

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни

"Проектування телекомунікаційних та радіотехнічних систем",
цикл 2 "Забезпечення технологічності"
для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіотехніка» освітніх програм «Радіоелектронні апарати та засоби»,
«Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Проектування телекомунікаційних та радіотехнічних систем", цикл 2 "Забезпечення технологічності" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітніх програм «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки» усіх форм навчання / Уклад. : Ірина ПОСПЕСВА, Олександр МАЛИЙ, Станіслав ШАПТАЛА. – Запоріжжя : НУЗП, 2023. – 111 с.

Укладачі: Ірина ПОСПЕСВА, ст. викладач;
Олександр МАЛИЙ, к.т.н., доц.
Станіслав ШАПТАЛА, асистент

Рецензент: Наталія ФУРМАНОВА, канд. техн. наук, доцент;

Відповідальний за випуск: Микола ЄФИМЕНКО, д.т.н, зав. каф.
ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 8 від 01.06.23 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФРЕТ
протокол № 7 від 02.06.23 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Загальні відомості.....	5
Вміст лабораторних робіт та порядок їх виконання	6
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ	8
1.1 Теоретична частина.....	8
1.1.1 Визначення технологічності. Види технологічності	8
1.1.2 Оцінка технологічності.....	10
1.1.3 Загальні методи забезпечення виробничої технологічності	14
1.1.4 Стандартизація, уніфікація і типізація як шляхи підвищення технологічності.....	16
1.1.5 Технологічність формоутворення деталей	18
1.1.6 Зв'язок виробничої технологічності з умовами виробництва.....	30
1.2 Контрольні питання.....	31
1.3 Порядок виконання роботи	31
1.4 Зміст звіту.....	32
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ.....	33
2.1 Теоретична частина.....	33
2.1.1 Ремонтопридатність: основні терміни та визначення	33
2.1.2 Поняття ремонту. Види та методи ремонтів.....	34
2.1.3 Показники ремонтнопридатності	36
2.1.4 Забезпечення ремонтнопридатності	37
2.2 Контрольні питання.....	47
2.3 Порядок виконання роботи	48
2.4 Зміст звіту.....	48
3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕРГОНОМІКИ ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕСТЕТИКИ	49
3.1 Теоретична частина.....	49
3.1.1 Основні терміни та визначення	49
3.1.2 Операції, які виконує оператор.....	50
3.1.3 Ергономічні показники.....	52
3.1.4 Органи керування.....	66

3.1.5 Системи відображення інформації	74
3.1.6 Організація робочого поля оператора	83
3.1.7 Елементи художнього конструювання	93
3.2 Контрольні питання.....	107
3.3 Порядок виконання роботи	109
ЛІТЕРАТУРА	111

ВСТУП

Загальні відомості

Сучасні радіоелектронні засоби (РЕЗ), 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 "розпредмечують знання", 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 РЕЗ 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 РЕЗ, визначаються її призначенням, областю застосування, умовами експлуатації, типом виробництва і підрозділяються на наступні групи:

- вимоги до показників призначення РЕЗ, безпосередньо пов'язані з функціональним призначенням розроблювального виробу;

- вимоги з надійності РЕЗ, 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 розрішення 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 РЕЗ; навчитися аналізувати вироби середньої складності на відповідність вимогам забезпечення захисту від дестабілізуючих факторів (захист від теплових, механічних впливів, вологості), а також вимогам забезпечення виробничої й експлуатаційної технологічності (виробнича технологічність, ремонтпридатність, вимоги ергономіки та технічної естетики).

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 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 4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ

1.1 Теоретична частина

1.1.1 Визначення технологічності. Види технологічності

Технологічність конструкції виробу - сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при проектуванні, 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.

По відношенню до виробу розрізняють *технологічність усього виробу*, *технологічність конструкції окремих деталей і складальних одиниць*, а також *технологічність конструкції по процесу виготовлення*.

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

Розрізняють *виробничу* і *експлуатаційну технологічність*. Перша проявляється в скороченні витрат при підготовці та виготовленні виробів, друга - в скороченні витрат на обслуговування та ремонт.

При відпрацюванні виробу на технологічність для умов виробництва необхідно враховувати:

- обсяги випуску та рівень спеціалізації робочих місць;
- види заготовок і методи їх отримання;
- види та методи обробки;
- види та методи складання, монтажу, налагодження, контролю та випробувань;
- можливість використання типових технологічних процесів, наявного технологічного обладнання та оснащення;
- можливість механізації та автоматизації процесів виготовлення та технологічної підготовки виробництва;

- умови матеріально-технічного забезпечення;
- кваліфікаційний рівень робітників.

При розгляданні РЕЗ як об'єкта експлуатації аналізуються умови роботи з апаратурою, зручність обслуговування, ремонту, вимоги техніки безпеки, можливості зберігання та транспортування.

