структуру роботи шляхом позначення основних розділів, частин, глав і інших підрозділів рукопису. Зміст в загальній структурі рукопису може міститися або на початку його, або наприкінці.

Іноді при оформленні наукової праці виникає потреба дати **передмову**. У ній викладаються зовнішні передумови створення наукової праці: чим викликана її поява, коли і де було виконано роботу, перелічуються організації й особи, що сприяли виконанню даної роботи.

У короткому **вступі (введенні)** автор уводить читача в коло проблем, дає постановку основного питання дослідження, щоб підготувати до кращого засвоєння викладеного матеріалу. У такому вступі визначаються значення проблеми, її актуальність, мета і задачі, поставлені автором при написанні наукової праці, стан проблеми на даний момент.

Не рекомендується при цьому торкатися фактів і висновків, що викладаються в наступних розділах наукової праці.

Слідом за вступом дається **короткий огляд літератури** з розглянутого питання. При цьому дуже важливо уміти відокремити

найбільш важливу літературу від менш істотної. Це має велике значення для читачів, тому що дозволяє їм визначити місце роботи в загальній структурі робіт з даної теми.

В основний зміст роботи включаються матеріали, методи, експериментальні дані, узагальнення і висновки самого дослідження. При написанні цього розділу необхідно уявити собі питання за пропонованим матеріалом, що можуть, насамперед, зацікавити читача, і відповідно до цього дати по них вичерпну відповідь. Особливу увагу слід звертати на точність використовуваних у тексті слів і виразів, не допускаючи можливості двозначного їхнього тлумачення.

Нові терміни чи **поняття**, введені авторами, необхідно докладно роз'яснювати. Загальновідомі і навіть спеціальні терміни і поняття розкривати необов'язково, тому що наукова праця, як правило, призначається для підготовленого читача, для фахівців.

Цифровий матеріал, якщо він є, наводиться у формі, легко доступній для огляду (у вигляді таблиць, діаграм, графіків) при дотриманні особливої точності, тому що невірні цифри можуть привести до невірних висновків. Якщо ж якийсь цифровий матеріал можна з достатньою ясністю і стислістю викласти в самому тексті, то його не слід вводити в табличну форму. Не треба також вносити в таблиці величини, що виражаються для всіх рядків однаковими цифрами (зручніше їх повідомляти в основному тексті).

Кожна **таблиця**, яка включена в текст, повинна мати найменування (заголовок) і номер або для всієї роботи (Таблиця 27), або для даної глави, наприклад десятої (Таблиця 10.3).

Особливу увагу треба звернути на заголовки граф таблиці. Таблиця повинна містити відповіді мінімум на чотири питання: що, коли, де, звідки. Усі відомості, що можуть бути винесені в заголовки граф, немає потреби розміщувати в тексті таблиці (наприклад, одиниці виміру). Якщо в таблиці є пропуски, їх треба вказати і пояснити, що вони означають. Текст до таблиць дається дуже короткий, у ньому вказуються тільки основні взаємовідношення і висновки, що впливають з цифрового матеріалу.

Порядкову нумерацію вертикальним графам установлюють тільки в тому випадку, якщо ці номери фактично використовуються в тексті (наприклад, при посиланні на ту чи іншу графу чи якщо таблиця переноситься на іншу сторінку тексту).

У таблицях необхідно уникати великих чисел, написаних цілком, а вдаватися до скорочених чи укрупнених одиниць, наприклад, замість 1391000 т. слід писати 1,391 млн. т. і вказувати у заголовку, що числа в цій графі мають розмірність в млн. т.

Висновки повинні відповідати тільки тому матеріалу, що вкладений у роботі. Пишуться висновки наприкінці роботи як підсумковий матеріал у вигляді коротко сформульованих і пронумерованих окремих тез (положень). Іноді їх представляють у зв'язаному, але гранично стиснутому викладі. Але і при цьому слід дотримуватися принципу: у висновках треба йти від часткових до більш загальних і важливих положень.

Характерною помилкою при написанні висновків є те, що замість формулювання результатів досліджень пишеться про те, що робилося в даній роботі, і те, про що йшлося в основному змісті. Виходить повторення матеріалу й у той же час утворюється істотний проблil - відсутність акцепції на результатах дослідження.

У висновку дається узагальнення найбільш істотних положень наукового дослідження, підводяться його підсумки, показується справедливiсть висунутих автором нових положень і також висуваються питання, які ще вимагають дослідження. Висновок ні в якому разі не повинен повторювати змісту. Він звичайно буває невеликим за розмірами, але ємним за тією кількістю інформації, що у ньому повинна міститися. Добре написаний висновок характеризується тим, що людина, знайома з дослідженнями з даного напрямку, прочитавши цей висновок, може ясно представити якісну сутність даної роботи (без її методичних і конкретних кількісних аспектів) і зробити певні висновки про можливі напрямки подальших досліджень.

