

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
з дисципліни

"Основи проєктування мехатронних та робототехнічних систем" для студентів спеціальності

174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" освітньої програми "Автоматизація, мехатроніка та робототехніка" усіх форм навчання усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Основи проєктування мехатронних та робототехнічних систем", для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка" усіх форм навчання / Уклад. : Ірина ПОСПЕЄВА, Вадим ЯКОВЕНКО, Наталія ФУРМАНОВА. – Запоріжжя : НУЗП, 2024. – 75 с.

Укладачі : Ірина ПОСПЕЄВА, ст. викл. каф. ІТЕЗ,
Вадим ЯКОВЕНКО, д.т.н., проф. каф. ІТЕЗ
Наталія ФУРМАНОВА, к.т.н., доц. каф. ІТЕЗ

Рецензент: Тетяна БУГРОВА, к.т.н., доц. каф. РТТ

Відповідальний за випуск:
Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доц., зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 2 від 25.10.24 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
протокол № 4 від 15.11.24 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ	8
1.1 Теоретична частина.....	8
1.1.1 Вплив температури на працездатність виробів	8
1.1.2 Механізми тепломасообміну.....	9
1.1.3 Способи охолодження.....	10
1.1.4 Радіатори охолодження.....	14
1.1.5 Захист термочутливих елементів.....	15
1.2 Контрольні питання.....	16
1.3 Порядок виконання роботи	17
1.4 Зміст звіту.....	17
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ЗАХИСТ ВІД ВПЛИВУ ВОЛОГИ	18
2.1 Теоретична частина.....	18
2.1.1 Вплив вологи на ефективність і якість конструкцій	18
2.1.2 Герметизація як захист від впливу підвищеної вологості.....	19
2.1.3 Захист від корозії.....	23
2.2 Контрольні питання.....	25
2.3 Порядок виконання роботи	26
2.4 Зміст звіту.....	26
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЗАХИСТ ВІД МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ.....	27
3.1 Теоретична частина.....	27
3.1.1 Види механічних впливів на вироби і їхні джерела	27
3.1.2 Наслідки механічних впливів	29
3.1.3 Вимоги до захисту виробів від механічних впливів в залежності від умов експлуатації.....	30
3.1.4 Захист від механічних впливів.....	30
3.2 Контрольні питання.....	34
3.3 Порядок виконання роботи	35
3.4 Зміст звіту.....	36
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ.....	37
4.1 Теоретична частина.....	37
4.1.1 Визначення технологічності	37

4.1.2 Відпрацювання на технологічність на всіх етапах проектування.....	37
4.1.3 Оцінка технологічності.....	38
4.1.4 Загальні методи забезпечення виробничої технологічності.....	42
4.1.5 Стандартизація, уніфікація і типізація як шляхи підвищення технологічності.....	44
4.1.6 Технологічність формоутворення деталей.....	46
4.1.7 Зв'язок виробничої технологічності з умовами виробництва.....	53
4.2 Контрольні питання.....	54
4.3 Порядок виконання роботи.....	55
4.4 Зміст звіту.....	56
5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ.....	57
5.1 Теоретична частина.....	57
5.1.1 Ремонтопридатність як складова частина надійності.....	57
5.1.2 Поняття ремонту. Види ремонтів.....	58
5.1.3 Фактори, що визначають ремонтпридатність.....	59
5.1.4 Критерії ремонтпридатності.....	59
5.1.5 Комплектація запасними частинами, інструментом і пристосуваннями (ЗІП).....	61
5.1.6 Конструкторські міри забезпечення ремонтпридатності.....	61
5.2 Контрольні питання.....	62
5.3 Порядок виконання роботи.....	63
5.4 Зміст звіту.....	64
6 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ЕРГОНОМІКИ ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕСТЕТИКИ.....	65
6.1 Теоретична частина.....	65
6.1.1 Поняття ергономіки та технічної естетики.....	65
6.1.2 Ергономічні показники.....	66
6.1.3 Художнє оформлення конструкцій.....	68
6.1.4 Особливості зовнішнього оформлення професійних і побутових МРТС.....	70
6.2 Контрольні питання.....	73
6.3 Порядок виконання роботи.....	74
ЛІТЕРАТУРА.....	75

ВСТУП

Загальні відомості

Сучасні пристрої мехатроніки та робототехніки, які місять електронні схеми, багатогранно взаємодіють із своїм оточенням. Щоб створити життєздатну конструкцію, інженеру необхідно враховувати й тримати в поле зору величезну кількість умов, обмежень, параметрів, показників якості. Часто вимоги, обмеження, умови бувають суперечливі, несумісні. Наприклад, вимоги з надійності можуть вступити в протиріччя з вимогами з вартості, а обмеження за габаритами і масою конструкції можуть входити в суперечність з вимогами з ремонтпридатності й забезпеченню нормального теплового режиму і т. ін. інженер-конструктор повинен знати способи і засоби рішення складних і суперечливих технічних задач, накопичувати і поповнювати "особисту бібліотеку" сучасних технічних рішень. Системний аналіз існуючих виробів допоможе студентам самостійно знаходити й аналізувати засоби досягнення поставлених цілей, давати оцінку їхньої ефективності й доцільності. Цінність даного комплексу робіт полягає також у тому, що студенти, аналізуючи існуючі конструкції, самостійно визначають рішення, закладені в реальних конструкціях, виробляють у собі навички аналізу, уміння виділяти протиріччя і відшукувати засоби для їх усунення, що, безумовно, сприяє їх професійному становленню і росту.

У процесі проектування мехатронних та робототехнічних систем (МРТС) інженер-конструктор неминуче зіштовхується з проблемою вибору остаточного варіанта рішення. Цей етап є обов'язковою частиною при ухваленні нового рішення і полягає в аналізі альтернативних варіантів на відповідність визначеним критеріям і виборі оптимального. Критерії вибору відбивають сукупність найбільш істотних ознак, за якими можна виділити оптимальний варіант серед безлічі можливих. Ці критерії задаються в технічному завданні (ТЗ) на проектування у вигляді вимог і обмежень.

Вимоги, пропоновані до конструкції МРТС, визначаються її призначенням, областю застосування, умовами експлуатації, типом виробництва і підрозділяються на наступні групи:

– вимоги до показників призначення МРТС, безпосередньо пов'язані з функціональним призначенням розроблювального виробу;

– вимоги з надійності МРТС, що оцінюються кількісними показниками (основним є наробіток на відмову);

– вимоги, пов'язані з захистом виробу від дестабілізуючих факторів, основними в цій групі, є вимоги стійкості апаратури до механічних і кліматичних впливів, забезпечення електромагнітної сумісності й стійкості до індустриальних радіоперешкод;

– вимоги до технологічності виробу, що включають у себе виробничу й експлуатаційну технологічність;

– вимоги, пов'язані з експлуатацією виробу людиною, що включають у себе вимоги естетики, ергономіки, техніки безпеки.

Рішення, що дозволяють реалізувати окремі вимоги, бувають найчастіше суперечливими. Традиційний шлях розрешення протиріч – компромісний – полягає у тому, що із сукупності вимог шляхом їх ранжирування виділяються найбільш значимі, інші не приймаються до уваги. Цей шлях, звичайно, не може привести до оптимального варіанта рішення.

В даний час розроблені методики, що дозволяють відшукати оптимальні варіанти рішення шляхом усунення технічних протиріч.

Вміст лабораторних робіт та порядок їх виконання

Мета робіт: вивчити традиційні методи забезпечення технічних вимог до МРТС; навчитися аналізувати вироби середньої складності на відповідність технічним вимогам та комплексно оцінювати їх якість.

Лабораторні роботи поділені на два цикли.

До *першого циклу* відносяться роботи з аналізу виробів на відповідність вимог з забезпечення захисту від дестабілізуючих факторів (захист від теплових, механічних впливів, вологості) – лабораторні роботи 1, 2, 3.

До *другого циклу* відносяться роботи з аналізу виробів на відповідність вимог з забезпечення виробничої й експлуатаційної технологічності (виробнича технологічність, ремонтпридатність, вимоги ергономіки та технічної естетики) – лабораторні роботи 4, 5, 6.

У процесі виконання робіт студентам пропонується проаналізувати вже розроблені вироби на відповідність певним технічним вимогам, відзначивши переваги й недоліки конструкції стосовно до даної вимоги, традиційні й оригінальні технічні рішення, а також дати якісну оцінку запропонованих виробів. Крім того, необхідно відзначити, які вимоги не виконуються чи неприпустимо погіршуються при реалізації інших вимог та надати рішення з усунення таких протиріч, обґрунтувавши їх можливість.

При виконанні робіт академічна група розбивається на бригади по 2-3 особи. Кожна бригада виконує послідовно всі роботи відповідно до графіка.

У процесі виконання кожної роботи студенти складають один звіт на бригаду. Звіт виконується на аркушах формату А4 із титульним листом, на якому повинні бути зазначені: тема роботи, прізвища членів бригади, що виконували дану роботу, прізвище викладача, що прийняв роботу.

Захист кожної роботи відбувається у вигляді співбесіди з викладачем кожним студентом індивідуально.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ

1.1 Теоретична частина

1.1.1 Вплив температури на працездатність виробів

Компоненти МРТС функціонують у строго обмеженому температурному діапазоні. Відхід температури за зазначені межі може привести до незворотних структурних змін компонентів. При підвищеній температурі знижуються діелектричні властивості матеріалів, збільшуються струми витoku, знижується пробивна напруга, прискорюється корозія матеріалів конструкції, контактів. При зниженій температурі твердішають й розтріскуються гумові деталі, підвищується крихкість матеріалів. Розходження в коефіцієнтах лінійного розширення можуть привести до руйнування залитих смолами конструкцій і, як наслідок, порушенню електричних з'єднань, зміні характеру посадок, ослабленню кріплень і т. ін. Усі ці явища можуть привести до перекручування сигналів до рівня, при якому нормальне функціонування МРТС стає неможливим. Але оскільки діапазон робочих температур не завжди задовольняє припустимим нормам на виріб, то при конструюванні необхідно вирішувати задачу захисту всього виробу чи його складових частин від неприпустимих температурних впливів. Зважаючи на те, що джерелами підвищених температур при експлуатації виробів є, крім зовнішнього середовища, елементи самої системи, найбільш важливою є задача захисту від теплових впливів – забезпечення нормального теплового режиму.

Нормальним тепловим режимом називають такий режим, коли при зміні у визначених межах зовнішніх температурних впливів забезпечується зміна параметрів і характеристик конструкції, схем, компонентів, матеріалів у межах, зазначених у ТУ.

Серед елементів, що входять у МРТС, можна виділити **тепловантажені** чи **тепловиділяючі** (тобто такі, при функціонуванні яких виділяється тепло) і **термокритичні** (тобто такі, для яких верхня межа припустимої температури порівняно невисока). Особливу увагу слід приділяти тим елементам, що є одночасно тепловиділяючими і термокритичними (міцні транзистори, тиристори, деякі типи мікросхем).

Як правило, у МРТС із усієї споживаної від джерел живлення електроенергії лише незначна частина її перетворюється в енергію корисного сигналу, а інша перетворюється в теплову і розсіюється в навколишнє середовище.

1.1.2 Механізми тепломасообміну

Перенос тепла від нагрітих елементів до холодних здійснюється за рахунок трьох механізмів: **теплопровідності, конвекції та теплового випромінювання.**

Теплопровідність (кондукція) – процес передачі теплоти за рахунок взаємодії мікрочастинок тіла (атомів, молекул, іонів в електролітах і електронів в металах) в змінному полі температур.

Теплопровідність відбувається в твердих, рідких і газоподібних тілах. У твердих тілах теплопровідність є єдиним способом передачі теплоти. У вакуумі теплопровідність відсутня.

Конвекція – процес передачі теплоти за рахунок переміщення макрооб'ємів середовища з області з однією температурою в область з іншою температурою; при цьому перенос теплоти невідривно поєднаний з переносом речовини. При цьому текуче середовище або потік (рідина) з більш високою температурою переміщається в область низьких температур, а холодна рідина надходить в область високих температур. У вакуумі конвекція теплоти неможлива.

В залежності від речовини потоку розрізняють: **повітряну, газову та рідинну конвекцію.**

В залежності від механізму створення потоку розрізняють **вільну (природну) і примусову конвекцію.**

Вільна конвекція має місце при нагріванні часток середовища, що знаходяться в безпосередньому контакті з нагрітим тілом, їх природному переміщенні нагору в силу зміни щільності середовища й заміні холоднішими, у результаті чого відбувається безупинне перемішування середовища.

Примусова конвекція відбувається за рахунок примусового руху середовища за допомогою технічних засобів (вентиляторів тощо).

Конвекція теплоти завжди відбувається спільно з теплопровідністю (кондукцією теплоти), оскільки макрооб'єми текучого середовища складаються з мікрочастинок речовини, а сам

процес відбувається у нерівномірному у просторі температурному полі.

Передачу теплоти спільно теплопровідністю і конвекцією називають конвективним теплообміном, який вже не є елементарним способом передачі теплоти. Конвективний теплообмін відносять до складного теплообміну.

Теплове випромінювання (радіаційний теплообмін) – процес переносу теплоти, здійснюваний в результаті поширення електромагнітних хвиль, енергія яких при взаємодії з речовиною переходить в теплоту.

Радіаційний теплообмін пов'язаний з подвійним перетворенням енергії: спочатку внутрішня енергія тіла перетворюється в енергію електромагнітного випромінювання, а потім, після перенесення енергії в просторі електромагнітними хвилями, відбувається зворотний перехід променевої енергії у внутрішню енергію іншого тіла.

Теплове випромінювання речовини залежить від температури тіла (ступеню нагрітості речовини), тому все тіла з температурою вище нуля Кельвіна мають власне теплове випромінювання. Для передачі теплоти випромінюванням не потрібно тіло-посередник, тобто промениста енергія може передаватися в будь-якому променепрозорому середовищі, в тому числі і у вакуумі.

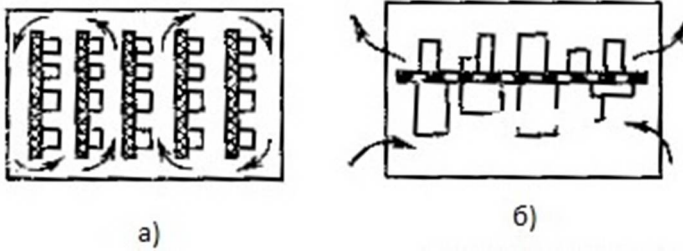
У природі і в технічних пристроях всі три способи передачі теплоти можуть відбуватися одночасно або в комбінації один з одним. Такий теплообмін називають **складним теплообміном**.

При цьому спільну передачу теплоти теплопровідністю і конвекцією називають конвективним теплообміном. Спільну передачу теплоти випромінюванням і теплопровідністю називають радіаційно-кондуктивним теплообміном. Спільну передачу теплоти випромінюванням, конвекцією і теплопровідністю називають радіаційно-конвективним теплообміном.

1.1.3 Способи охолодження

У процесі переносу теплової енергії беруть участь всі три механізми теплопередачі. У залежності від конкретних режимів роботи й умов експлуатації відносний внесок кожного з видів теплопередачі в загальному балансі може істотно відрізнятись.

Природне повітряне охолодження будується за двома схемами: *із герметичним і перфорованим корпусом* (рис. 1.1, а, б) і є найпростішим і надійнішим способом охолодження, не вимагає витрат додаткової енергії, однак забезпечує охолодження при невеликих питомих потужностях розсіювання.