Наприкінці роботи подається **перелік літературних джерел**. Цитовані літературні джерела, якщо їх мало чи якщо вони використовуються один раз, можна вказати у виносках тексту, а якщо їх багато і вони неодноразово повторюються, то в тексті слід вказати порядковий номер даного джерела за списком літератури, приведеному наприкінці роботи. Усі джерела повинні бути описані в порядку, прийнятому в бібліографії, і пронумеровані. У кожній позиції бібліографії повинні бути вказані: прізвища, ініціали авторів (автора), найменування книги, видавництво, рік видання, обсяг у сторінках.

Якщо посилання дається на журнал, то слід вказувати прізвище, ім'я та по-батькові автора, найменування статті, найменування

журналу, рік видання, номер журналу і сторінки, які займає в журналі стаття (наприклад, с. 21...30). У тексті ж наукової праці достатньо посилатися тільки на номер джерела, ставлячи його в прямі дужки. Якщо потрібно посилання на певну сторінку, то, наприклад, [24, С. 189] означає, що посилання зроблене на сторінку 189 твору, що у списку літератури подається під номером 24. Список літератури складається або за алфавітом прізвищ авторів, при цьому спочатку вказуються вітчизняні джерела, а потім – іноземні, або за хронологічною ознакою, але за таким само принципом. Часто список літератури складають за посиланням на неї в даній роботі.

При написанні наукової праці треба пам'ятати про **архітектуру**, тобто дотримання належних пропорцій між частинами, розділами, главами, підглавами, параграфами і додатками до них. Обсяг рукопису визначається за кількістю друкованих знаків. Один машинописний лист містить 1700...1800 знаків, друкований лист – 40 тис. знаків чи 24 машинописні сторінки.

У наукових працях часто виникає необхідність наприкінці роботи дати **додаток**, куди входять допоміжні таблиці, графіки, додаткові тексти та інші матеріали. При цьому кожному матеріалу, таблиці, графіку треба привласнювати самостійний порядковий номер, який за необхідності можна вказати в тексті при посиланні на ті чи інші допоміжні матеріали.

Часто за текстом роботи доводиться готувати реферат чи анотацію. Це коротка характеристика звіту чи іншого друкованого твору з погляду змісту, призначення, форми та інших особливостей. **Анотація** виконує, насамперед, сигнальні функції і повинна відповідати на запитання: «про що йдеться в первинному документі?» Тому анотації містять у собі переважно фрази у формі обороту, де присудок виражений дієсловом у зворотній формі («розглядається», «обговорюється», «досліджується» і т.п.), пасивною чи дієслівною формою («розглянутий», «досліджений», «доведений» і т.п.). Анотації часто містяться у звітах, а також у книгах, брошурах, тематичних планах видавництва, рекламних матеріалах, у бібліографічних посібниках і друкованих каталожних картках.

Анотація включає характеристику типу роботи, основної теми, проблеми, об'єкт, мету роботи та її результати. В анотації вказується, що нового несе в собі дане дослідження і його читачке призначення. Середній обсяг анотації – 600 друкованих знаків.

Реферат являє собою скорочений виклад змісту первинного документа (чи його частини) з основними фактичними зведеннями і висновками. Реферат, на відміну від анотації, виконує не сигнальну, а пізнавальну функцію, відповідаючи на питання «що міститься в первинному документі?» Тому реферат може містити в собі фрази, виражені будь-якою граматичною формою. Реферати поміщаються в реферативних журналах і збірниках, інформаційних картках і ін.

Реферат (анотація) містить заголовок реферату (як правило, він співпадає з заголовком первинного документа) і текст реферату. Текст реферату включає тему, предмет (об'єкт), характер і мету роботи, методи проведення роботи (для нових методів дається опис, широко відомі тільки називаються), конкретні результати роботи (теоретичні, експериментальні, описові), при цьому перевагу віддають новим і перевіреним фактам, результатам довгострокового значення, відкриттям, важливим для вирішення практичних питань; висновки (оцінки, пропозиції), прийняті і відкинуті гіпотези, описані в первинному документі, характеристику галузі застосування роботи. Середній об'єм реферату залежно від обсягу первинних документів повинен мати друкованих знаків: 500 – для заміток і коротких повідомлень; 1000 – для більшості статей, патентів; 2500 – для документів великого обсягу.

Основні вимоги до оформлення науково-технічного звіту включають: анотацію і реферат з коротким викладом задач дослідження й отриманих результатів, вступ з характеристикою вітчизняних і закордонних досягнень з досліджуваної проблеми і текст звіту. **У текст звіту входять:** постановка задачі, формулювання технічного завдання, аналіз відомих методів і способів рішення задачі, обґрунтування прийнятого вирішення за методами (способами) рішення задачі, розрахунки і результати експериментів (подаються у формі, що дає можливість читачу проаналізувати справедливість отриманих результатів), висновки з зіставленням і аналізом отриманих у процесі дослідження теоретичних і експериментальних даних, висновків з оцінкою результатів і зазначенням шляхів їхнього використання.