а – вільне повітряне охолодження у герметичному корпусі; б – вільна конвекція у перфорованому корпусі

Рисунок 1.1 – Системи природного повітряного охолодження

Цей режим роботи характерний для виробів, що працюють у полегшеному режимі. За рахунок раціонального використання перфорація кількість тепла, що відводиться, може бути збільшене приблизно на 30%, а перегрів усередині блоку зменшений на 20%.

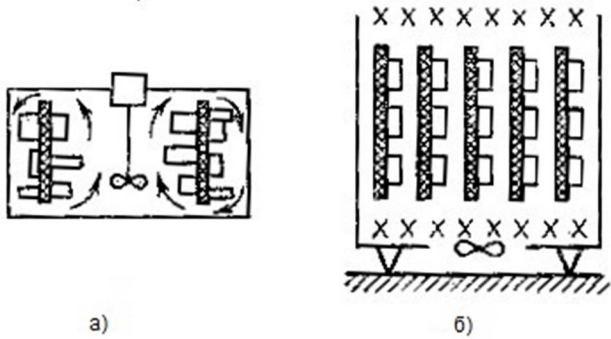
Конструкції із природним повітряним охолодженням повинні задовольняти вимогам:

- забезпечити добре обтікання холодним повітрям усіх елементів конструкції, особливо теплонавантажених;
- теплонавантажені елементи повинні розташовуватися у верхній частині блоку;
- термочутливі елементи повинні захищатися від обтікання нагрітим повітрям;
- при впливі променистої енергії термочутливі елементи повинні захищатися екранами;
- усі термочутливі елементи повинні мати добрі теплові контакти з несучими конструкціями (корпусом, шасі, кожухи і т. ін.).
- температура нагрітої зони поблизу кожного з елементів не повинна перевищувати припустиму для даного елемента (обговорену в ТУ на елемент);

– температура повітря в корпусі не повинна перевищувати припустиму для усього виробу, обговореного у стандартах на умови експлуатації;

– температура корпусу виробу не повинна перевищувати обговорену у стандартах з техніки безпеки для даного матеріалу корпусу.

Примусова вентиляція (рис. 1.2) може відводити від 60% до 80% тепла, що виділяється в блоці.



а – внутрішнє перемішування повітря; б – зовнішня примусова вентиляція

Рисунок 1.2 – Системи примусового повітряного охолодження

Конструкції з примусовою повітряною вентиляцією повинні задовольняти вимогам:

– мати малий аеродинамічний опір повітрю, що протікає крізь блок;

– забезпечувати гарний доступ холодного повітря до теплонавантажених елементів;

– мати захист внутрішнього об’єму від пилу;

– містити в собі елементи конструкції для вирівнювання поля швидкостей потоку охолодженого повітря (перфоровані ґратки, екрани, патрубки і т. ін.);

– здійснювати автоматичне відключення живлення при виході з ладу системи вентиляції.

Системи природного повітряного охолодження дозволяють відводити теплові потоки щільністю до $0,2 \text{ Вт/см}^2$, примусового повітряного охолодження – щільністю до 1 Вт/см^2 .

Для підвищення ефективності процесу конвекційного теплообміну необхідно:

- застосовувати в якості теплоносія середовища з високим коефіцієнтом теплопровідності, високою теплоємністю;
- збільшити в'язкість рідини;
- збільшити швидкість руху потоку теплоносія (що можливо при примусовій конвекції);
- збільшувати площу охолоджуваної поверхні, що досягається, в основному, застосуванням радіаторів (при цьому необхідно погоджувати їхню орієнтацію в корпусі виробу з напрямком руху теплоносія).

Поліпшити передачу тепла за рахунок *теплопровідності* від теплонавантажених елементів до холодніших і теплоємних деталей конструкції можна за рахунок зниження теплових опорів. Наявність між металевими поверхнями ізоляційних прокладок, лаків, фарб збільшує тепловий опір у сотні разів, що у свою чергу погіршує передачу тепла. У конструкційному з'єднанні теплопровідність контакту буде залежати від шорсткості поверхонь елементів, що з'єднуються, від контактної тиску й матеріалів, що з'єднуються. Забруднення, нерівності, що утворюють повітряні прошарки, погіршують тепловий контакт. Контактний тепловий опір може бути зменшений за рахунок:

- застосування матеріалів із більшою теплопровідністю;
- зменшення шорсткості поверхонь, що з'єднуються, з одночасним збільшенням тиску;
- застосування пластичних прокладок із великою теплопровідністю;
- застосування теплопровідних паст.

Частка *випромінювання* в загальному балансі теплопередачі порівняно мала, однак цим механізмом не слід зневажати, особливо для вакууму (космосу). Кількість енергії, що відводиться випромінюванням, пропорційна четвертому ступеню температури тіла. Щільність теплового потоку при цьому звичайно не перевищує $0,005 \text{ Вт/см}^2$.

Підвищення ефективності теплопередачі випромінюванням досягається покриттям охолоджуваних поверхонь матеріалами з

високим ступенем чорності та збільшенням площі випромінюючої поверхні.

1.1.4 Радіатори охолодження

У більшості випадків нагріті зони, що вимагають відводу теплоти, мають малі площі, що не дозволяють ефективно використовувати механізми передачі теплоти від елементів у навколишнє середовище. Для збільшення цієї площі застосовують різні види радіаторів. Теплота передається від поверхні охолоджуваного елемента до поверхні радіатора і поширюється по тілу радіатора і його поверхні за рахунок теплопровідності і далі в навколишнє середовище – за рахунок конвекції й випромінювання. Основні вимоги до радіаторів: висока теплопровідність матеріалу, велика площа поверхні при порівняно невеликому співвідношенні габаритних розмірів і займаному обсязі. Найбільш розповсюдженими видами радіаторів є:

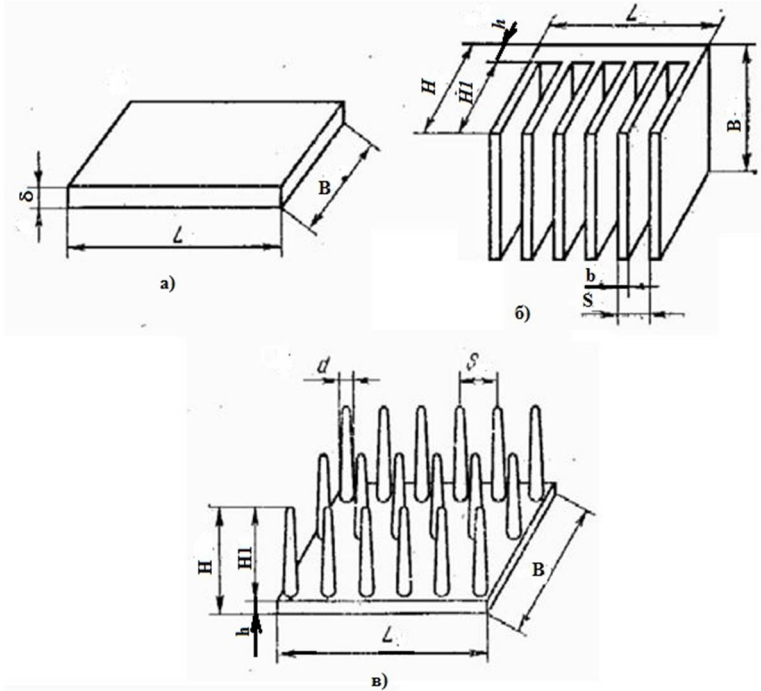
– **пластинчасті** – у вигляді пластин, кутових, Т- та П - подібних профілів. Пластинчасті радіатори є найменш ефективними, однак найпростіші у виготовленні (виготовляються з листового матеріалу штампуванням);

– **ребристі** – одnobічні й двобічні – є більш ефективними в порівнянні з пластинчастими, однак складніші у виготовленні (виготовляються литтям або механічною обробкою);

– **штирові й голчасті** – найефективніші, але і найскладніші у виготовленні (виготовляються за допомогою лиття).

Типові конструкції даних радіаторів наведені на рис. 1.3 а, б, в.

Слід зазначити, що ребристі й штирові радіатори ефективні при конвекційному теплообміні. При випромінюванні ж внутрішні поверхні ребер і штирів віддають теплоту не в навколишнє середовище, а на сусідні поверхні, тому не виконують функцію збільшення охолоджуваної поверхні. Однак, вважаючи, що механізм випромінювання при температурах до 100°C має не дуже велику частку в загальному балансі теплопередачі, цим фактором зневажають.



а – пластинчастий радіатор, б – ребристий радіатор, в – штирвовий радіатор

Рисунок 1.3 – Типові конструкції радіаторів

1.1.5 Захист термочутливих елементів

При конструюванні слід приділяти увагу захисту елементів, особливо критичних до теплових впливів від теплоти, яка виділяється іншими елементами цього ж виробу (а іноді і зовнішніми джерелами). Для цього застосовують різні види теплових екранів. Незважаючи на безліч варіантів конструктивного виконання, існують наступні різновиди теплових екранів.

Віддзеркалюючі екрани, які мають поверхню з високим коефіцієнтом відбиття (дзеркальну). Перевагою цих екранів є простота конструктивного виконання, недоліком те, що вони відбивають теплоту у внутрішнє середовище виробу, часто на тепловідляючі елементи, ще більш погіршуючи їхній власний тепловий режим.

Поглинаючі екрани, що мають поверхню з високим ступенем чорноти. Їх недоліком є те, що вони обов'язково вимагають наявності системи відводу теплоти від самого екрана в навколишнє середовище. У протилежному випадку, нагріваючись, ці екрани можуть самі стати джерелами тепла і порушувати роботу термочувствительних елементів.

Нейтральні екрани виготовляються з матеріалів, що мають низьку теплопровідність і високу теплостійкість (наприклад, азбест). У них відсутні недоліки екранів попередніх типів.

1.2 Контрольні питання

1 Як впливають підвищені температури на працездатність МРТС? Чому їх вплив є більш критичним, ніж вплив знижених температур?

2 Як впливають знижені температури на працездатність МРТС?

3 Як впливає різка зміна температур (термоудар) на працездатність МРТС?

4 Джерела підвищених температур у МРТС? Що таке теплонавантажені та термочувствительні елементи?

5 Які існують способи переносу тепла?

6 Вкажіть механізм переносу тепла за рахунок теплопровідності (кондукції). Що повинно бути у системі, щоб там працював цей механізм?

7 Яким законом описується перенос тепла за рахунок теплопровідності? Від яких факторів залежить його ефективність?

8 Вкажіть механізм переносу тепла за рахунок конвекції. Що повинно бути у системі, щоб там працював цей механізм?

9 Яким законом описується перенос тепла за рахунок конвекції? Від яких факторів залежить його ефективність?

10 Які види конвекції існують в залежності від матеріалу потоку?

11 Які види конвекції існують в залежності від способу створення потоку? Механізм створення природної конвекції.

12 Види потоків в залежності від швидкості. Яким потік є найбільш ефективним?

13 Вкажіть механізм переносу тепла за рахунок випромінювання. Що повинно бути у системі, щоб там працював цей механізм?

14 Яким законом описується перенос тепла за рахунок випромінювання? Від яких факторів залежить його ефективність?

15 Що таке коефіцієнт чорноти, у яких межах може знаходитися його значення та від яких факторів залежить? Для яких поверхонь він може бути дуже малим, а для яких – максимально можливим?

16 Поясніть роботу кожного механізму переносу тепла на прикладі напівпровідникового приладу, встановленого на радіаторі, який у свою чергу кріпиться до несучої конструкції (корпусу).

17 Види радіаторів. Їх порівняльна характеристика та особливості застосування.

18 За яких умов можна використовувати штирьові та гілчасті радіатори у одиничному (дрібносерійному) виробництві без збитку технологічності.

19 Види теплових екранів. Їх порівняльна характеристика та особливості застосування.

20 Вимоги до компонування виробів, до складу яких входять теплонавантажені елементи.

1.3 Порядок виконання роботи

1.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

1.3.2 Проаналізувати об'єкт із точки зору захисту конструкції від температурних впливів.

1.3.3 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог захисту від впливу підвищеної температури.

1.3.4 Виявити недоліки конструкції з точки зору захисту від впливу підвищеної температури.

1.3.5 Запропонувати варіанти технічних рішень, спрямованих на усунення знайдених недоліків.

1.4 Зміст звіту

1.4.1 Тема та мета роботи.

1.4.2 Короткий опис об'єкта аналізу з вказівкою теплонавантажених та термочувливих елементів.

1.4.3 Перелік виявлених конструктивних рішень, спрямованих на забезпечення нормального теплового режиму об'єкта.

1.4.4 Перелік виявлених недоліків з точки зору забезпечення нормального теплового режиму об'єкта.

1.4.5 Перелік пропозицій щодо усунення виявлених недоліків.

1.4.6 Висновки.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. ЗАХИСТ ВІД ВПЛИВУ ВОЛОГИ

2.1 Теоретична частина

2.1.1 Вплив вологи на ефективність і якість конструкцій

Одним із кліматичних факторів, що можуть викликати порушення роботи МРТС та вихід її з ладу, є підвищена вологість. Вплив вологи на параметри конструкції може виявлятися порівняно швидко (секунди, хвилини) або через великий проміжок часу.

При підвищеній вологості відбувається зміна діелектричної проникності повітря і його електричної міцності; при цьому змінюються ємності конденсаторів із повітряним діелектриком; виникають додаткові паразитні ємності між елементами конструкцій, можливий електричний пробій.

В ізоляційних матеріалах зменшується поверхневий електричний опір; відбувається зміна фізико-хімічних властивостей (розбухання, відшаровування, хімічне руйнування).

Для металевих деталей найбільш несприятливим проявом впливу вологи є *корозія*.

Корозія може бути *атмосферною* та *контактною (електрохімічною)*.

У першому випадку одночасний вплив вологи й атмосферного кисню на поверхню металу приводить до появи плівки – окислу. Якщо окисна плівка утворюється швидко (наприклад, на алюмінієвих, магнієвих сплавах), то видалення продукту корозії не відбувається і він захищає матеріал від подальшої корозії. Якщо ж окисна плівка утворюється повільно (сталі, чавуни), то вона виходить пухкою, гігроскопічною, видаляється й збільшує корозію.

Електрохімічна корозія виникає при механічному контакті двох різних металів під плівкою вологи, що містить залишки солей. При цьому відбувається руйнування контактуючих матеріалів.

При проектуванні виробів, що працюють в умовах підвищеної вологості (а іноді й у нормальних умовах), варто враховувати можливу сумісність різних металів, не допускаючи контакту тих, які можуть утворити гальванічні пари (алюміній зі сріблом, золотом, кадмієм; мідь із магнієм, хромом і т. ін.).

При проектуванні конструктор повинен у кожному конкретному випадку вирішувати питання про необхідність висування вимог захисту від впливу вологи. Ці вимоги визначаються умовами

експлуатації і є обов'язковими для виробів, що експлуатуються за кліматичними виконаннями ТВ (тропічний вологий), М (морський), ТМ (тропічний морський); О (загально кліматичний); ОМ (загально кліматичний морський); В (всекліматичний).

Для інших кліматичних виконань істотними є вимоги для категорій розміщення 1 і 2 (експлуатація на відкритому повітрі чи на об'єктах, де коливання температури й вологості несуттєво відрізняються від умов відкритого повітря).

2.1.2 Герметизація як захист від впливу підвищеної вологості

Одним з напрямків забезпечення надійності функціонування виробів під час дії вологи є використання різних способів герметизації.

Герметизація полягає в забезпеченні практичної непроникності несучих конструкцій та окремих вузлів й компонентів для рідин і газів з метою їхнього захисту від вологи, пилу, піску і т. ін.

Розрізняють *індивідуальну (часткову)* та *загальну (повну)* герметизацію.