Практика свідчить про те, що приблизно 1/3 відомостей, що містяться у звіті, згодом надається споживачам у вигляді видання, інша частина їхнього змісту зберігається в архівах установ і організацій. З цим пов'язана необхідність обов'язкової реєстрації й обліку всіх НДР і ДКР за всіма галузями науки і техніки.

Про результати, отримані при виконанні тієї чи іншої науково-дослідної теми, необхідно інформувати наукову громадськість. Цю ж мету (крім можливості додаткової оцінки) переслідує ВАК України, що установила обов'язкове попереднє розсилання авторефератів перед захистом кандидатських і докторських дисертацій.

При цьому необхідно відзначити, що наукова інформація має властивість кумулятивності, тобто зменшення її обсягу і більш короткого, узагальненого викладу при переході від документів, що фіксують результати лабораторних експериментів, до науково-технічного звіту, статей, оглядів, монографій, підручників, довідників. У кожній наступній ланці цього ланцюжка та сама інформація, породжена на етапі дослідницької діяльності, наводиться в більш ущільненому вигляді. У кожен наступний документ включається не вся створена на етапі дослідження інформація, а тільки найбільш важлива, актуальна, «відстоюна», найбільш відповідна читацькому призначенню підготовленого документа. Таке представлення науково-технічної інформації в усе більш ущільненому вигляді досягається шляхом згортання інформації. Це сукупність операцій аналітико-синтетичної переробки документів, що переслідує мету створення вторинних документів, де зміст вихідного тексту відтворено в більш економічній формі при збереженні чи деякому зменшенні його інформативності в первинному тексті. Істотно, що в процесі згортання не просто скорочується текст, а саме «згортається», причому так, щоб мати можливість потім знову його розгорнути на основі збережених «значущих віх», «опорних пунктів». Так роблять, наприклад, при складанні індивідуального конспекту, в який включається звичайно те, що згодом дозволяє подумки відновити записаний текст.

Розрізняють інформативне і метаінформативне згортання.

Метаінформативне – це створення ряду документів, основна мета яких полягає у тому, щоб тією чи іншою мірою розкрити тему і зміст інших документів (бібліографічні описи, анотації, бібліографічні огляди, автореферати дисертацій, передмови і вступи до книг, програми навчальних курсів, довідкові апарати видань).

Інформативне – це створення ряду документів, основна мета яких – служити безпосереднім джерелом інформації при вирішенні певних задач. Результатом інформативного згортання можуть бути як первинні документи (звіт, стаття, коротке повідомлення, інфор-

маційний листок), так і вторинні (реферати, фактографічні довідки, реферативні огляди).

Важливим етапом роботи над рукописом звіту чи іншого матеріалу, що готується до друку, є редагування рукопису, що здійснюється спочатку автором при роботі над рукописом (авторський етап видавничого процесу), а потім редактором (редакційний етап видавничого процесу). Основа редагування - це критичний аналіз призначеного до видання рукопису, з метою його правильної оцінки й удосконалення змісту і форми рукопису заради інтересів читача і суспільства. При редагуванні особлива увага звертається на зміст тексту, на істотність і повноту фактів, що подаються, їхню новизну і зв'язок із сучасним життям, їх вірогідність, точність і переконливість, на внесок даної роботи в прогрес відповідної галузі знань, на дотримання законів і закономірностей конкретної науки, галузі знань, виробництва, на форму тексту.

Найважливішими сторонами форми тексту є: композиційна (літературна побудова твору, що поєднує всі його елементи в єдине ціле); рубрикаційна (розподіл тексту на структурні одиниці, частини, розділи, глави, параграфи); логічна (відповідність міркувань, висновків і визначень автора нормам логічно правильного мислення); мовностилістична, графічна (якість таблиць та ілюстрацій).

У таблицях цифровий і текстовий матеріал групується у стовпчики, відмежовані один від одного вертикальними і горизонтальними лініями.

Ілюстрація є зображенням, що служить поясненням чи доповненням до якого-небудь тексту. У видавництвах «Наука», «Машинобудування», «Освіта» прийнято, що на один авторський аркуш може бути представлено в науковій літературі 5...8 ілюстрацій, у виробничо-технічній 8...10, у навчальній і популярній 5...12. Посилання на ілюстрацію вміщують у тексті слідом за згадуванням предмета, що став об'єктом зображення, наприклад: рис. 36. Повторні посилання на ілюстрації супроводжуються скороченим словом дивись (див. рис. 36). Можуть бути посилання на частину ілюстрації, позначену буквою, наприклад: рис. 40, б.

При редагуванні тексту необхідно звертати увагу на мовно-стилістичну його сторону, тобто на правильність побудови фраз і граматичних оборотів, на доцільність використання тих чи інших

слів. При цьому корисно знати основні прийоми аналізу рукопису, що дозволяють знаходити й усувати типові помилки мови і стилю.