Індивідуальна герметизація полягає у створенні *монолітної оболонки* для кожного окремого вузла або компонента за допомогою лаків, пластмас та компаундів на органічній основі, які одночасно можуть служити несучими конструкціями для їхніх виводів.

Слід також відмітити, що складність створення вологозахисної оболонки полягає ще й у тому, що на неї часто покладаються функції несучої конструкції, тепловідведення, захисту від електромагнітних впливів та іонізуючих випромінювань, пилу, світла, мікроорганізмів.

Недоліком цього способу є те, що в даному випадку тривала герметизація не забезпечується, а перевагою – те, що при індивідуальній герметизації можлива заміна окремих компонентів при виході їх із ладу.

Загальна герметизація полягає у герметизації *порожнистого корпусу* усього виробу; при цьому герметичність корпусу досягається застосуванням нероз'ємних з'єднань або ущільненням його стиків за допомогою різних прокладок.

Такий спосіб герметизації забезпечує надійний захист виробу протягом тривалого часу експлуатації, але при цьому заміна окремих компонентів можлива тільки під час демонтажу корпусу.

Правильний вибір способу герметизації впливає на такі параметри, як маса виробу, його габарити, вартість, надійність, зручність ремонту, обслуговування, виготовлення, можливість механізації та автоматизації виробництва.

Таким чином, в залежності від способу герметизації вологозахисні конструкції поділяють на дві групи: монолітні та порожнисті.

2.1.2.1 Герметизація за допомогою монолітних оболонок

Монолітні оболонки становлять нерозривне ціле з вузлом, що захищається.

Монолітні плівкові оболонки використовуються переважно як технологічний захист безкорпусних компонентів, що підлягають герметизації у складі блоку, а також компонентів з покращеними частотними властивостями (за рахунок зменшення паразитних параметрів зовнішніх виводів). Органічні плівкові покриття являють собою на поверхні деталі тонкий суцільний шар органічної сполуки (лаку, емалі, компаунда).

До матеріалів захисних плівок висувається ряд вимог:

- якісні вологозахисні властивості (мала вологопроникність, відсутність порожнин, пасивуючі властивості тощо);
- можливість роботи в заданому діапазоні температур;
- висока адгезія до компонента, що захищається.

Монолітні оболонки з органічних матеріалів, що виконують функції несучих конструкцій, виготовляють методами **опресування, просочення, огортання, заливки**.

Опресування – захист виробу від вологи товстим шаром полімерного матеріалу (терморективної чи термопластичної пластмаси) методом трансферного чи ливарного пресування в спеціальних формах.

Цей вид вологозахисту використовують, в основному, для малогабаритних компонентів (електрорадіокомпоненти, інтегральні мікросхеми, мікробірки).

Просочення – процес заповнення ізоляційним плівкоутворювальним матеріалом пір і малих зазорів у компонентах виробів. При цьому з порожнин і пір витісняється повітря і вони заповнюються лаком чи компаундом. Це збільшує електричну й механічну міцність, поліпшує теплопровідність; але при цьому

збільшуються маса, паразитні зв'язки, інтенсифікуються хімічні й електрохімічні процеси в місцях пайки виводів.

Просочення застосовується для моточних виробів, деталей з волокнистих і пористих матеріалів. Для цього використовують лаки УР-231, ГФ-95, МЛ-92 і т. ін.

У виробках з такою герметизацією заборонено застосовувати ізоляційні матеріали, які вже мають просочення: лакотканина, бавовняні і хлорвінілові трубки, фібру тощо.

Огортання – процес утворення покривних оболонок на поверхні виробу, призначених для короткочасної роботи в умовах впливу вологи.

Його застосовують для захисту від вологи друкованих плат, дискретних електрорадіокомпонентів, безкорпусних напівпровідникових приладів.

Основною перевагою огортання є висока економічність, недоліками: досить товстий і неконтрольований шар покриття, можливість використання тільки в нежорстких умовах експлуатації, складність видалення вологи при її попаданні під захисний шар.

Для огортання застосовують лаки УР-231, Э-4100, компаунди, емалі.

До огортання можна віднести також герметизацію компаундами паяних і зварених швів і місць контактування металів із різними електрохімічними потенціалами, дуже чутливими до впливу вологи.

Заливка – процес суцільного упакування компонента чи вузла в ізоляційну масу шляхом заповнення нею вільного проміжку між виробом і стінками корпусу чи між виробом і заливальною формою. Заливка вузлів, крім захисту від кліматичних чинників, дозволяє одержувати вироби з точними геометричними розмірами, високою чистотою обробки поверхні, підвищує механічну міцність.

За ступенем забезпечення вологостійкості заливка перевершує інші види герметизації. Слабким місцем виробу після заливки є виводи, уздовж яких утворюються капілярні капелі на межі зіткнення матеріалів із різними температурними коефіцієнтами лінійного розширення. Матеріалами для заливки служать епоксидні компаунди ЭЗК, Э-242, ЭК-16Б і т. ін.

2.1.2.2 Герметизація за допомогою порожнистих оболонок

Повна герметизація окремих вузлів і пристроїв у цілому найчастіше полягає в застосуванні *порожнистих герметизованих корпусів*. Такий вид герметизації дешевший, крім того, він дозволяє виключити механічний контакт із виробами, що захищаються, і передачу їм механічних напружень, а також хімічний вплив на них із боку матеріалів корпусу.

Існують *роз'ємні, обмежено-роз'ємні і нероз'ємні* корпуси.

Для блоків багаторазового використання, що вимагають забезпечення ремонтпридатності, найбільш ефективним є використання роз'ємних корпусів з герметизацією за допомогою складних профілів з'єднання та прокладок: пластмасових, металевих, гумових. Такі профілі з'єднання створюють додатковий бар'єр для води та вологи і у деяких випадках можуть суттєво запобігти їхньому проникненню усередину корпусів пристроїв.

Ще більший ступінь захисту від вологи можна реалізувати за допомогою герметизуючих прокладок. Пластмасові прокладки мають низьку вартість, стійкість до агресивних середовищ, однак у них низька теплостійкість і недостатньо висока пружність.

У прокладок із пластичних металів (алюмінію, свинцю, міді, індію) відсутній цей недолік, однак їх можна використовувати лише один раз через деформацію при установці. Крім того, ці прокладки не стійкі до впливу вібрацій.

Найбільш широке застосування для герметизації знайшли гумові прокладки, що мають високу волого- і термостійкість. Найчастіше використовуються гуми марок ТМКЩ (тепло- морозо-кисло-тлугостійка).

До недоліків роз'ємних корпусів відносяться підвищені вимоги до міцності, труднощі виконання й контролю надійного рознімного гермоз'єднання; до переваг – висока ремонтпридатність.

Для обмежено-роз'ємних і нероз'ємних корпусів (паяних, зварених) значно легше забезпечити герметизацію, але при цьому ускладнений (чи зовсім неможливий) доступ до компонентів МРТС.

Для блоків об'ємом менш 3 дм³ при необхідності забезпечення невеликої кількості розгерметизацій (від 3 до 5) і повторних герметизацій використовуються *обмежено-роз'ємні корпуси* з регенеруємим паяним чи зварним швом.

Більш дорогими, але й надійнішими є порожнисті *нероз'ємні* металополімерні оболонки. Наявність металевих кришок зменшує площу, через яку може дифундувати волога, однак на межі вивід-полімер волога може проникати.

2.1.3 Захист від корозії

Для захисту металів від корозії застосовуються різні види антикорозійних покриттів.

Слід відмітити, що більшість покриттів виконують не тільки захисну функцію, але й покращують зовнішній вигляд виробів або надають поверхням спеціальних властивостей. У зв'язку з цим покриття підрозділяються на *захисні*, *захисно-декоративні* та *спеціальні*.

В залежності від матеріалу покриття підрозділяються на *металеві*, *неметалеві*, *хімічні*, *органічні* (лакофарбові, емалеві і т. ін.).

В залежності від способу нанесення покриття підрозділяються на *електролітичні (гальванічні)*, *гарячі*, *дифузійні* і т. ін.

Гальванічні металопокриття одержують виділенням металів з розчинів їх солей під дією електричного струму. Деталь, що покривається, є катодом, а анодом – електрод, виконаний з матеріалу покриття.

При використанні металевих покриттів слід особливу увагу звертати на можливість виникнення гальванічних пар, тому що це може привести надалі до електрохімічної корозії. Якщо все-таки є необхідність застосування покриття, що утворює із матеріалом деталі гальванічну пару, то застосовують багат шарове покриття з внутрішніми шарами з нейтральних металів. Наприклад, якщо необхідно застосувати кадмієве покриття по алюмінію, то можна використовувати підшар міді, що нейтральна відносно й алюмінію, і кадмію.

Особливо можна відзначити металізаційні покриття, що отримують методами *термічного напилювання*.

Хімічне окисне покриття – плівка окислу на поверхні металу, отримана в розчинах лугів, кислот, солей.

Анодно-окисне покриття – захисне покриття плівкою окислів основного матеріалу, отриманою в електроліті.

Пасивування – створення адгезійної плівки на поверхні металу шляхом обробки її розчинами солей.

Фосфатне покриття – захисна плівка фосфатом марганцю й заліза, отримана хімічним шляхом.

При виборі матеріалу металевого покриття слід обов’язково враховувати, що деякі метали утворюють гальванічну пару, і при їхньому механічному контакті під плівкою вологи, яка містить залишки солей, виникає електрохімічна корозія, що призводить до їхнього руйнування.

Якщо все-таки є необхідність застосування покриття, що утворює із матеріалом деталі гальванічну пару, то застосовують багатошарове покриття з внутрішніми шарами з нейтральних металів.

Неметалеві неорганічні покриття – це металізаційні покриття, що складаються з неорганічних сполук металів. Зазвичай їх отримують методами **термічного напилювання**, серед яких:

– **хімічне окисне покриття** – плівка окислу на поверхні металу, отримана в розчинах лугів, кислот, солей;

– **анодно-окисне покриття** – захисне покриття плівкою окислів основного матеріалу, отриманою в електроліті;

– **пасивування** – створення адгезійної плівки на поверхні металу шляхом обробки її розчинами солей;

– **фосфатне покриття** – захисна плівка фосфатом марганцю й заліза, отримана хімічним шляхом.

Прикладами таких покриттів є: окисне, окисно-фосфатне, фосфатне, фторидне, окисно-фторидне та ін.

В залежності від способу нанесення покриття підрозділяються на **електролітичні (гальванічні), гарячі, дифузійні** і т. ін.

Гальванічні металопокриття одержують виділенням металів з розчинів їхніх солей під дією електричного струму. Деталь, що покривається, є катодом, а анодом – електрод, виконаний з матеріалу покриття.

У ряді випадків несучі конструкції захищають від вологи за допомогою **органічних лакофарбових покриттів**, які являють собою плівкоутворюючі органічні речовини, що наносяться в один або кілька шарів на поверхню, що захищається.

Лакофарбові покриття хімічно більш інертні, ніж покриття з металу, а тому мають кращі антикорозійні властивості, але меншу механічну міцність порівняно з металевими.

Основою будь-якого лакофарбового покриття є органічна плівкоподібна речовина та пігмент (фарбувальна речовина), а всі лаки і фарби, що застосовуються, проникні для води і кисню в деякій мірі.

Лакофарбові покриття наносять на ґрунтовану поверхню.

У МРТС використовують лакові ґрунти типу АЛГ-1 та ін. Для сталевих деталей застосовують фосфатуючі ґрунти типу ФО-ОЗ-К та ін. Товщина ґрунту має бути не менше 0,04 мм. Для вирівнювання заґрунтованої поверхні роблять шпаклювання пастоподібною масою, що складається з пігментів, наповнювачів та лаків. Максимальна товщина шпаклівки 0,4 мм. На поверхню, що шпаклюється, наносять лакофарбові покриття, товщина яких складає від 0,1 мм до 0,2 мм.

2.2 Контрольні питання

1 Для яких виробів необхідний обов'язковий захист від вологи?

2 Вплив вологи на ізоляційні матеріали.

3 Вплив вологи на метали. Види корозії.

4 Класифікація антикорозійних покриттів в залежності від матеріалу покриття.

5 Що таке гальванічна пара при використанні металевих покриттів. До яких наслідків це може призвести? Засоби запобігання виникненню гальванічних пар.

6 Класифікація антикорозійних покриттів в залежності від способу нанесення.

7 Гальванічні покриття – матеріали, спосіб нанесення та особливості використання.

8 Гарячі покриття – матеріали, спосіб нанесення та особливості використання.

9 Дифузійні покриття – матеріали, спосіб нанесення та особливості використання.

10 Металізаційні покриття, що отримують методами термічного напилювання.

11 Класифікація захисних оболонок. Монолітні оболонки: особливості конструкцій, області застосування.

12 Класифікація захисних оболонок. Пустотілі вологозахиснені оболонки: особливості конструкцій, області застосування.

13 Види герметизації: індивідуальна та загальна. Їх порівняльна характеристика та області застосування.

14 Види герметизації: часткова та повна. Їх порівняльна характеристика та області застосування.

15 У чому полягає просочення та для яких конструкцій воно застосовується?

16 У чому полягає обволікання та для яких конструкцій воно застосовується?

17 У чому полягає заливка та для яких конструкцій вона застосовується?

18 У чому полягає обпресування та для яких конструкцій воно застосовується?

19 Як забезпечується герметизація елементів на друкованих платах?

20 Як забезпечується повна герметизація?

2.3 Порядок виконання роботи

2.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

2.3.2 Проаналізувати об'єкт із точки зору захисту конструкції від впливу вологи.

2.3.3 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог захисту від впливу вологи.

2.3.4 Виявити недоліки конструкції з точки зору захисту від впливу вологи.

2.3.5 Запропонувати варіанти технічних рішень, спрямованих на усунення знайдених недоліків.

2.4 Зміст звіту

2.4.1 Тема та мета роботи.

2.4.2 Короткий опис умов експлуатації об'єкта аналізу з вказівкою можливих джерел підвищеної вологості та шляхів проникнення вологи усередину об'єкта

2.4.3 Перелік виявлених конструктивних рішень, спрямованих на захист від підвищеної вологості.

2.4.4 Перелік виявлених недоліків щодо захисту від підвищеної вологості.

2.4.5 Перелік пропозицій щодо усунення виявлених недоліків.

2.4.6 Висновки.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. ЗАХИСТ ВІД МЕХАНІЧНИХ ВПЛИВІВ

3.1 Теоретична частина

3.1.1 Види механічних впливів на виробу і їхні джерела

На МРТС у процесі виробництва, збереження, транспортування й експлуатації можуть впливати внутрішні й зовнішні механічні чинники (впливи), що викликають порушення їх працездатності.

Усі механічні впливи розділяються на дві групи: *статичні* та *динамічні*.

До *статичних* механічних впливів відносяться:

- розтяг;
- стиснення;
- вигин;
- кручення;
- зріз;
- вдавлювання.

Статичні впливи діють постійно, незалежно від того, рухається об'єкт, чи перебуває у покої, тобто, їх треба враховувати для об'єктів усіх класів експлуатації. Джерелами цих впливів є маси елементів об'єкту та засоби їх з'єднання.

Кількісно вони характеризуються величинами *механічних напружень* елементів конструкцій та їх *деформацією*.

Динамічні механічні впливи поділяються на:

- вібраційні (вібрації),
- ударні (удари),
- інерційні (лінійні прискорення).

Іноді до них ще відносять впливи невагомості та акустичного шуму.

Джерелами динамічних механічних впливів можуть бути двигуни та усі рухомі елементи самого об'єкту (внутрішні впливи), або рухомі об'єкти для їх транспортування (зовнішні впливи).

Кількісно динамічні механічні впливи характеризуються *діапазоном частот, амплітудою, прискоренням, часом дії коливань*.