Розповсюдженою є помилка – це вживання необов'язкових, зайвих слів. Багатослівність завжди затемнює основну думку автора, послабляє дієвість друкованого матеріалу, робить його менш доступним для читача. Тому слова, уживання яких не є виправданим, повинні бути віднесені до зайвого.

Слово «редагування» походить від латинського «*redactus*», що дослівно означає «приведений у порядок». Однак автор не повинен вважати, що усунення безладу в його рукописі – це справа редактора. Власне кажучи, автору рекомендується якоюсь мірою продублювати редактора. Це перший ступінь обробки рукопису. Тут необхідно примиритися з багаторазовими переробками, скороченнями і доповненнями.

Бажано після відомого проміжку часу заново прочитати свій рукопис і спробувати оцінити його в цілому і в роздріб, ніби з погляду читача (другий ступінь).

Третій ступінь – це детальне прочитання для виявлення помилок у тексті, відповідності ілюстрацій, однаковості термінології, позначень і т.д. Тільки після виконання всього цього рукопис можна здавати у видавництво.

Якщо робота оформляється у вигляді статті в журнал, то вона повинна відправлятися в редакцію в закінченому вигляді відповідно до вимог, які звичайно публікують в окремих номерах журналів як пам'ятку авторам. Рукопис статті, що надається для опублікування в журналі (збірнику), повинен, як правило, містити повну назву роботи, прізвище, ім'я та по-батькові автора (ів), анотацію (на окремій сторінці), список використаної літератури, дозвіл на опублікування матеріалів відкритим друком (акт експертизи).

Рукопис повинен бути підписаний автором (ами) і в додатку містити прізвище, ім'я і по батькові автора (ів), учений ступінь автора (ів), їхні телефони й адреси. Статті, що є результатом робіт, проведених в організаціях, повинні обов'язково супроводжуватися листами цих організацій із проханням про публікацію.

Текст статті надається у двох екземплярах. Для статей (оглядів), переведених з інших мов, бажаним є представлення екземпляра національною мовою.

Рукопис має бути надрукованим на одній стороні листа, формат тексту (шрифт, його розмір, інтервал, поля), формат формул і рисунків повинні відповідати вимогам редакції.

Ілюстративний і графічний матеріал повинен бути пронумерований і виконаний у вигляді, придатному для поліграфічного відтворення. Сторінки рукопису слід пронумерувати (починаючи з титульного листа).

Обсяг публікацій залежить від конкретного журналу. Для статей і оглядів він, як правило, не перевищує 20...25 сторінок тексту, для інформаційних повідомлень – 3...5 сторінок.

Деякі науково-технічні матеріали (статті, звіти й ін.) хоча і містять не відомі раніше відомості, але можуть зацікавити лише невелику частину фахівців, у зв'язку з чим публікувати їх у багатотиражних журналах вважається недоцільним. Але для того, щоб надати фахівцям можливість ознайомлення з такими роботами, у країні введено депонування, тобто такі матеріали (рукописи монографій, оглядів, окремих статей, праць конференцій) приймаються на збереження. Депонування передбачає не тільки прийом і збереження рукописів, але й організацію оприлюднення інформації про них, копіювання рукописів за запитами споживачів.

Матеріали для депонування оформляються за тими ж правилами, що і статті, що надаються для публікації. За автором депонованих матеріалів зберігається авторське право, надалі він може опублікувати їх. Перелік організацій-депозитаріїв, а також правила оформлення депонованих рукописів приведені в інструкції про порядок депонування рукописних робіт із природних, технічних, суспільних наук. Після опублікування реферату депонованого рукопису автору видають довідку із зазначенням його прізвища, назви рукопису, найменування реферативного виглядання, що опублікувало реферат, і його номера.

Організаціями-депонентами що (направляють рукописи на депонування) звичайно виступають редакції журналів, виші, головні НДІ, а рішення про передачу рукопису на депонування приймаються редколегіями журналів, а також ученими, науково-технічними і видавничими радами установ і організацій, що користуються правом видавничої діяльності. Вони є відповідальними за зміст рукописів, що направляються на депонування.

Депонування дає авторам рукописів деякі переваги в порівнянні з авторами опублікованих матеріалів, тому що депоновані рукописи реферуються одночасно з опублікованими і вони значно менш чітко обмежені за обсягом.

Усі роботи, призначені для публікації, проходять попереднє рецензування.

Рецензія – це звичайно невелика стаття, що містить аналіз чи критичну оцінку друкованої праці. Кожна рецензія повинна містити заголовок джерела, яке рецензується, короткий перелік основних питань, вказівки на основні достоїнства і недоліки роботи. Наприкінці рецензії приводиться резюме, у якому оцінюється актуальність матеріалу, його теоретична і практична значущість, дається загальна оцінка правильності доказів і висновків.