У загальному випадку ці впливи мають випадковий характер.

Вібрації – коливання конструкції, викликані періодичним знакоперемінним впливом.

Вібрації діють на апаратуру, розміщену на транспортних засобах (бортова), у виробничих приміщеннях. На стаціонарну апаратуру вібрації впливають у процесі транспортування. Крім того, джерелами вібрацій можуть бути складові частини самого виробу, наприклад, електродвигуни, механічні перетворювачі.

При аналізі випадкових вібрацій їх представляють шляхом розкладання у ряд Фур'є, як суму так званих гармонійних вібрацій.

Параметри гармонійної вібрації визначаються зі співвідношення (3.1):

$$x = A \cdot \sin \omega t = A \cdot \sin 2\pi f t \quad (3.1)$$

де: x – переміщення, м;
 A – амплітуда вібрацій, м;
 ω – кругова частота; рад/с;
 f – частота, Гц;
 t – час, с.

Частота пов'язана з іншим параметром вібрації – періодом коливань T – співвідношенням (3.2):

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

Крім вищеперерахованих, вібрації характеризуються такими параметрами, як: швидкість v (м/с), прискорення a (м/с²) та різкість n (м/с³), між якими існують співвідношення (3.3):

$$v = \frac{dx}{dt}; a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}; n = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3} \quad (3.3)$$

Удари – короткочасні впливи, що супроводжуються стрибкоподібними змінами швидкості.

Розрізняють удари, викликані транспортуванням, падінням, зіткненням, приземленням, вибуховою хвилею. За характером впливу удари бувають *періодичними* й *аперіодичними*.

Удари характеризуються амплітудою основного параметра (переміщення, швидкості чи прискорення), тривалістю τ , с та формою імпульсу, а також кількістю (одиначні та багаторазові).

Лінійні прискорення можна розглядати як окремий випадок ударного впливу, коли удар одиночний, а його тривалість велика. Найчастіше вони спостерігаються у виробках, які експлуатуються у процесі руху (транспортованих).

3.1.2 Наслідки механічних впливів

У результаті вібрацій, ударів і лінійних прискорень можуть мати місце наступні uszkodження:

- порушення герметичності внаслідок руйнування паяних, зварених і клейових швів і появи тріщин у металевоскляних спаях;
- повне руйнування корпусу виробу чи окремих його частин унаслідок механічного резонансу чи втоми;
- обриви монтажних зв'язків, у тому числі зовнішніх виводів мікросхем;
- відшарування друкованих провідників;
- відриви навісних ЕРЕ;
- розшарування багатошарових друкованих плат;
- поломка (розтріскування) керамічних і ситалових підкладок;
- тимчасовий чи остаточний вихід із ладу роз'ємних і нероз'ємних електричних контактів;
- зсув положення органів настроювання й керування;
- ослаблення чи вихід із ладу механічних вузлів (кріплень окремих елементів конструкції, саморозгвинчування, поломка несучих конструкцій);
- виникнення (збільшення) паразитних зв'язків;
- зміна параметрів напівпровідникових приладів;
- збій цифрових пристроїв.

Найнебезпечнішим для конструкції є виникнення **механічного резонансу**, при якому частота зовнішнього впливу f збігається із власною резонансною частотою механічної системи f_0 . У цьому випадку амплітуда коливань починає різко зростати, що викликає неприпустимі механічні напруги в елементах конструкції і наступне її руйнування.

Кожна конструкція має власну резонансну частоту, яка визначається за формулою:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (3.4)$$

де m – маса конструкції, кг;
 k – жорсткість конструкції, Н/м.

Жорсткість являє собою відношення діючої сили до деформації, викликаной цією силою.

3.1.3 Вимоги до захисту виробів від механічних впливів в залежності від умов експлуатації

В залежності від умов експлуатації до виробів можуть пред'являтися вимоги **вібро–** та **удароміцності**, **вібро–** та **ударостійкості**,

Система є **вібро–** або **удароміцною**, якщо при механічних впливах (вібраціях і ударах) не порушується її цілісність, не виникає руйнування матеріалів конструкцій і т. ін. Ці умови стосуються, в основному, стаціонарних систем, механічні впливи на які відбуваються у неробочому положенні (при транспортуванні).

Система є **вібро–** або **ударостійкою**, якщо при механічних впливах вона нормально функціонує і її параметри не виходять за межі, встановлені у технічній документації. Такі вимоги пред'являються до систем, що експлуатуються в процесі руху (рухомі та транспортовані).

3.1.4 Захист від механічних впливів

Методи захисту можна розділити на групи:

- зменшення інтенсивності джерел механічних впливів (шляхом їхнього балансування, зменшення зазорів, віброізоляції самого джерела механічних впливів);

- зменшення параметрів впливів, що передаються від джерела до виробу (шляхом його віброізоляції, демпфірування, усунення резонансів і т. ін.);

- підвищення міцності й жорсткості компонентів і вузлів конструкції.

Методи першої групи використовують фахівці з двигунів. Методи другої й третьої груп використовують проєктувальники самих виробів.

3.1.4.1 Захист від механічних впливів за допомогою віброізоляції

Віброізоляція здійснюється для об'єктів, встановлених на основі (у якості основи для елементів об'єкту може виступати нижня поверхня корпусу) шляхом установки між ними пружних опор, що утворюють разом складну коливальну систему, яка має властивості **демпфірування** і **частотної селекції** механічних коливань.

Демпфірування полягає в поглинанні механічних коливань за рахунок тертя в матеріалі конструкції пружної опори (гума, поролон, вібропоглинаюче покриття).

Частотна селекція механічних коливань полягає в тому, що система віброізоляції в зарезонансній області є фільтром нижніх частот, у області яких найчастіше знаходяться частоти зовнішніх впливів. Але треба пам'ятати, що при збігу власної резонансної частоти системи й частоти зовнішніх впливів система перейде у резонансний режим. Це слід враховувати при виборі системи амортизації для заданого діапазону частотних впливів.

Конструктивно віброізоляція реалізується за допомогою **амортизаторів** чи використанням **вібропоглинаючих прокладок**. В останньому випадку зменшуються габарити й маса виробу.

На рис. 3.1 а показані амортизатори опорної дії типу АПНМ, демпфуючим елементом яких є пружина-спіраль; на рис. 3.1 б – сучасний амортизатор типу ТА серії TUBUS, виготовлений з особливо пружного елемента на основі полієфіру.



а – амортизатори опорної дії типу АПНМ; б – амортизатор типу ТА серії TUBUS

Рисунок 3.1 – Конструкції амортизаторів

При розробці систем віброізоляції слід враховувати такі параметри системи, як габарити, маса, вартість, надійність і умови експлуатації.

3.1.4.2 Способи підвищення міцності і жорсткості конструкції

Для захисту від механічних впливів застосовують ряд конструкторських заходів.

Для підвищення міцності конструкції (під міцністю розуміють навантаження, яке конструкція може витримати без залишкових деформацій і руйнування) іноді збільшують товщину деталей, кількість точок кріплення, вводять додаткові перегородки, ребра жорсткості тощо. Можливості цього методу обмежені, оскільки збільшення міцності при цьому звичайно супроводжується нарощуванням маси, а це приводить до зростання динамічних навантажень.

Існує декілька більш ефективних способів підвищення міцності і, зокрема, ударостійкості, серед яких:

- застосування матеріалів із підвищеною пластичністю;
- відстроювання механічної системи від частоти вібрації шляхом зміни її власної частоти f_0 за рахунок жорсткості чи маси системи без її розв'язки від носія (такий підхід часто використовується при проектуванні елементної бази та друкованих плат);
- установка об'єктів на пружні опори (амортизатори) з одночасним відстроюванням власної частоти амортизаційної системи від діапазону частот вібраційного впливу (такий підхід часто використовується при проектуванні блоків);
- при відсутності технічних можливостей відстроювання власної частоти механічної системи від частоти зовнішнього впливу з метою зменшити амплітуду коливань при резонансі застосовують демпфірування – зменшення добротності механічної системи за рахунок уведення дисипативних елементів – елементів, які перетворюють механічну енергію у інші види, наприклад, у теплову.

Амортизацію проводять звичайно для закінчених об'єктів цілком. Але у системах, які містять невелику кількість вузлів чи блоків, доцільно амортизувати тільки ці вузли. І тільки в дуже відповідальній техніці, яка працює в складних умовах експлуатації, амортизують одночасно і сам об'єкт, і його складові частини.

Важливим елементом підвищення міцності і жорсткості є **правильний вибір матеріалів** елементів конструкцій. При цьому для досягнення необхідного ефекту можна оперувати маркою матеріалу і геометричними розмірами елементів несучої конструкції.

Вибір форми елементів конструкцій пов'язаний із трьома параметрами: площиною зовнішньої поверхні, коефіцієнтом заповнення площин і коефіцієнтом заповнення об'єму.

Найоптимальнішими є форми сфероїда й кулі, однак ці форми незручні в експлуатації. Тому при виборі форми виробу за характеристиками міцності й жорсткості перевагу віддають формі куба.

Для плоских конструкцій (панелі, основи, планки тощо) кращою формою є квадрат; допускається співвідношення сторін для таких конструкцій 2:1. При конструюванні плоских конструкцій з великим співвідношенням сторін слід передбачити додаткові точки закріплення впродовж довгої сторони.

Раціональний вибір форми деталей несучих конструкцій пов'язаний з матеріалом і методом виготовлення. Найраціональнішими з погляду міцності й жорсткості є тавровий і двотавровий профілі. На практиці для штампованих деталей використовують Г-подібні профілі (шляхом відгину, відбортуння і т. ін.), для ливарних і отриманих механічною обробкою – ребра жорсткості. У деталях рекомендується вводити полегшуючі отвори в місцях, що не несуть механічних навантажень.

При компоюванні друкованих плат важкі елементи необхідно розміщати поблизу точок закріплення плати, тому що в цих точках прогин плат мінімальний. Елементи на друкованих платах закріплюються за допомогою пайки виводів. Однак при значних зовнішніх впливах і у випадку установки на плату масивних великогабаритних елементів використовують додаткові кріплення: локальні (кріплення окремих елементів за допомогою клейового, різьбового з'єднання, і т. ін.) чи групові (залівка плати компаундом).

При проектуванні складових конструкцій перевагу бажано віддавати нероз'ємним з'єднанням. Але це здебільшого неприпустимо, бо при цьому зменшуються показники ремонтпридатності, технологічності, теплового режиму, тому найчастіше використовують рознімні з'єднання (наприклад, різьбові).

Для поліпшення показників міцності нарізні сполучення підлягають стопорінню.

Існують різні способи стопоріння, серед яких найбільш відомі:

- використання стопорних (пружинних) шайб;
- стопоріння за допомогою контргайки;
- стопоріння за допомогою кернення;
- стопоріння фарбою.

Застосування стопорних (пружинних) шайб забезпечує високу ремонтпридатність та надійність з'єднання. Незважаючи на суттєві переваги цього способу, він неприйнятний для деяких видів з'єднань, наприклад, коли використовуються гвинти з потайною головкою.

Стопоріння за допомогою контргайки можливе тільки для з'єднань типу гвинт-гайка і не може бути застосоване у тих випадках, коли гвинт з'єднується з різьбовим отвором у самій деталі.

Стопоріння за допомогою кернення є досить надійним, але при цьому не забезпечується ремонтпридатність виробу.

Найбільш універсальним та розповсюдженим способом стопоріння є стопоріння фарбою. Існують різні варіанти такого стопоріння, які залежать від марки фарби та місця, куди вона наноситься (під головку гвинта, на різьбову частину гвинта, на різьбу гайки, у різьбовий отвір тощо).

Вибір варіанта залежить від конструкції різьбового з'єднання.

При компонованні усього виробу в цілому необхідно враховувати положення центра мас. При закріпленні окремих вузлів необхідно уникати консолей.

При виконанні електромотажу необхідно використовувати механічне закріплення кабелів і окремих проводів (за допомогою приклеювання, скоб, хомутів). Обов'язково механічно закріплюються проводи, кабелі, шнури, що виходять із корпусу виробу.

3.2 Контрольні питання

1 Види механічних впливів та їх класифікація.

2 Джерела механічних впливів.

3 Як впливають на працездатність МРТС статичні навантаження?

4 Які впливи відносяться до вібраційних? Класифікація та основні параметри вібрацій.

5 Якими параметрами характеризується гармонійна вібрація?

6 Джерела вібрацій. Як впливають вібрації на працездатність виробів?

7 Що таке удари? Класифікація, параметри, джерела ударів. Як впливають удари на працездатність виробів?

8 Що таке лінійні прискорення? Джерела лінійних прискорень.

9 Які ушкодження викликають динамічні механічні впливи?

10 У чому полягає явище механічного резонансу? Чим воно небезпечне?

11 Що таке власна резонансна частота? Від яких чинників вона залежить?

12 Що таке жорсткість конструкції? Як вона визначається та від яких факторів залежить?

13 Що таке вібро– та ударостійкість і вібро– та удароміцність? Для яких систем слід забезпечувати стійкість і міцність, для яких – тільки міцність?

14 Класифікація методів захисту від механічних впливів.

15 Віброізоляція: види та засоби реалізації.

16 Забезпечення міцності та жорсткості деталей. Чому збільшення товщини матеріалу не сприяє підвищенню міцності та жорсткості?

17 Економічні способи підвищення міцності деталей. Економічні профілі.

18 Критерії вибору матеріалів та форми виробів з урахуванням вимог захисту від механічних впливів.

19 Забезпечення міцності та жорсткості друкованих плат.

20 Забезпечення міцності та жорсткості складних конструкцій.

3.3 Порядок виконання роботи

3.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

3.3.2 Проаналізувати об'єкт із точки зору захисту конструкції від механічних впливів.

3.3.3 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог захисту конструкції від механічних впливів.

3.3.4 Виявити недоліки конструкції з точки зору захисту конструкції від механічних впливів.

3.3.5 Запропонувати варіанти технічних рішень, спрямованих на усунення знайдених недоліків.

3.3.6 Оформити звіт.

3.4 Зміст звіту

3.4.1 Тема та мета роботи.

3.4.2 Короткий опис умов експлуатації об'єкта аналізу з вказівкою можливих статичних та динамічних навантажень.

3.4.3 Перелік виявлених конструктивних рішень, спрямованих на захист від механічних впливів.

3.4.4 Перелік виявлених недоліків щодо захисту від механічних впливів.

3.4.5 Перелік пропозицій щодо усунення виявлених недоліків.

3.4.6 Висновки.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ

4.1 Теоретична частина

4.1.1 Визначення технологічності

Технологічність конструкції виробу – сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, технічному обслуговуванні та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску та умов виконання роботи.

До умов виготовлення або ремонту виробу відносяться: тип виробництва, його спеціалізація і організація, річна програма та повторюваність випуску, а також застосовані технологічні процеси.

Розрізняють виробничу й експлуатаційну технологічності.

Виробнича технологічність проявляється у скороченні витрат, коштів та часу на конструкторську підготовку виробництва, технологічну підготовку виробництва та виготовлення виробу. Вона характеризується трьома складовими: **трудоємністю, матеріалоємністю й собівартістю.**

Експлуатаційна технологічність визначає обсяг робіт при підготовці виробу до використання за призначенням, технічному ремонті й утилізації. Експлуатаційна технологічність характеризується п'ятьма параметрами: **доступністю, контролездатністю, взаємозамінністю, забезпеченістю ЗІП, легкоз'ємністю з об'єкта.**

4.1.2 Відпрацювання на технологічність на всіх етапах проєктування

Стандарти передбачають обов'язкове відпрацювання виробів на технологічність на всіх стадіях їх створення з метою підвищення продуктивності праці, зниження витрат і часу на проєктування, технологічну підготовку виробництва, виготовлення, технічного обслуговування та ремонту при забезпеченні необхідної якості виробів.

При узгодженні ТЗ визначають вимоги з технологічності у цілому (уніфікація, типізація, наступність), встановлюється зв'язок

показників виробів і техніко-економічних вимог із використанням нових матеріалів і ТП.

На етапі технічної пропозиції розроблюються варіанти розчленовування конструкції, визначаються запозичені й оригінальні деталі, очікуваний рівень технологічності конструкції.

На етапі ескізного проєкту детальніше уточнюються складові конструкції, використовувані типові конструкції, параметри матеріалів, способи базування деталей і регулювання вузлів, можливості використання типових ТП, заходи щодо зручності обслуговування, номенклатура змінних і ремонтних деталей.

На етапі технічного проєкту виявляється можливість застосування покупних виробів, стандартних, освоєних на виробництві деталей і вузлів; визначаються методи обробки деталей, можливість паралельної й незалежної зборки вузлів і деталей; відпрацьовується конструкція деталей, призначених для обслуговування й ремонту.

На етапі робочої документації уточняється номенклатура уніфікованого кріплення і типових елементів; аналізується можливість забезпечення технологічності зборки (виключення проміжної розборки, вибір способів базування й фіксування, методів регулювання); установлюються економічно доцільні способи одержання заготовель; відбувається відпрацювання конструкцій деталей і вузлів на технологічність за елементами.

На всіх етапах розробки конструкції, починаючи з технічної пропозиції, відбувається контроль конструкторської документації на технологічність.

4.1.3 Оцінка технологічності

Оцінка технологічності може бути:

- якісною (суб'єктивною);
- кількісною (об'єктивною).

4.1.3.1 Якісна оцінка технологічності

Якісна оцінка, як правило, передує кількісній та характеризує технологічність конструкції РЕЗ узагальнено і завжди суб'єктивно, зазвичай виходячи з досвіду експерта – виконавця кількісної оцінки.

До якісних характеристик технологічності конструкції відносять *взаємозамінюваність*, *регульованість*, *контролепридатність* і *інструментальну доступність* конструкції.

Інженерно-візуальний метод оцінки технологічності являє собою сукупність прийомів, за допомогою яких розробник візуально оцінює конструктивні та технологічні ознаки виробу.

Різновидами інженерно-візуальних методів оцінки технологічності можуть бути різноманітні методи, засновані на використанні інформації, одержуваної в результаті сприйняття органів чуття, наприклад, на стадії розробки конструкторської документації дослідного зразка або у серійному виробництві. Ці методи широко використовуються для оцінки якості продукції. Якісна оцінка технологічності заснована на інженерно-візуальних методах оцінки і проводиться за окремими конструктивними і технологічними ознаками та, як правило, передує кількісній оцінці, але цілком сумісна з нею на усіх стадіях проектування.

При порівнянні варіантів конструктивних виконань виробу у процесі проектування якісна оцінка «краще – гірше» дозволяє вибрати найкращий варіант виконання або встановити доцільність витрат часу на визначення кількісних значень показників технологічності усіх порівнюваних варіантів.

В окремих випадках для якісного опису конструктивних та технологічних ознак виробу можуть бути застосовані шкали інтенсивності цих ознак і, отже, перехід до кількісної їх оцінки у вигляді введення балів.

Для того щоб виконати якісну оцінку технологічності конструкції РЕЗ, бажано мати наступні документи:

- стандарти, що регламентують застосування різних матеріалів у виробі РЕЗ;
- стандарти, що регламентують застосування кріплення у виробі РЕЗ;
- стандарти, що регламентують застосування конструктивних елементів у виробі РЕЗ;
- технологічні вимоги до деталей та складальних одиниць за видами виробництва;
- типові рішення специфічних конструктивних деталей та складальних одиниць.

4.1.3.2 Кількісна оцінка технологічності

Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу РЕЗ здійснюється за допомогою показників технологічності, які поділяють на основні та додаткові.

Основні показники характеризують найважливіші ознаки конструкції виробу. До них відносяться:

- собівартість конструкції;
- трудомісткість виготовлення конструкції;
- показник стандартизації та уніфікації конструкції;
- комплексні показники технологічності.

Додаткові показники технологічності конструкції характеризують технологічність конструкції виробу за якоюсь однією ознакою, тому інколи їх називають частковими показниками.

До додаткових показників відносяться:

- техніко-економічні показники трудомісткості;
- техніко-економічні показники собівартості;
- технічні показники технологічності, які поділяються на конструкторські та технологічні.

До техніко-економічних показників **технологічності** відносяться:

- відносна трудомісткість регулювальних робіт порівняно із загальною трудомісткістю;
- відносна трудомісткість складально-монтажних робіт;
- відносна трудомісткість робіт, пов'язаних із механічною обробкою деталей та складальних одиниць.

До техніко-економічних показників **собівартості** відносяться:

- відносна собівартість покупних деталей та складальних одиниць;
- відносна собівартість оригінальних деталей та складальних одиниць.

До **технічних** показників відносяться:

- коефіцієнт засвоєності деталей та складальних одиниць у виробі;
- коефіцієнт повторюваності деталей та складальних одиниць у виробі;
- коефіцієнт типових технологічних процесів.

Конкретні значення показників технологічності поділяються на базові та досягнуті.

Базові значення вказуються у ТЗ, а за окремими видами виробів, номенклатура яких встановлюється галузями, – у галузевих стандартах. Вони є для розробника основним орієнтиром, тобто, метою, та мають бути досягнуті при розробці конструкції нового виробу.

Досягнуті значення основних показників технологічності конструкції – це значення, реально отримані за одним або декількома показниками технологічності на одній із стадій розробки конструкторської документації. При цьому основною задачею технологічної підготовки виробництва у частині відпрацювання конструкції виробу на технологічність є досягнення рівності або перевищення базового значення.

Інженерно-розрахунковий метод оцінки технологічності являє собою сукупність прийомів, за допомогою яких розробник визначає та зіставляє розрахунковим шляхом кількісні значення показника технологічності проєктованого виробу K та відповідного показника конструкції виробу K_6 , прийнятого за базовий для порівняння.

Найбільш поширені методи абсолютної, відносної та різницевої оцінки технологічності:

- абсолютний показник: $K = (k_1 \dots k_N)$;
- відносний (порівняльний) показник: $K_y = \frac{K}{K_6}$;
- різницевий показник: $\Delta K = (K - K_6) = (1 - K_y)$.

Для оцінки певної групи ознак або технологічності цілком використовуються комплексні показники технологічності. Для їх визначення використовуються різні методи.

Серед них:

– комплексний показник, розрахований як добуток часткових показників або відношення добутку часткових показників до їх кількості або суми;

– комплексний показник, розрахований як середньоарифметична або середньозважена часткових показників з урахуванням коефіцієнтів їх економічної еквівалентності (вагових коефіцієнтів);

- комплексний показник, розрахований на основі оброблених дослідних статистичних даних шляхом кореляційного аналізу;
- комплексний показник, розрахований за системою балів;
- комплексний показник, розрахований за системою зменшення максимального значення показника при невідповідності конструктивно-технологічних факторів виробу найбільш технологічній базовій конструкції;
- комплексний показник, розрахований з урахуванням елементів попередніх методів.

Найбільш розповсюдженим є *середньозважений комплексний показник технологічності* з урахуванням коефіцієнтів економічної еквівалентності його складових. Його можна розрахувати за формулою:

$$K_k = \frac{\sum K_i \cdot \varphi_i}{\sum \varphi_i}$$

де K_k – комплексний показник технологічності;

K_i – i -й частковий показник технологічності;

φ_i – коефіцієнт економічної еквівалентності (ваговий коефіцієнт) для i -го часткового показника технологічності.

4.1.4 Загальні методи забезпечення виробничої технологічності

4.1.4.1 Підвищення серійності при виготовленні (обробці, складанні, випробуваннях і т. ін.) як наслідок створення однакових конструкцій:

- використання *базових конструкцій* – найпростіших й відпрацьованих у виробництві елементів конструкторської ієрархії;

- *уніфікація* виробів, складальних одиниць та деталей шляхом приведення декількох різних конструкцій до однієї, зокрема, за рахунок запозичення з інших виробів та повторюваності деталей та складальних одиниць у межах, одного виробу;

- створення *параметричних рядів* на основі базової конструкції;

- *стандартизація* виробів, складальних одиниць, деталей та їх елементів (різбових елементів, діаметрів отворів тощо).

4.1.4.2 Рациональне призначення матеріалів та зниження його витрат за рахунок:

- вибору найдешевшого матеріалу без втрати якості виробництва;
- вибору матеріалу, що легко обробляється;
- зменшення застосування дефіцитних чи токсичних матеріалів, дорогоцінних металів;
- зменшення номенклатури використовуваних матеріалів і напівфабрикатів;
- застосування обґрунтованих сортamentів і марок матеріалів, що дозволяють знизити матеріалоємність виробу;
- вибору найдешевшого виду заготовок: прокат, лиття, штампування та ін;
- найбільш економного витрачання матеріалів шляхом зміни конструкції, призначення припусків та ін.

4.1.4.3 Вибір раціональних за формою та елементами конструкцій деталей:

- вибір розмірів та форми компонентів, деталей і вузлів конструкції з урахуванням економічно доцільних для заданих умов виробництва способів формоутворення;
- скорочення об'ємів кошовної механічної обробки та переходу до прогресивних методів формоутворення;
- зменшення вартості виготовлення деталей за рахунок правильного призначення розмірів;
- обґрунтований вибір якості точності, шорсткості поверхні, установчих і технологічних баз;
- зниження маси деталей та виробу в цілому;
- конструктивна й функціональна взаємозамінність вузлів, мінімізація кількості підстроювальних і регулювальних елементів;
- контролездатність та інструментальна доступність елементів, деталей і вузлів, особливо при автоматизованому й механізованому виготовленні.

4.1.4.4 Вивчення умов виробництва, де виготовлятиметься виріб:

- наявність обладнання, оснащення, уніфікованих технологічних процесів, традицій виробництва, наявність кваліфікованих кадрів;

- застосування прогресивних технологічних процесів;
- застосування засобів автоматизації виробничих процесів.

4.1.5 Стандартизація, уніфікація і типізація як шляхи підвищення технологічності

Пошук нових конструкторських рішень виправданий у тому випадку, коли при цьому досягається якась нова властивість виробу, або ж стара забезпечується при менших витратах.

У загальному випадку виправдане *максимальне успадкування*, тобто застосування *стандартних* і *уніфікованих* деталей і вузлів.

Стандартизація – метод забезпечення єдності якості параметрів масової промислової продукції, зниження трудомісткості її виготовлення шляхом встановлення обов'язкових норм на параметри виробів або виробничі процеси.

Спадковість – це обсяг застосування в новому виробі раніше розроблених і освоєних виробництвом деталей і вузлів. Вона знижує терміни розробки конструкції та вартість підготовки виробництва (за рахунок використання наявного інструменту).

Повторюваність характеризується числом однакових вузлів і деталей у виробі. При цьому спрощується конструкція та вартість її виготовлення.

Нормалізація – метод впровадження в межах підприємства, об'єднання або відомства норм, що раціонально обмежують різноманітність типорозмірів конструкції, матеріалів, напівфабрикатів, обробного та вимірювального інструменту та інших норм загального призначення. Документом, який регламентує обов'язкове застосування будь-яких з норм, є *нормаль*. Нормалі обмежують також і загальні технічні регламенти.

Типізація – це процес доцільного скорочення різноманіття конструкцій за рахунок створення типових широко застосовуваних деталей і вузлів. Найвищий ступінь типізації – уніфікація.

Уніфікація – це процес скорочення різноманіття типових деталей і вузлів або виробів шляхом об'єднання їх в групи за певними ознаками та функціями.

Стандартизація та уніфікація дозволяють:

- значно скоротити терміни і вартість проектування;

- скоротити на підприємстві номенклатури застосовуваних деталей і складальних одиниць;
- виключити розробки нового спеціального оснащення і спеціального устаткування для кожного нового виробу;
- створювати спеціалізовані виробництва стандартних і уніфікованих складальних одиниць для централізованого забезпечення підприємств;
- спростити обслуговування й ремонт виробів, тобто поліпшити експлуатаційну технологічність конструкції.

Уніфіковані елементи конструкції дозволяють створювати різні прилади та пристрої на базі вихідних моделей з мінімальними витратами часу та коштів. Це здійснюється шляхом створення уніфікованих рядів функціональних виробів, які схожі за формою та відрізняються між собою параметрами, або розмірами. Ці ряди утворюють відповідно параметричні та розмірні ряди.

Параметричні ряди охоплюють елементи з варіацією параметрів. У таких рядах параметри представляються у вигляді потужності, ємності, опору, коефіцієнта підсилення, кількості певних можливостей цифрового пристрою і т. ін.

Розробка розмірного ряду для конструктивно-параметричної родини виробу даного виду повинна здійснюватися в наступній послідовності:

- вибір основного параметра, за яким будується ряд, і розміщення типорозмірів з обраним кроком;
- аналіз пропозицій споживачів про створення нових виробів і про перспективну потребу в них;
- аналіз спільності конструкторських рішень вітчизняних і закордонних аналогів, охоплених номенклатурою типорозмірів розроблювального ряду.

Уніфікація конструкцій може проводитися на різних рівнях – окремі параметри, конструктивні елементи, вузли, частини несучих конструкцій, а також цілком окремі блоки та пристрої. На її основі будуються **базові несучі конструкції** (БНК).

Застосування уніфікації дозволяє значно підвищити рівень виробничої технологічності, особливо для одиничного та дрібносерійного виробництва.

Ступінь уніфікації оцінюють коефіцієнтом уніфікації:

$$K_y = \frac{C_y + D_y}{C + D}$$

де C_y, D_y – кількість уніфікованих складальних одиниць та деталей відповідно,

C, D – загальна кількість складальних одиниць та деталей.

4.1.6 Технологічність формоутворення деталей

4.1.6.1 Забезпечення технологічності деталей, що піддаються механічній обробці

При проєктуванні деталей, що піддаються механічній обробці, слід забезпечувати виконання наступних вимог:

– конструктивна форма деталей повинна бути нескладною, а поверхні, що обробляються, мати форму тіл обертання або площин, що дозволяють обробляти їх найбільш простими і продуктивними способами;

– об'єм механічної обробки деталей має бути найменшим; це досягається за рахунок скорочення кількості оброблюваних поверхонь та величини припусків на обробку;

– конструкція деталей повинна бути досить жорсткою, що виключає вплив зусиль, що деформують, на її точність при застосуванні високих режимів різання;

– конструкція деталі повинна бути зручною для обробки, закріплення та виривів;

– слід уникати застосування складних криволінійних та фасонних поверхонь, оскільки вони ускладнюють обробку та вимагають застосування спеціального обладнання та інструменту;

– оброблювані поверхні слід робити виступаючими над необроблюваними (чорновими); при цьому забезпечується вихід ріжучого інструменту та зменшується величина поверхні, що підлягає обробці;

– площини, що обробляються, слід розташовувати по можливості на одному рівні; це прискорює виготовлення деталі, оскільки не вимагає переустановки та переналагодження деталі й інструменту;

– поверхні, що примикають до оброблюваних ділянок, роблять по можливості перпендикулярними до площини, що обробляється, щоб розміри контурів, одержуваних при обробці, не змінювалися;

– поверхні, що підлягають обробці свердлінням, забезпечують бобишками, припливами, торцеві площини яких повинні бути перпендикулярні до осі свердла; це забезпечує правильний вхід та вихід інструменту та запобігання його поломок;

– отвори під різьбові з'єднання повинні відстояти від перпендикулярної стінки на відстані не менш, ніж $D/2 + R$, де D – діаметр шайби або діаметр гайки, якщо шайба не ставиться (рис. 4.1);

– якщо конструкцією не передбачається вільний вихід ріжучого інструменту, то перехідна частина повинна відповідати формі та розмірам ріжучого інструменту;

– при конструюванні деталей необхідно стежити за тим, щоб місця обробки різальним інструментом були доступні для його підведення та виведення, за винятком випадків, коли передбачено різьблення.