Розрізняють рецензії інформаційні (які містять коротке висвітлення змісту розглянутої роботи) і критичні (присвячені науковому аналізу позиції автора, які уточнюють, а часом і доповнюють наданий автором фактичний матеріал).

При представленні роботи до опублікування у вигляді статті, брошури чи монографії у видавництво треба направляти також акт експертизи – дозвіл на опублікування матеріалів роботи. Акт експертизи заповнюється за спеціальною формою, підписується членами експертної комісії і затверджується круглою печаткою установи, яка виконувала експертизу.

З метою оперативного інформування фахівців про результати виконаних досліджень, розробки рекомендацій з напрямків подальшої роботи, з використання результатів у народному господарстві, організуються різні наукові і науково-технічні конференції, з'їзди, семінари, симпозіуми і т.п.

Для виступу на таких зборах фахівці готують доповіді, повідомлення, підготовка яких здійснюється відповідно до розглянутих вище вимог.

Інформація про підсумки проведення конференції (наради, семінару), як правило, публікується у відповідних журналах та інших періодичних виданнях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. –М.: Машиностроение, 1972. –184 с.
2. Айрапетов Э.Л., Генкин М.Д. Статика планетарных механизмов. –М.: Наука, 1976. –263 с.
3. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 2000. – 560 с.
4. Алексеев Г.А. Профессия – конструктор. –М.: Молодая гвардия, 1973, –143 с.
5. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. – М.: Машиностроение, 1978. –311 с.
6. Амиров Ю.Д. Организация и эффективность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. –М.: Экономика, 1974. –237 с.
7. Андрощук Г.А., Работягова Л.И. Патентное право: правовая охрана изобретений: Учеб. пособие. –К.: МАУП, 2001. –232 с.
8. Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах. –М.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
9. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. –М.: Наука, 1975. –640 с.
10. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. –М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.
11. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В., Перель Л.Я. Подшипники качения. –М.: Машиностроение, 1975. –574 с.
12. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность – машина. Пер. с англ. –М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
13. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. –М.: Машиностроение, 1979. –702 с.
14. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые соединения. – М.: Машиностроение, 1973. – 256 с.
15. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. –М.: Наука, 1986. – 560 с.
16. Борисов В.И. Общая методология конструирования машин. –М.: Машиностроение, 1978. –120 с.
17. Брижко В.М. Патентознавство як самостійна наукова дисципліна. – К.: Національне агентство з питань інформатизації при Президенті України, 1996. – 186 с.

18. Брыжко В.М., Завгородний А.Ф., Пичкур А.В. Лицензирование прав и патентование научно-технологической продукции. – К.: УААН, 1994. – 202 с.

19. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. – М.: АСВ, 1995. – 572 с.

20. Васильевский П.Ф. Технология стального литья. – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.

21. Введение в эргономику /Под ред. В.П. Зинченко. – М.: Сов. радио, 1974. – 351 с.

22. Воробьев Ю.А. Точность деталей, получаемых литьем и прессованием из цветных сплавов и пластмасс. – М.: Машиностроение, 1963. – 175 с.

23. Воробьев Ю.А., Рябов С.П. Повышение точности чугунных отливок. – М.: Машиностроение, 1980. – 32 с.

24. Воскресенский В.А., Дьяков В.И. Расчет и проектирование опор скольжения. – М.: Машиностроение, 1980. – 217 с.

25. Вудсон У., Коновер Д. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов. – М.: Мир, 1968. – 518 с.

26. Высококачественные чугуны для отливок / Под ред. Н.Н. Александрова. – М.: Машиностроение, 1982. – 223 с.

27. Галактионов А.И. Основы инженерно-психологического проектирования АСУ ТП. – М.: Энергия, 1978. – 208 с.

28. Гельфанд М.Л., Цепенюк Я.И., Кузнецов О.К. Сборка резьбовых соединений. – М.: Машиностроение, 1978. – 108 с.

29. Генкин М.Д., Рыжов М.А и др. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.

30. Гокун В.Б. Технологические основы конструирования машин. – М.: Машгиз, 1963. – 736 с.

31. Голосовский С.И. Эффективность научных исследований. – М.: “Экономика”, 1969. – 155 с.

32. Гредитор М.А., Печенкин В.И., Иоффе И.С. Механизация и автоматизация производства. – М.: Экономика, 1964. – 215 с.

33. Губкин С.И. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургиздат, 1960. – 376 с.

34. Гусеничные транспортеры-тягачи /Под ред. В.Ф. Платонова. – М.: Машиностроение, 1978. – 351 с.

35. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. –М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.
36. Дальский А.М., Кулешова З.Г. Сборка высокоточных соединений в машиностроении. –М.: Машиностроение, 1988. – 304 с.
37. Дарков А.В., Шапиро Г.С. Соппротивление материалов. – М.: Высш. шк., 1975. – 654 с.
38. Дахно И.И. Патентно-лицензионная работа. – К.: Блицинформ, 1996. – 256 с.
39. Детали машин / В.А. Добровольский, К.И. Заблонский, С.Л. Зак и др. –М.: Машиностроение, 1972. – 503 с.
40. Детали машин. Атлас конструкций /Под ред. Д.Н. Решетова. –М.: Машиностроение, 1979. – 367 с.
41. Диксон Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений: Пер. с англ. –М.: Мир, 1969. – 440 с.
42. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. –М.: Мир, 1981. – 456 с.
43. Добраев Л.П. Психологические основы работы над книгой. –М.: «Книга» 1970. – 72 с.
44. Долецкий В.А., Бунтов В.Н. и др. Увеличение ресурса машин технологическими методами. –М.: Машиностроение, 1978. – 213 с.
45. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. –М.: Машиностроение, 1986. –182 с.
46. Дружинский И.А. Слагаемые качества конструкторских работ. –Л.: Лениздат, 1977. – 119 с.
47. Дубров Н.Ф., Кривко Е.М. Кипящая сталь. –М.: Металлургия, 1984. –97 с.
48. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высш. шк., 1978. –352 с.
49. Жаров В.О. Інтелектуальна власність в Україні: правові аспекти набуття, здійснення та захисту прав. – К.: Вид. дім „Ін Юре”. 2000. – 188 с.
50. Журавлев В.Н., Николаев О.И. Машиностроительные стали. Справочник. –М.: Машиностроение, 1981. –391 с.
51. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. –М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
52. Заблонский К.И. Основы проектирования машин. –К.: Вища школа, 1981. –312 с.

53. Заблонский К.И. Детали машин. –К.: Вища школа, 1985. – 518 с.
54. Законодавство України про охорону інтелектуальної власності. –К.: Парлам. вид-во, 1993. – 96 с.
55. Зеленский В.А. НОТ в проектно-конструкторских организациях. –М.: Экономика, 1974. –167 с.
56. Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 349 с.
57. Иванов М.Н. Детали машин. –М.: Высш. шк., 1976. –399 с.
58. Илюкович Б.М., Баакашвили В.С., Бединейшвили Р.В. Теоретические основы обработки металлов давлением. –Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1979. – 663 с.
59. Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стрелнев В.С. Прикладная механика. –М.: Машиностроение, 1985. –576 с.
60. Иосилевич Г.Б. Концентрация напряжений и деформаций в деталях машин. –М.: Машиностроение, 1981. –223 с.
61. Інтелектуальна власність в Україні: правові засади та практика: Наук.-практ. вид. / За заг. ред. О.Д. Святоцького. – К.: Вид. дім „Ін Юре”, 1999. – 1968 с.
62. Келли А. Высокопрочные материалы. –М.: Мир, 1976. – 261 с.
63. Керимов З.Г., Багиров С.А. Автоматизированное проектирование. –М.: Машиностроение, 1985. –224 с.
64. Кеше Г. Коррозия металлов. –М.: Металлургия, 1984. – 400 с.
65. Ковалев В.И. Техническое изобретательство и его приемы. –Л.: Лениздат, 1965. –104 с.
66. Ковалев Н.А. Прикладная механика. –М.: Высшая школа, 1982. –400 с.
67. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. –М.: Машиностроение. Т.1. 1985. –568 с.; Т.2. 1986. – 592 с.; Т.3. 1987. –384 с.; Т.4. – 544 с.
68. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях переменных во времени. –М.: Машиностроение, 1977. –231 с.
69. Козинец В.П., Малый В.В., Межебовский И.В. Патентование: Учеб. пособие. – Днепропетровск.: НМетАУ, 2000. – 253 с.
70. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. –М.: Металлургия, 1981. –415 с.

71. Колмогоров В.Л. Пластичность и разрушение. –М.: Металлургия, 1977. –336 с.
72. Колотыркин Я.М. Металл и коррозия. –М.: Металлургия, 1985. –88 с.
73. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости /Под ред. Н.Ф. Бочарова и И.С. Цитовича. –М.: Машиностроение, 1983.– 299 с.
74. Коррозия. Справочник /Под ред. Л.Л. Шрайера. –М.: Металлургия, 1981. –630 с.
75. Косолапов В.В., Щербань А.Н. Оптимизация научно-исследовательской деятельности. –К.: Наук. думка, 1971. – 297 с.
76. Котик М.А. Курс инженерной психологии: Учебник. –Таллинн: Валгус, 1978. – 363 с,
77. Крейтер С.В., Нестеров А.Р., Данилевский В.В. Основы конструирования и агрегатирования: Учеб. пособие. –М.: Изд-во стандартов, 1983. –224 с.
78. Кудрявцев В.Н. Детали машин. –Л.: Машиностроение, 1980. – 464 с.
79. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е., Саввина Н.М. Усталость крупных деталей машин. –М.: Машиностроение, 1981. –240 с.
80. Лахтин Г.А. Тактика науки. –Новосибирск: Наука, 1969. – 252 с.
81. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. –М.: Металлургия, 1985. –256 с.
82. Лебедев П.А. Кинематика пространственных механизмов. –М.–Л.: Машиностроение, 1966. –247 с,
83. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. –М.: Наука, 1979. –576 с.
84. Леонова А.Б. Функциональные состояния человека в трудовой деятельности: Учеб. пособие. – М.: МГУ, 1981. – 111 с.
85. Ломов Б.Ф. Человек и техника: Очерки инженерной психологии. – М.: Сов. радио, 1966. – 464 с.
86. Масленков С.Б. Жаропрочные стали и сплавы: Справочник. –М.: Металлургия, 1983. –191 с.
87. Материаловедение /Под ред. Б.Н. Арзамасова. –М.: Машиностроение, 1986. –384 с.
88. Металловедение алюминиевых сплавов /Под ред. С.Т. Кишкина. –М.: Наука, 1985. –238 с.

89. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник /Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. –М.: Металлургия, 1983. –364 с.
90. Методы и критерии оценки функционального комфорта /Сост. В.С. Агавелян, Т. В. Архангельская и др. – М.: ВНИИТЭ, 1978. –215 с.
91. Мильнер Б.З., Демченко В.М. Специализация инженерного труда. –М.: Экономика, 1969. –63 с.
92. Миндлин Я.З. Логика конструирования. –М.: Машиностроение, 1969. –123 с.
93. Налимов В.В. Теория эксперимента. –М.: Наука, 1971. – 205 с.
94. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. –М.: Машиностроение, Т.1, 1982. –267 с., Т.2, 1983. – 339 с.
95. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. –М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
96. Овчинников А.Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. –М.: Машиностроение, 1983. –200 с.
97. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. – Ч. 1, кн. 1. Загальні основи курсу / В.Г. Піскунов, В.К. Присяжнюк. За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища шк., 1994. – 204 с.
98. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. – Ч. 1, кн. 2. Опір бруса /В.Г. Піскунов, Ю.М. Федоренко та ін. За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища шк., 1994. – 335 с.
99. Орлов П.И. Основы конструирования: В 3 т. –М.: Машиностроение, 1977. Т.1. –623 с.; Т.2. –574 с.; Т.3. –357 с.
100. Основы инженерной психологии: Учебник для вузов /Под ред. Б.Ф. Ломова. . – М.: Высш. шк., 1986. – 447 с.
101. Основы научных исследований /В.И. Крутой, И.М. Грушко, В.В. Попов и др. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
102. Охрименко Я.М., Тюрин В.А. Теория процессовковки. – М.: Высш. шк., 1977. – 295 с.
103. Патентное законодательство зарубежных стран. – М.: Прогресс, 1987. – Т.1. –680 с.; Т.2. –806 с.

104. Перель Л.Я. Подшипники качения. Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник. –М.: Машиностроение, 1977. –552 с.
105. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. –М.: Машиностроение, 1977. – 166 с.
106. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. – К.: Вища шк., 1993. – 665 с.
107. Підпригора О.О. Законодавство України про інтелектуальну власність. – Харків.: Консум, 1997. – 192 с.
108. Платонов К.К. Вопросы психологии труда. – М.: Медицина, 1970. – 264 с.
109. Повышение качества поверхности и плакирование металлов: Справочник. –М.: Metallurgy, 1984. – 368 с.
110. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. –М.: Машиностроение, 1977. – 278 с.
111. Потак Я.М. Высокопрочные стали. –М.: Metallurgy, 1979. –208 с.
112. Прахов Б.Г. Интеллектуальная собственность: Слов.-справ. –К.: Вища шк., 1999. – 184с.
113. Прикладная механика /Под ред. К.И. Заблонского. –К.: Вища шк., 1979. –280 с.
114. Приходько П.Т. Тропой науки. –М.: Знание, 1969. –118 с.
115. Прогрессивные технологические процессы холодной штамповки /Под ред. А.Г. Овчинникова. –М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
116. Пронин Б.А., Ревков Г.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
117. Расчет и проектирование деталей машин /К.П. Жуков, А.К. Кузнецов, С.И. Масленников и др. –М.: Высш. шк., 1978. – 247 с.
118. Рачков П.А. Науковедение. – М.: Изд-во МГУ, 1974, – 242 с.
119. Реймерс А.Н. Основы конструирования машин: Справ. пособие. –М.: Машиностроение, 1965. –228 с.
120. Решетов Д.Н. Детали машин. – М.: Машиностроение, 1974. –685 с.