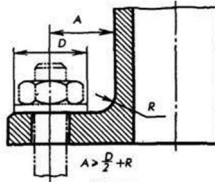


Рисунок 4.1 – Розташування отворів під різьбові з'єднання

4.1.6.2 Забезпечення технологічності листових холодно штампованих деталей

Основні показники технологічності листових холодно штампованих деталей:

- мінімізовані витрат матеріалу;
- найменша кількість та низька трудомісткість операцій;
- відсутність подальшої механічної обробки;
- найменша кількість необхідного обладнання та виробничих площ;
- мінімальна кількість оснастки (штампів, пристроїв);
- можливість автоматизації та механізації процесу виготовлення.

4.1.6.2.1 Загальні технологічні вимоги до конструкції листових холодно штампованих деталей

Механічні властивості листового матеріалу повинні відповідати не тільки вимогам міцності та жорсткості виробу, але й забезпечувати процес формозміни та характер пластичної деформації. Необхідно віддавати перевагу більш пластичному матеріалу для виготовлення складних за формою деталей із забезпеченням максимального терміну роботи.

При розрахунку на міцність не слід завищувати товщину листового матеріалу, а потрібно враховувати ступінь зміцнення, отриману деталлю в процесі деформації, передбачати у конструкції наявність спеціальних ребер жорсткості та бортів.

Конфігурацію деталі слід за можливістю вибирати такою, щоб її розгортка була виготовлена при мінімальному відході.

Слід уніфікувати застосовувані матеріали за товщиною листа та за марками матеріалу.

Допуски на розміри штампованих деталей повинні відповідати економічній точності операцій листового штампування (10–12 квалітет), що забезпечує взаємозамінність більшості штампованих деталей.

4.1.6.2.2 Основні технологічні вимоги до конструкції плоских деталей, одержуваних вирубкою та пробиванням

На рис. 4.2 наведені приклади деталей, виготовлених згинанням.

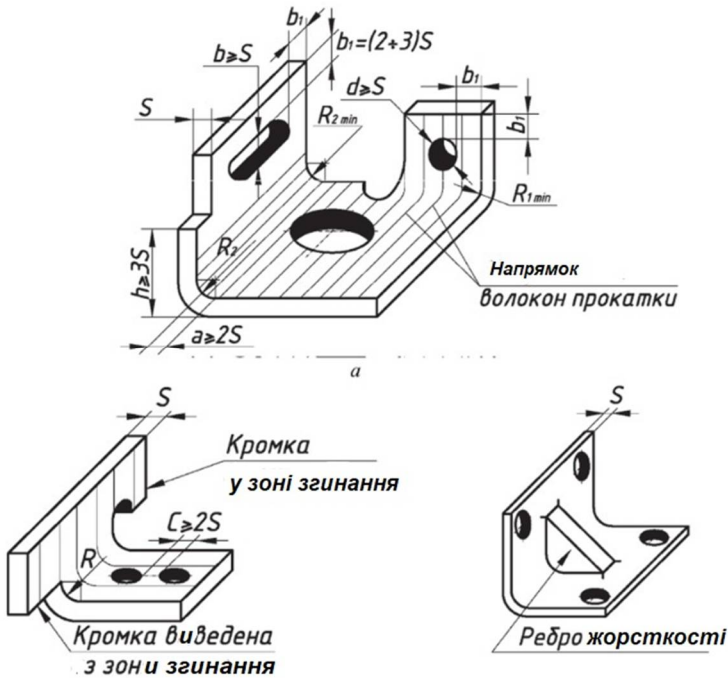
Слід уникати складних конфігурацій (рис. 4.2) з вузькими та довгими вирізами контуру або дуже вузькими прорізами ($b > 2S$).

Розміри отворів у деталі, а також перемички між отворами та краєм деталі повинні бути не менше товщини матеріалу.

Не рекомендується розташовувати отвори близько до контуру, що згинається.

Найменша відстань від краю отвору до загнутої полиці має становити не менш $2S$.

Найменша відстань між отворами при їхній одночасному пробиванні повинна дорівнювати від $2S$ до $3S$.



а – згинання вздовж напрямку прокатки; б – згинання деталей з різною шириною полок; в – згинання з ребром жорсткості

Рисунок 4.2 – Приклади деталей, виготовлених згинанням

4.1.6.2.3 Основні технологічні вимоги до конструкції вигнутих деталей

У більшості випадків мінімальні радіуси мають бути не менш товщини матеріалу S .

При наявності в деталі радіусу, близького до товщини, лінію вигину бажано розташовувати перпендикулярно до волокон прокатки.

При згинанні твердих і мало пластичних металів (бронзи, деяких марок латуней, пружинної сталі тощо) лінія вигину обов'язково повинна розташовуватися поперек волокон прокатки. Найменший радіус вигину у цьому разі становить від $2S$ до $4S$.

При наявності в деталі гнутих частин під взаємно перпендикулярними кутами (рис. 4.2, а) радіус згинання, де волокна металу після прокатки паралельні лінії згину, повинен бути збільшений до значення від $7S$ до $9S$.

Найменша висота полиці, що відгинається, повинна бути не менш $3S$.

При згинанні деталей з різною шириною полиць лінія згину повинна бути зміщена на величину, що виключає попадання кромки широкої полиці в радіусну частину згинання (рис. 4.2, б).

Для збільшення жорсткості гнутих деталей та усунення пружного пружинення рекомендується штампування ребер жорсткості поперек кута згинання (рис. 4.2, в).

4.1.6.2.4 Основні технологічні вимоги до конструкції порожнистих листових деталей, виготовлених витяжкою та формуванням

Слід уникати складних та несиметричних форм, вдаючись до них лише у разі, що виключає застосування іншої менш складної конструкції.

Радіуси закруглень у фланців повинні бути якомога більшими, а радіуси закруглень біля дна можуть бути меншими, отримати їх можна додатковою операцією калібрування.

Слід уникати глибоких витяжок з широким фланцем, оскільки це вимагає великої кількості операцій.

При витяжці прямокутних коробок слід уникати малих радіусів кутових та донних закруглень.

4.1.6.3 Забезпечення технологічності деталей, що виготовляються методом лиття під тиском

При проєктуванні литих деталей слід прагнути максимально можливого зниження їхньої маси і спрощення конфігурації, залишаючи розміри деталі мінімально необхідними з умов розрахункової міцності та інших конструктивних вимог.

При цьому повинні бути враховані всі технологічні особливості лиття та забезпечена можливість застосування простих та дешевих способів отримання якісних литих деталей як у процесі їх виготовлення, так і за подальшої механічної обробки.

Основні принципи конструювання литих деталей полягають у наступному:

- конструкція литої деталі повинна забезпечувати спрямоване затвердіння виливки та бути технологічною;

- зовнішні контури литої деталі повинні бути плавними, що знижує концентрацію залишкових напружень у місцях сполучення прямокутних ділянок, зменшує гальмування усадки при охолодженні форми;

- слід прагнути зменшення загальних габаритних розмірів литої деталі, особливо її висоти, до усунення надмірно виступаючих частин, тонкостінних ребер великої протяжності, глибоких западин і піднутреннів;

- конструкція литої деталі повинна забезпечувати мінімальну кількість роз'ємів моделі, відсутність відокремлених частин, мінімальну кількість стрижнів;

- при конструюванні литих деталей слід дотримуватись «правила тіней»: якщо при освітленні литої деталі паралельними променями у напрямку, перпендикулярному площині роз'єму форми, з'являються тіньові ділянки, це свідчить про недосконалість конструкції, трудомісткість її виготовлення значно збільшиться за рахунок необхідності застосування форми з відокремленими частинами;

- товщину стінок литих деталей слід визначати залежно від механічних та технологічних властивостей сплаву, конфігурації та габаритних розмірів деталі, способу її отримання: надмірно товсті стінки збільшують масу деталі, викликають появу усадочної пухкості та пористості, знижують міцність виробів, а дуже тонкі стінки при литті отримати практично неможливо через великий відсоток браку (незаповнення форми, тріщини та інші дефекти);

- слід прагнути по можливості однакової товщини стінок по всьому перерізу, уникати локального скупчення металу;

- співвідношення діаметрів вписаних кіл у близько розташованих перерізах не повинно перевищувати 1,5;

- для зниження ливарних напружень слід забезпечити вільне усадження елементів виливки; це досягається наданням перегородкам конструкції конічної форми;

– конструкція литої деталі повинна мати ливарні уклони для зручності її вилучення з форми.

4.1.6.4 Забезпечення технологічності друкованих плат

При проектуванні друкованих плат слід враховувати виконання наступних вимог.

Слід обирати тип плати (однобічна, двобічна, багатошарова) в залежності від її конструктивних та функціональних особливостей.

Слід раціонально обирати елементну базу з точки зору її монтажу. Перевагу слід віддавати сучасним елементам для поверхневого монтажу (SMD-елементам).

Слід раціонально обирати марку сортаменту основи плати (марка та товщина ізоляційної основи, товщина фольги).

Габаритні розміри повинні відповідати рядам переважних чисел. Якщо на підприємстві-виготовнику застосовуються уніфіковані заготівлі для плат, слід обирати габаритні розміри з урахуванням їх розмірів.

Усі елементи деталі плати (отвори, друковані провідники, контактні площинки) слід розташовувати з використанням координатної сітки зі стандартним кроком (2,5; 1,25; 0,625 мм). Винятки становлять отвори під жорсткі негнучі виводи елементів, розташування яких не відповідає кроку сітки, а також (у окремих випадках) отвори для кріплення плати до несучої конструкції виробу.

Мінімальні розміри усіх елементів провідного рисунку (ширина провідників, відстані між провідниками, провідником та контактною площинкою) повинні відповідати класу точності плати (з урахуванням вузьких місць), яка, в свою чергу, визначається роздільною здатністю обраної технології виготовлення.

Діаметри монтажних отворів повинні відповідати діаметрам виводів елементів з урахуванням гарантованого зазору для проникнення припою.

Слід прагнути мінімізації типорозмірів монтажних отворів. Їх кількість, за можливістю, не повинна перевищувати трьох.

Для запобігання відшарування друкованих провідників під час автоматизованої пайки співвідношення боків плати не повинно перевищувати 1:5.

При трасуванні плат слід уникати перемичок та інших елементів, які потребують ручної допайки.

Елементи схеми повинні встановлюватися на плату за стандартними варіантами, які не потребують застосування спеціального обладнання та пристосувань для формовки виводів.

Для елементів, які потребують додаткового механічного закріплення, слід застосовувати стандартні елементи кріплення.

4.1.6.5 Забезпечення технологічності складання

Для забезпечення високої технологічності складання слід враховувати виконання наступних вимог.

Членування виробу на складальні одиниці або складальні одиниці на деталі має бути оптимальним. Занадто велика кількість складальних одиниць або деталей у складальній одиниці знижує точність вихідних параметрів та збільшує трудомісткість виготовлення.

З'єднання елементів або складальних одиниць один з одним має бути простим і не вимагати додаткового доопрацювання поверхонь, що сполучаються.

Підходи до місць з'єднання або зчленування елементів повинні бути зручними та дозволяти механізувати чи автоматизувати процеси збирання.

Компонування виробу, вузла має забезпечувати застосування найпрогресивніших методів складання.

Виконання цих вимог передбачає:

- правильний вибір посадок у рухомих та нерухомих з'єднаннях;

- призначення оптимальної точності виготовлення деталей та чистоти поверхонь;

- застосування необхідних методів збирання під час вирішення конкретних задач.

4.1.7 Зв'язок виробничої технологічності з умовами виробництва

Враховуючи вищевикладене, стає зрозумілим, що конструктор може створити якісну, технологічну конструкцію виробу, складальної одиниці і, особливо, деталі, тільки добре знаючи виробництво та технологію виготовлення виробу. Те, що технологічно в умовах одного виробництва, може стати не технологічним за умов іншого.

Головним чином виробнича технологічність пов'язана з типом виробництва.

Будь-яка конструкція, технологічна при крупносерійному та масовому виробництві, заснованому на застосуванні спеціалізованого устаткування, буде нетехнологічною в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва коли використовується універсальне устаткування, тому що спеціалізоване устаткування потребує певних (і іноді дуже великих) затрат на його проектування та виготовлення.

В той же час, конструкція, технологічна при одиничному або дрібносерійному виробництві, передбачає застосування менш ефективних методів формоутворення та складання (механічна обробка, штамповка на універсальних штампах, ручне складання) та висококваліфікованого персоналу, а це значно підвищує витрати в умовах крупносерійного та масового виробництва, коли весь технологічний процес повинен бути розбитий на операції, виконувани персоналом невисокої кваліфікації.

Часткове вирішення цієї проблеми полягає у використанні уніфікованих або стандартних базових несучих конструкцій, які можуть бути виготовлені прогресивними методами та дозволяють забезпечити досить високий рівень технологічності в умовах одиничного або дрібносерійного виробництва.

4.2 Контрольні питання

1 Дайте визначення технологічності виробу. Поясніть його суть.

2 Класифікація технологічності.

3 Як відбувається відпрацювання на технологічність на всіх етапах проектування?

4 Способи оцінки технологічності. Показники технологічності.

5 Загальні методи забезпечення виробничої технологічності.

6 Роль стандартизації та уніфікації у підвищенні виробничої технологічності. Що таке базова несуча конструкція (БНК)? Переваги та недоліки БНК.

7 Чи є застосовується в аналізуємому виробі БНК? Якщо так, наведіть її конструктивні особливості.

8 Назвіть ознаки стандартної, уніфікованої й оригінальної елементних баз. Як кожна з перерахованих елементних баз впливає на технологічність?

9 Способи забезпечення технологічності деталей, що піддаються механічній обробці. Чи є такі деталі у аналізуємому виробі? Як забезпечується їхня технологічність?

10 Способи забезпечення технологічності листових холодно штампованих. Чи є такі деталі у аналізуємому виробі? Як забезпечується їхня технологічність?

11 Способи забезпечення технологічності деталей, що виготовляються методом лиття під тиском. Чи є такі деталі у аналізуємому виробі? Як забезпечується їхня технологічність?

12 Способи забезпечення технологічності друкованих плат. Як забезпечується їхня технологічність у аналізуємому виробі?

13 Способи забезпечення технологічності складання. Як вона забезпечується у аналізуємому виробі?

14 Зв'язок виробничої технологічності з умовами виробництва.

15 Яким типом виробництва характеризується аналізуємий виріб?

16 Назвіть оригінальні деталі й вузли конструкції в аналізуємому виробі. Чи є серед них вузли елементної бази?

17 Які матеріали застосовуються для виготовлення деталей в аналізованому приладі?

18 Які методи формоутворення використовувалися для виготовлення деталей в аналізованому приладі?

19 Назвіть конструкторські рішення, спрямовані на підвищення виробничої технологічності аналізованого приладу.

20 Назвіть невдалі на Ваш погляд конструкторські рішення з позицій виробничої технологічності.

4.3 Порядок виконання роботи

4.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

4.3.2 Проаналізувати об'єкт із точки зору забезпечення виробничої технологічності.

4.3.3 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення виробничої технологічності.

4.3.4 Виявити недоліки конструкції з точки зору забезпечення виробничої технологічності.