121. Решетов Д.Н. Работоспособность и надежность деталей машин. –М.: Высш. шк., 1974. –204 с.
122. Рихтер Р. Конструирование технологичных отливок. – М.: Машиностроение, 1968. –254 с.
123. Розенфельд Н.Л. Коррозия и защита металлов. –М.: Металлургия, 1970. – 448 с.
124. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. –Л.: Машиностроение, 1979. – 515 с.
125. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы автомобиль – водитель – дороги – среда. –М.: Машиностроение, 1986. –216 с.
126. Руководство по эргономическому обеспечению разработки техники /В.А. Бодров, В.М. Войненко и др. –М.: ВНИИТЭ, 1979. – 259 с.
127. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. –М.: Наука, 1971. – 192с.
128. Рыжов Э.В., Суслов А.Г. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. –М.: Машиностроение, 1979. –173 с.
129. Сагалевиц В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. –М.: Машиностроение, 1974. – 248 с.
130. Саргсян А.Е. Сопrotивление материалов, теории упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов. – М.: Высш. шк., 2002. –286 с.
131. Сборка и монтаж изделий машиностроения: Справочник. Т.1. –М.: Машиностроение, 1984. –591 с.
132. Светлицкий В.А. Передатчи гибкой связью. –М.: Машиностроение, 1967. –187 с.
133. Симандей В.П. Разработка и нормоконтроль технической документации. –М.: Изд-во стандартов, 1973. –80 с.
134. Синяевский В.С., Вальков В.Д., Будов Г.М. Коррозия и защита алюминиевых сплавов. –М.: Металлургия, 1979. –221 с.
135. Скаржинский М.И. Труд инженера. –М.: Экономика, 1977. –144 с.
136. Смирнов А.Ф. и др. Сопrotивление материалов. –М.: Высш. шк., 1975. – 480 с.
137. Справочник литейщика. Общие сведения по литью /Под ред. Н.Н. Рубцова. –М.: Машгиз. 1962. – 524 с.

138. Справочник по инженерной психологии /С.В. Борисов, В.А. Денисов и др./ Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.
139. Справочник по чугунному литью /Под ред. Н.Г. Гиршовича. –Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
140. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1./Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.. –М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
141. Сторожев М.В., Середин П.И., Кирсанова С.Б. Технологияковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов. –М.: Высш. шк., 1967. – 350 с.
142. Термическая обработка в машиностроении: Справочник /Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. –М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.
143. Технологичность конструкций изделий: Справ. /Под ред. Ю.Д. Амирова. –М.: Машиностроение, 1985. –368 с.
144. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Коррозия и коррозионно-стойкие сплавы. –М.: Металлургия, 1973. –232 с.
145. Труфяков В.И. Усталость сварных соединений. –К.: Наук. думка, 1973. – 216 с.
146. Трушкин В.П. Записки конструктора. – М.: Московский рабочий, 1981. –320 с.
147. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. –М.: Энергия, 1975. – 576 с.
148. Туфанов Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов, металлов: Справочник. – М.: Металлургия, 1982. – 350 с.
149. Уварова Л.Л. Научный прогресс и разработка технических средств. –М.: Наука, 1973. –272 с.
150. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. –М.: Наука, 1979. –560 с.
151. Фролов К.В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиностроения. –М.: Машиностроение, 1984. –224 с.
152. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования: Систематизация конструирования: Пер. с нем. –Л.: Машиностроение, 1969. – 164 с.

153. Хеландев М. Разработка визуальных средств отображения информации // Человеческий фактор / Под ред. Г. Салвенди. – М.: Мир, 1992. Т.5. – 567 с.
154. Хилл П. Наука и искусство проектирования. –М.: Мир, 1973. –263 с.
155. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. –М.: Металлургия, 1969. –749 с.
156. Холодная объемная штамповка: Справочник /Под ред. Г.А. Навроцкого. –М.: Машиностроение, 1973. – 496 с.
157. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления. Расчет геометрии: Справ. пособие /И.Д. Болотовский, Б.И. Гурьев и др. –М.: Машиностроение, 1977. –157 с.
158. Циммерман Р., Гюнтер К. Металлургия и материаловедение: Справочник. –М.: Металлургия, 1982. –480 с.
159. Чернов Л.Б. Основы методологии проектирования машин. –М.: Машиностроение, 1978. –148 с.
160. Эргономика: Учебник /В.А. Балин, Ю.Т. Ковалев и др. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. –181 с.

Навчальне видання

Ларін Олександр Миколайович
Чернобай Геннадій Олександрович
Сенчихін Юрій Миколайович
Грінченко Євген Миколайович
Калиновський Андрій Якович

**ПОЖЕЖНА ТА АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНА ТЕХНІКА
ЧАСТИНА 2
ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ
ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**

Навчальний посібник

Підписано до друку 26.06.08. Формат 60x84/16.

Ум.друк. арк. 37,4

Вид. № 35/04.

Відділення редакційно-видавничої діяльності
університету цивільного захисту України
61023, м. харків, вул. чернишевська, 94

www.nuczu.edu.ua