4.3.5 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

4.4 Зміст звіту

4.4.1 Тема та мета роботи.

4.4.2 Відповіді на контрольні питання (за вказівкою викладача).

4.4.3 Результати аналізу об'єкта на забезпечення виробничої технологічності.

4.4.4 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

4.4.5 Висновки.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

5.1 Теоретична частина

5.1.1 Ремонтопридатність як складова частина надійності

Ремонтопридатність – це пристосованість виробу до виявлення, усунення й попередження відмов і до виконання ремонтів протягом заданого часу при повному забезпеченні ремонтними засобами і запасними частинами.

Слід зазначити, що ремонтопридатність доцільно забезпечувати не для усіх виробів.

Під час експлуатації деяких з них присутність людини неможлива або може бути пов'язана з небезпекою для життя. Це стосується електронної апаратури штучних космічних об'єктів, ядерних реакторів, безпілотних повітряних літальних апаратів, глибинних батискафів тощо.

Іншою причиною може бути ситуація, коли вартість ремонту перевищує вартість самого виробу, і замість ремонту його доцільно замінити на новий.

Іноді, щоб зберегти комерційну тайну перед конкурентами, фірми, що випускають електроніку, захищають її від можливості розбирання, і її ремонт або взагалі неможливий, або може проводитися лише у сервісних центрах фірми-виготовника.

Крім цього, у сучасному світі поширюється тенденція, коли замість високонадійної ремонтопридатної техніки широким колам споживачів пропонується низко надійна з неможливістю ремонту, так звана, одноразова. В цьому випадку діють економічні механізми: низька надійність сприяє тому, що на такі товари існує постійний попит, що дозволяє випускати їх крупними серіями або навіть у масовому виробництві, а це зменшує собівартість і, як результат, ціну, дозволяючи більшості споживачів часто міняти моделі даного товару.

Але все ж таки для більшості виробів електроніки, мехатроніки, робототехніки тощо забезпечення ремонтопридатності є однією з найважливіших вимог.

Ремонтопридатність є складовою частиною **надійності**.

Основним поняттям, що використовується в теорії надійності, є поняття *відмови*, тобто втрати об'єктом працездатності.

Подія, що являє собою порушення справного стану об'єкта при збереженні його працездатності, називається *ушкодженням*.

Відмови конструкції зазвичай мають загальний фізико-хімічний механізм.

Відмови, що відрізняються одна від одної моментом виникнення на протязі терміну служби виробу, підрозділяються на *раптові* і *поступові*.

Раптові відмови виникають внаслідок стрибкоподібної зміни заданих параметрів пристрою, наприклад, обривів, коротких замикань, пробоїв, порушень контактів і т. ін. Вони мають випадковий катастрофічний характер і складають дві третини усіх відмов, що спостерігаються при експлуатації довгостроково використовуваних складних виробів.

Поступові відмови характеризуються поступовою зміною одного чи декількох параметрів, внаслідок останні виходять за встановлені межі. Поступові відмови визначаються процесами електричного і механічного зносу і старіння, а також внутрішніми і зовнішніми впливами: електричним і тепловим режимами роботи апаратури; температурою, вологістю, тиском, складом навколишнього середовища; вібраціями й ударами, впливами різних полів і т. ін.

5.1.2 Поняття ремонту. Види ремонтів

Процес переведення об'єкта з непрацездатного в працездатний стан називають *відновленням*, яке може відбуватися під час *ремонту* або при заміні частини, яка відмовила, новою.

Апаратура з високою ремонтпридатністю дозволяє проводити її ремонти найпростішими способами і з мінімальними витратами з боку обслуговуючого персоналу. Висока ремонтпридатність збільшує ступінь надійності апаратури, якщо час на ремонт буде менше, ніж це передбачено ймовірністю усунення відмови.

Ремонт апаратури під час експлуатації складається з двох видів – *поточного і профілактичного*.

Поточний ремонт проводиться при виявленні несправності, яку необхідно усунути для відновлення працездатності апаратури.

Профілактичний ремонт складається з ряду регламентних робіт, обсяг і терміни виконання яких заздалегідь передбачаються для даної апаратури. Такий вид ремонту включає заміну деяких деталей, термін служби яких минув, незалежно від їхнього фактичного стану, періодичне регулювання, підстроювання, чищення, змащення. Під час профілактичного ремонту усуваються усі помічені несправності. Профілактичний ремонт значною мірою попереджає поточний, а його якість дуже впливає на повторюваність і середню тривалість часу поточного ремонту. Цими двома видами ремонту й обумовлюється технічне обслуговування апаратури, задачею якого є забезпечення передбачених для апаратури умов експлуатації, усунення виявлених несправностей і попередження їхнього виникнення.

5.1.3 Фактори, що визначають ремонтпридатність

Ремонтпридатність визначається:

- засобами перевірки функціональних і параметричних величин системи;
- часом, необхідним для відшукування несправності й з'ясування її характеру;
- доступом до змінних вузлів із мінімальною витратою часу;
- взаємозамінністю вузлів і зручністю їхньої заміни;
- забезпеченістю й станом ремонтного інструмента й устаткування;
- укомплектованістю запасними частинами;
- умовами розміщення апаратури в апаратних приміщеннях.

5.1.4 Критерії ремонтпридатності

Ремонтпридатність заздалегідь не може бути задана в кількісній формі, однак її рівень досить точно може бути визначений такими показниками, як **ймовірність відмов**, **готовність системи до роботи** і **часом виконання робіт** з відновлення працездатності. Рівень ремонтпридатності визначається на ранній стадії проєктування – при компонуванні виробу й у тім обсязі, як це вимагають технічні умови.

Обсяг робіт із відновлення безвідмовності системи достатньо характеризується **ймовірністю відмов** і **середнім часом відновлення** на одну відмову.

Часом відновлення називають час, затрачений на виявлення, пошук причин і усунення наслідків відмови.

Для складної РЕЗ час відновлення не повинен перевищувати, як правило, 15...30 хв. Усі засоби підвищення ремонтпридатності зводяться до зниження часу відновлення.

Якщо ймовірність безвідмовної роботи системи знаходиться в межах:

$$Q(t) + P(t) = 1 \quad (5.1)$$

то очевидно, що ймовірність відмови системи $Q(t)$ може бути записана у вигляді:

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (5.2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи визначається співвідношенням:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (5.3)$$

де λ – інтенсивність відмов, 1/год;
 t – час безвідмовної роботи системи.

Відповідно:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5.4)$$

За результатами статистики середній час відновлення апаратури на одну відмову визначається за формулою:

$$t_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (5.5)$$

де t_i – час, витрачений на усунення i -ї відмови;
 n – кількість відмов за визначений проміжок часу.

Точне прогнозування надійності складної РЕЗ ускладнене. Найчастіше досить визначення такого параметра надійності апаратури, як напрацювання на відмову:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \quad (5.6)$$

Зв'язок між надійністю й ремонтпридатністю характеризується коефіцієнтом готовності апаратури до роботи:

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + t_B} \quad (5.7)$$

де t_B – час, витрачений на відновлення РЕЗ під час ремонту.

5.1.5 Комплектація запасними частинами, інструментом і пристосуваннями (ЗІП)

ЗІП входить до складу кожної системи і забезпечує необхідну надійність резервуванням при експлуатації апаратури на відстані від бази постачання. Обсяг ЗІП визначається заданою надійністю й складністю. До складу ЗІП входять:

- змінні вузли чи блоки, окремі елементи й деталі конструкції виробу;

- комплект загального й спеціального ремонтного інструмента;

- приналежності, використовувані під час експлуатації і відбудовного ремонту апаратури;

- контрольно-вимірювальна апаратура для перевірки й регулювання режимів роботи системи після відбудовного ремонту.

За призначенням ЗІП поділяють на:

- одиночний (ЗІП поточного ремонту), що входить до складу виробу і призначений для підтримки експлуатаційної надійності апаратури. Цей ЗІП постачається безпосередньо з виробом і в міру використання поповнюється відповідно до його опису;

- груповий (базовий), призначений для профілактичного ремонту з метою забезпечення довговічності апаратури. Такий ЗІП розраховується на групу виробів і на відміну від одиночного комплектується укрупненими блоками, вузлами й деталями, призначеними для заміни зношених і тих частин апаратури, що прийшли в непридатність (не відновлюваних).

5.1.6 Конструкторські міри забезпечення ремонтопридатності

Ремонтотпридатність забезпечується на всіх етапах створення виробів.

На етапі розробки схеми електричної вона забезпечується вибором стандартної елементної бази, яка задається інженером – радіотехніком. Але максимальна роль у забезпеченні ремонтотпридатності належить діяльності конструктора.

Ремонтотпридатність забезпечується:

- неможливістю випадкового розкриття під час транспортування чи роботи;

- легкоз'ємністю виробу з об'єкта;

- легкорозбірністю виробу (легкоз’ємністю кришок, кожухів, панелей);
- застосуванням невиспадаючих гвинтів, стандартного кріплення;
- легкодоступністю до елементів, що мають низьку надійність;
- простотою заміни ЕРЕ;
- вибором ЕРЕ приблизно рівних за надійністю, що дозволить знизити кількість профілактичних оглядів чи ремонтів до мінімуму;
- маркіруванням схемних позначень елементів на внутрішніх стінках виробу;
- маркуванням (частковим чи повним) схемних позначень елементів на друкованих платах;
- застосуванням склотекстоліту для виготовлення друкованих плат, що допускає більшу кількість перепайок;
- застосуванням кріплення плат, що забезпечує їх легкоз’ємність (за направляючими, за допомогою поворотних кронштейнів і т. ін.);
- наявністю тестових рознімів, контрольних точок;
- легкістю контролю робочих параметрів;
- можливістю послідовного контролю усіх вузлів пристрою, швидкою локалізацією несправності;
- необхідністю невеликої кількості контрольних приладів для ремонту (бажано не більше 3);
- застосуванням гнучких, багатожильних, кольорових проводів із запасом довжини на дві – три перепайки;
- наявністю ремонтної документації (схеми електричної принципової з розбивкою на плати за функціональною ознакою, карт робочих режимів і т. ін.).

5.2 Контрольні питання

- 1 Що таке ремонтпридатність?
- 2 Чи завжди треба забезпечувати ремонтпридатність? Назвіть випадки, коли це недоцільно.
- 3 Що таке відмова? Ушкодження? Чим вони відрізняються?
- 4 Наведіть види відмов. Як вони проявляються?
- 5 Наведіть види ремонту. Які види робіт виконують при кожному з видів ремонту?

6 Наведіть фактори, що визначають ремонтопридатність.

7 Які показники характеризують рівень ремонтопридатності?

8 Які показники характеризують обсяг робіт із відновлення безвідмовності системи?

9 Що таке ймовірність безвідмовної роботи? Як вона визначається?

10 Наведіть зв'язок між ймовірністю безвідмовної роботи та ймовірністю відмов.

11 Що таке середній час відновлення апаратури на одну відмову? Як він визначається?

12 Що таке напрацювання відмову? Що характеризує цей показник? Як він визначається?

13 Що таке коефіцієнт готовності? Як він визначається?

14 Як комплектація ЗІП впливає на ремонтопридатність?

15 Чи присутня комплектація ЗІП у об'єкті аналізу? Що входить до її складу?

16 Яким чином можна забезпечити легкорозбірність? Як вона забезпечується у об'єкті аналізу?

17 Яким чином можна забезпечити легкодоступність? Як вона забезпечується у об'єкті аналізу?

18 Які види маркування застосовуються у об'єкті аналізу? Способи їх нанесення.

19 Яким чином можна забезпечити контролепридатність? Як вона забезпечується у об'єкті аналізу?

20 Що входить до складу ремонтної документації.

5.3 Порядок виконання роботи

5.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

5.3.2 Проаналізувати об'єкт на відповідність вимогам ремонтопридатності.

5.3.3 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог виробничої технологічності та ремонтопридатності.

5.3.4 Виявити недоліки конструкції з точки зору вимог виробничої технологічності та ремонтопридатності.

5.3.5 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

5.4 Зміст звіту

5.4.1 Тема та мета роботи.

5.4.2 Відповіді на контрольні питання за вказівкою викладача.

5.4.3 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам технологічності.

5.4.4 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

5.4.5 Висновки.

6 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ЕРГОНОМІКИ ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕСТЕТИКИ

6.1 Теоретична частина

6.1.1 Поняття ергономіки та технічної естетики

Зовнішнє середовище, що оточує людину під час роботи з технікою, впливає на організм людини, на його фізіологічні функції, психіку, продуктивність праці. З широким розвитком нової техніки виникла необхідність приведення у відповідність конструкцій виробів, їх виробництва і виконуваних ними функцій з трудовими характеристиками людини. Ще в доісторичні часи зручність і відповідність знарядь праці потребам людини були питанням життя й смерті. А в майстрів Древньої Греції і середньовічних ремісників поняття краси й користі, форми й змісту виробу були нерозривно пов'язані.

Ці питання поєднує *ергономіка* – прикладна наука, що вивчає людину і її діяльність із метою оптимізації знарядь, умов і процесу праці.

Сучасна ергономіка в промисловості розглядає ряд проблем, пов'язаних із системою "людина-машина". Людина, машина й середовище розглядаються як складне функціональне ціле, у якому провідна роль належить людині.

Оптимізація цього процесу передбачає поставити людину в найбільш сприятливі умови при виконанні функціональних завдань. Вона включає розробку науково обґрунтованих організаційно-технічних вимог і рішень до знарядь і процесів праці, навколишнього середовища з урахуванням особливостей людини.

Останнім часом все більше уваги приділяється проблемам *естетики сфери праці* і перебудови виробничого середовища на естетичних основах. Важливе значення для поліпшення умов праці має *технічна естетика* – наука, що вивчає соціально-культурні, технічні й естетичні проблеми, формування гармонічного предметного середовища, створюваного засобами виробництва.

Технічна естетика включає:

- **архітектоніку** (урахування форм, пропорцій, гармонійність планування);
- **безпеку і нешкідливість** роботи (огороження небезпечних зон, запобіжні пристрої);
- **виробничий мікроклімат**.

Ще одним важливим аспектом взаємодії техніки та людини займається **техніка безпеки** – сукупність заходів і правил щодо забезпечення гідного рівня безпеки праці, захисту від виробничих травм підвищує продуктивність праці в цілому. Техніка безпеки спирається на певні вимоги до специфіки діяльності людини, умов праці тощо.

Заходи щодо забезпечення вимог техніки безпеки при конструюванні РЕЗ наведені у відповідних стандартах.

6.1.2 Ергономічні показники

Ергономічні показники конструкції поділяються на:

- **гігієнічні** (освітленість, вентиляємість, температура, напруженість електричних і магнітних полів, токсичність, шум, вібрації);
- **антропометричні** (відповідність конструкції виробу розмірам і формі тіла людини і його частин, що входять у контакт із виробом);
- **фізіологічні** (врахування просторових та силових показників керуючих рухів оператора);
- **психофізіологічні** (відповідність конструкції виробу можливостям людини сприймати та оцінювати інформацію);
- **психологічні** (відповідність конструкції виробу закріпленню і формуванню навичок людини сприймати та переробляти інформацію).

Ергономічні показники людини служать для оцінки узгодженості її можливостей з вимогами, обумовленими особливостями техніки. Людина виконує свої функції на робочому місці, під яким розуміється зона, оснащена технічними засобами. Робоче місце повинне бути пристосоване для конкретного виду праці і для працівників визначеної кваліфікації з урахуванням їх особливостей.

З усіх ергономічних показників найважливішими є психофізіологічні показники людини і їх домінуючий фактор – зір. Це обумовлене тим, що за допомогою зору людина одержує від 30% до 90 % всієї інформації. Тому при проектуванні виробів необхідно виконати ергономічний аналіз створюваної конструкції і переконатися в тому, що:

- вибір форми виробу й співвідношення розмірів його сторін, колірне рішення передньої панелі й корпуси забезпечують оптимальний режим роботи оператора;

- розташування приладів і органів керування забезпечує зручне положення людини при роботі;

- робоча площина знаходиться на зручній висоті з урахуванням робочого положення й відстані до очей;

- органи керування розміщені в межах досяжності з урахуванням положення тіла оператора при роботі;

- форма, розміри й матеріал органів керування відповідають прикладеному зусиллю, припустимому з погляду фізіології;

- конструкція забезпечує зручність обслуговування й ремонту (доступність, ступінь ризику, освітленість і т. ін.);

- органи керування й індикації розміщені на оптимальній відстані в полі зору, розподіли шкал видні досить чітко, індикатори розташовані досить близько від відповідних органів керування;

- в однотипній апаратурі органи керування розташовані однаково і за їх положенням можна швидко визначити ситуацію (наприклад, ВКЛ/ВИКЛ);

- рука при переміщенні органу керування не закриває шкалу індикатора;

- режим роботи оператора допускає правильне чергування роботи й відпочинку, а також динамічних і статичних видів навантаження;

- існує відповідність між переміщенням органів керування і викликаними ними ефектами;

- органи керування й індикації розміщені в послідовності, що відповідає порядку виконання операцій;

- фізичне й психофізіологічне навантаження при роботі відповідає можливостям операторів (чоловіків, жінок, молодих і літніх працівників).

6.1.3 Художнє оформлення конструкцій

При розробці зовнішнього оформлення конструкції виробів важливо врахувати різні обмеження (соціально-економічні, ергономічні, конструктивні, технологічні), а також фактори технічної естетики, що впливають на конструкцію через суб'єктивні особливості художника-конструктора (знання в області технічної естетики, ергономіки, конструювання електронної апаратури, художніх технологічних можливостей виробництва, соціальних проблем і т. ін.).

Якість художнього оформлення (його композиції) характеризується співвідношенням краси й користі (форми й змісту), тобто гармонійністю.

Теорія композиції базується на категоріях (тектоніка, об'ємно-просторова структура, колірна гармонія), що відбивають найістотніші зв'язки і відносини форми і є загальними факторами технічної естетики.

Тектоніка – зорове відображення роботи конструкції й матеріалу у формі, тобто зв'язок форми й змісту.

Об'ємно-просторова структура характеризує взаємодію форми і її елементів між собою і з навколишнім простором.

Колірна гармонія реалізується з урахуванням вимог ергономічних характеристик зору. Вміло сполучаючи ті чи інші кольори, можна створити враження легкості й ваги, простору й тісноти і т. ін. Колір, необхідний для виділення потрібних деталей (елементів, що знаходяться під небезпечною напругою, найважливіших кнопок і клавіш). Колір є засобом естетичного впливу, піднімає чи знижує емоційний тонус, може викликати творчий підйом. Правильне застосування кольору підвищує конкурентоздатність виробу. Особливо ретельно повинні бути продумані колірні контрасти. Найдоцільніше застосовувати гармонуючі відтінки одного кольору (наприклад, світло-сірий колір панелі і темно-сірий, сіро-голубий колір корпусу або світло-бежевий колір панелі і темно-бежевий, світло-коричневий колір корпусу і т. ін.).

До засобів композиції відносять форму частин і цілого, їх колір, тон, взаємне розташування частин, ритм чергування, симетрію, асиметрію, пропорційність, масштабність, фактуру, пластику і т. ін. Різні засоби композиції одержують, комбінуючи різні засоби композиції.

Ритм – засіб, що забезпечує виділення і зв'язок елементів форми шляхом їх повторення, чергування, наростання, зменшення. Оскільки сутність ритму полягає в асоціації з рухом, він надає конструкції статичність або динамічність.

Симетрія – організація елементів конструкції, заснована на правильному їх розміщенні щодо центра чи осі. Розрізняють відносну симетрію, коли щодо осі чи площини врівноважуються елементи приблизно однакові (за формою, розміром, кольором) і контрастну симетрію, коли зрівноважування виконується встановленням співвідношення величини і взаємного положення різних форм.

Пропорційність – домірність частин і форм між собою, а також між собою і цілим. Від удало знайденого співвідношення частин виробу в значній мірі залежать композиційна цілісність і гармонійність усього виробу. В основі пропорційності лежать закономірності росту: органічного (рослини, тварини) і неорганічного (кристали). Закономірність органічного росту знаходить своє відображення в динаміці, неорганічного – у статиці.

Масштабність – зорово-просторова характеристика розмірів конструкції виробу. Джерела масштабності – у закономірній будівлі природи, де всякій зміні кількісних ознак організмів відповідають зміни якісних особливостей форми. Частини людського тіла раніше були основою усіх вимірів (фут, дюйм, долоня, аршин, сажень, лікоть). Метрична система не пов'язана з розмірами людського тіла, тому для одержання гармонічного виробу необхідно використовувати масштаб, що дозволяє зіставити розміри виробів із розмірами людського тіла. Масштабні характеристики пов'язані з деталями, розміри яких обумовлені технічними і ергономічними вимогами. Наприклад, клавіші, кнопки мають відносно постійні розміри незалежно від розмірів виробу. Такі елементи зводяться показниками масштабу.

Фактура й пластика служать для створення нюансних способів обробки, фактура – для створення тонких контрастів, наприклад, протиставлення матової й полірованої поверхні того самого матеріалу.

Таким чином, у розпорядженні художника-конструктора мається великий набір засобів і способів технічної естетики, за допомогою яких можна забезпечити ергономічність конструкції і її художні якості.

6.1.4 Особливості зовнішнього оформлення професійних і побутових МРТС

З погляду специфіки зовнішнього оформлення усі МРТС підрозділяються на професійні й побутові. При конструюванні професійних МРТС здебільшого враховуються ергономічні параметри, а при конструюванні побутових МРТС – естетичні якості.

6.1.4.1 Конструювання професійних МРТС

Робота оператора на професійних МРТС у загальному випадку полягає у виконанні диспетчерських функцій: спостереження за надходженням інформації, переробка інформації й прийняття рішень, виконання прийнятих рішень.

Основною вимогою є розміщення елементів індикації на лінії, що проходить через вісь очей.

При розташуванні індикаторів варто враховувати їх пріоритет:

- значення для досягнення мети;
- ціна помилки оператора;
- частота використання;
- терміновість використання інформації;
- надійність роботи індикаторів.

Найпріоритетніші індикатори розташовують прямо перед оператором, менш важливі – ліворуч, ще менш важливі – праворуч.

Ефективність виконання операцій керування в значній мірі залежить від конструкції органів керування й характеру їх розміщення друг щодо друга і щодо органів індикації.

Панель органів керування повинна мати нахил до горизонтальної площини від 15 до 30 градусів.

Органи керування повинні знаходитися в межах досяжності рук оператора. Органи керування розподіляються за своїм призначенням на виконавчі (кнопки, тумблери, клавіші) й регулювальні (ручки, перемикачі, клавіші). До елементів керування пред'являються вимоги швидкості передачі інформації від оператора, надійності роботи, естетичності, технологічності конструкції. За конструктивною реалізацією елементи керування доцільно розділити на керовані одним пальцем (натискні, пересувні), двома і великим числом пальців (поворотні, багатообертові, підйомні).

З перемикачів другої групи найбільше застосування знайшли ручки для плавного й дискретного регулювання.

Приблизні параметри ручок:

- діаметр від 5 мм до 10 мм; максимальний до 70 мм);
- висота від 12 мм до 20 мм;
- необхідне оптимальне зусилля від 3 Н до 4 Н; максимальне до 25 Н.

Робоча поверхня ручок плавного регулювання повинна мати зручні для захоплення пальцями насічки чи рифлення.

Відстань між краями сусідніх ручок повинна бути не менш 20 мм.

Конструкція тумблерів залежить від виконуваних ними функцій. Припустиме зусилля переключення не повинне перевищувати 5 Н, а довжина важеля – 15 мм.

Перемикачі дискретного типу (багатопозиційні) повинні мати ручки – покажчики, довжина приводного елемента яких повинна бути не менш 20 мм і висота – не менш 10 мм.

У МРТС найбільше застосування знайшли кнопки чотирикутної форми із закругленими кутами чи крайкою. Діаметр (діагональ) кнопок вибирають, виходячи з довжини й ширини пальців у межах від 8 мм до 30 мм. Зусилля натискання часто використовуваних кнопок повинне складати до 6 Н, рідко використовуваних і найбільш відповідальних – від 6 Н до 12 Н, глибина вдавлювання кнопок від 2 мм до 5 мм і 6 мм до 12 мм відповідно. Чим швидше й частіше оператору приходится працювати з кнопками, тим більші розміри вони повинні мати.

При установці тумблерів і кнопок варто керуватися наступними міркуваннями:

- установка в горизонтальні ряди доцільніша за установку у вертикальні ряди, тому що в першому випадку зменшується ймовірність помилки;

- важелі тумблерів у будь-якому робочому положенні і кнопки повинні знаходитися на відстані мінімум від 20 мм до 35 мм одне від одного.

Цілісність панелі керування досягається завдяки умілому використанню співвідпорядкованості другорядних елементів головним, пропорційності й масштабності. Для передньої панелі

ведучою є її поверхня, відомим – шкали, індикатори, кнопки, перемикачі, ручки і т. ін. Серед відомих можна виділити найбільш значимі елементи. Пропорції у вертикальному напрямку є більш значимими, ніж у горизонтальному. Основним засобом досягнення пропорційності є геометрична подoba на основі використанні рядів: арифметичних ($H1-H2 = H2-H3$), геометричних ($H1:H2 = H2:H3$).

Одним із методів пропорційності є використання домірності всього пристрою і його частин (модулів). Статичність при конструюванні передніх панелей досягається шляхом симетричного розташування рядів клавiш і елементів індикації щодо осі (площини) симетрії або контрастного симетричного розташування різногабаритних і різнотонових елементів.

При конструюванні панелі керування в цілому необхідно приймати до уваги:

– взаємне розташування органів індикації і керування з урахуванням послідовності роботи з ними для того, щоб органи зору й керування людини рухалися в одному напрямку без різких стрибків і зигзагів;

– при роботі з двома і більш ручками регулювання руки оператора не повинні перехрещуватися;

– при роботі двома руками варто прагнути того, щоб рухи оператора були симетричні і синхронні;

– при наявності декількох рознесених пультів їх склад і розташування повинні бути добре продумані.

При зовнішньому оформленні професійних МРТС необхідно звертати увагу на ергономічність і естетичність допоміжних елементів – з'єднувачів, ручок для перенесення, елементів кріплення, опорних ніжок і т. ін.

6.1.4.2 Зовнішнє оформлення

При оформленні виробів необхідно враховувати інтереси передбачуваного споживача:

– технічні параметри (звукові стовпчики, регулювання якості звуку, відеозапис і т. ін.);

– технічні й естетичні параметри (престижне оформлення);

– задоволення від самого процесу спілкування з апаратурою (наявність великої кількості елементів керування й індикації, "приладове" оформлення).

Колірне оформлення повинне враховувати інтер'єр. Щоб апаратура підходила під будь-який інтер'єр, іноді йдуть на "нейтральне" приладове оформлення побутової апаратури.

В даний час відпрацьовування зовнішнього оформлення здійснюється на всіх етапах конструювання. На стадії ескізного проектування вивчаються ТЗ, художньо-конструкторські аналоги і прототипи, каталоги, проспекти, патентна інформація. На стадії технічного проектування ескізний проєкт коректується з переліком конкретних конструкторсько-технологічних вимог. При цьому остаточно вибирають форму виробу і його колірне рішення з урахуванням технологічних можливостей виробництва. У результаті одержують повний комплект художньо-конструкторської документації, необхідної для розробки робочого проєкту. На етапі розробки робочої документації і виготовлення експериментального зразка дизайнер дає консультацію і здійснює нагляд за збереженням задуму технічного художньо-конструкторського проєкту, контролює й візує конструкторську й технологічну документацію, оформляє заявку на промисловий зразок.

6.2 Контрольні питання

- 1 Що вивчає ергономіка?
- 2 Що вивчає технічна естетика?
- 3 Складові частини технічної естетики.
- 4 Що вивчає техніка безпеки?
- 5 Наведіть класифікацію ергономічних показників.
- 6 Які ергономічні показники є найважливішими при роботі з РЕЗ?
- 7 Які вимоги при проектуванні висуваються з точки зору психофізіологічних показників?
- 8 Основні категорії художнього конструювання: тектоніка та об'ємно-просторова структура. Засоби їх реалізації.
- 9 Що таке колірна гармонія?
- 10 Основні категорії художнього конструювання: ритм, симетрія, пропорційність. Засоби їх реалізації.
- 11 Основні категорії художнього конструювання: масштабність, фактура й пластика. Засоби їх реалізації.
- 12 Особливості зовнішнього оформлення професійних МРТС
- 13 Особливості зовнішнього оформлення побутових МРТС.

- 14 Види органів керування.
- 15 Вимоги до розташування органів керування
- 16 Види індикаторів.
- 17 Вимоги до розташування індикаторів.
- 18 Пропорційність та масштабність при компонованні панелей керування.
- 19 Загальні вимога до компоновання панелей керування.
- 20 Особливості колірною оформлення.

6.3 Порядок виконання роботи

- 6.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.
- 6.3.2 Проаналізувати об'єкт на відповідність вимогам ергономіки та технічної естетики.
- 6.3.3 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог ергономіки та технічної естетики.
- 6.3.4 Виявити недоліки конструкції з точки зору вимог ергономіки та технічної естетики.
- 6.3.5 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

6.4 Зміст звіту

- 6.4.1 Тема та мета роботи.
- 6.4.2 Відповіді на контрольні питання за вказівкою викладача.
- 6.4.3 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам ергономіки та технічної естетики.
- 6.4.4 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.
- 6.4.5 Висновки.

ЛІТЕРАТУРА

1 ДСТУ 3943-2000 Дизайн і ергономіка. Склад, виклад та зміст документації. [Чинний від 2001–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 38 с.

2 ДСТУ 3944-2000 Дизайн і ергономіка. Правила виконання дизайн-ергономічних робіт під час розроблення та поставлення продукції на виробництво. [Чинний від 2001–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2001. 31 с.

3 ДСТУ 7655:2014 Вироби електронної техніки. Загальні вимоги щодо надійності та методи випробування. [Чинний від 2014–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2014. 9 с.

4 ДСТУ 8216:2015. Вироби електронної техніки. Класифікація за умовами застосування та вимоги стійкості до зовнішніх впливових чинників. [Чинний від 2017–01–04]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2017. 11 с.

5 Ольшевський С.В. Конструювання радіоелектронних засобів : конспект лекцій за курсом. Київ : Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2014. 99 с.

6 Конструювання та технологія виробництва техніки реєстрації інформації: У 3-х кн. : навчальний посібник. / Є.М. Травніков та ін.; за загальною редакцією В. С. Лазебного. К.: «КАФЕДРА», 2015. Кн. 2. Основи конструювання. 285 с.: іл.

7 Ганжа С.М. Основи конструювання електронних засобів : підручник. Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. 2011, 491 с.

8 Хіль М.І., Арушанов О.П., Ганжа С.М., Герасименко Є.П. Навчальне проектування радіоелектронних апаратів : навч. посіб. Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Технол. ін-т., 2011. 227 с.

9 Матвійків М.Д. Елементи та компоненти електронних пристроїв [Текст]: підручник / М.Д. Матвійків, Б.С. Вус, О.М. Матвійків. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 496 с.

10 Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. – 357 с.