Стандарти передбачають обов'язкове відпрацювання виробів на технологічність на всіх стадіях їх створення з метою підвищення продуктивності праці, зниження витрат і часу на проектування, 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 МРТС 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 уточнюється номенклатура уніфікованого кріплення і типових елементів; аналізується можливість забезпечення технологічності зборки (виключення проміжної розборки, вибір способів базування й фіксування, методів регулювання); устанавлюються економічно доцільні способи одержання заготівель; відбувається поелементне відпрацювання конструкцій деталей і вузлів на технологічність.

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

1.1.2 Оцінка технологічності

Оцінка технологічності може бути:

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

1.1.2.1 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.

1.1.2.2 Кількісна оцінка технологічності

Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу РЕЗ здійснюється за допомогою показників технологічності, які визначаються стандартами і розділяються на конструкторські і технологічні. Так, наприклад, до конструкторських показників технологічності відноситься коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D} \quad (1.1)$$

де E_y, D_y – кількість уніфікованих складальних одиниць та деталей відповідно;

E, D – загальна кількість уніфікованих складальних одиниць та деталей у виробі.

Прикладами технологічних показників можуть бути, наприклад, коефіцієнт застосованості технологічних операцій K_{TO} або коефіцієнт автоматизації і механізації K_{MA} , які визначаються за формулами (1.2) та (1.3) відповідно.

$$K_{TO} = \frac{T_{TO}}{T_B} \quad (1.2)$$

де T_{TO} – трудомісткість типових технологічних операцій при виготовленні виробу;

T_B – загальна трудомісткість виготовлення виробу.

$$K_{MA} = \frac{T_{MA}}{T_B} \quad (1.3)$$

де $T_{МА}$ – трудомісткість операцій, що виконуються на автоматичному або автоматизованому устаткуванні.

Крім того, показники технологічності поділяють на основні та додаткові.

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

- собівартість конструкції;
- трудомісткість виготовлення конструкції;
- показники 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 освоєності 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 (прорівняльний) 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:

$$K_k = \frac{\sum K_i \cdot \varphi_i}{\sum \varphi_i} \quad (1.4)$$

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.

1.1.3 Загальні методи забезпечення виробничої технологічності

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

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

– *уніфікації* 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;

– створенні *параметричних рядів* на основі базової конструкції;

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

1.1.3.2 Раціональне 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.

1.1.3.3 Застосування раціональних за формою та елементами конструкцій деталей, яке полягає у:

- виборі розмірів та форми компонентів, деталей і вузлів конструкції з урахуванням економічно доцільних для заданих умов виробництва способів формоутворення;
- скороченні об'ємів трудомісткої механічної обробки та переході до прогресивних методів формоутворення;
- зменшенні вартості виготовлення деталей за рахунок правильного призначення розмірів;
- обґрунтованому виборі якості точності, шорсткості поверхні, установчих і технологічних баз;
- зниженні маси деталей та виробу в цілому;
- конструктивній й функціональній взаємозамінності вузлів, мінімізації кількості підстроювальних і регулювальних елементів;
- контролездатності та інструментальній доступності елементів, деталей і вузлів, особливо при автоматизованому й механізованому виготовленні.

1.1.3.4 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.

1.1.4 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:

$$K_y = \frac{C_y + D_y}{C + D} \quad (1.5)$$

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

C , D - загальна кількість складальних одиниць та деталей.

1.1.5 Технологічність формоутворення деталей

1.1.5.1 Забезпечення технологічності деталей, що піддаються механічній обробці

При проектуванні 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 $A \geq \frac{D}{2} + R$, де D – діаметр шайби або діаметр гайки, якщо шайба не ставиться (рис. 1.1);

– 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.

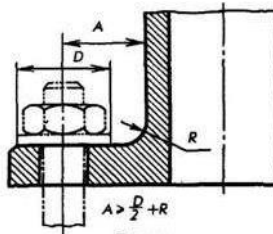


Рисунок 1.1 – Розташування отворів під різьбові з'єднання

1.1.5.2 Забезпечення технологічності листових холодноштампованих деталей

Холодне штампування металу – різновид обробки металів тиском.

Переваги холодного штампування:

- метал не нагрівається;
- на металі не утворюється окалина (немає окислення);
- мінімальна шорсткість поверхні;
- високий коефіцієнт використання листового металу;
- можливість точного виготовлення тонкостінних, але міцних виробів практично будь-якої форми;
- мінімальна потреба у наступній механічній обробці.
- найменша кількість та низька трудомісткість операцій;
- найменша кількість необхідного обладнання та виробничих площ;

- мінімальна кількість оснастки (штампів, пристроїв);
- можливість автоматизації та механізації процесу виготовлення.

1.1.5.2.1 Операції холодного штампування

Операції холодного штампування розділяються на два типи.

До першого типу відносяться **розділові** операції. При цьому найменування операції залежить від контуру поділу. Якщо поділ відбувається за незамкненим контуром, це операції **різання**, якщо за замкненим контуром – це операції **вирубки** (плоскі деталі) та **пробивання** (отвори).

До другого типу відносяться операції формозміни: **згинання, витяжка, відборткування, обтискання, формування**.

Іноді операції двох типів об'єднують, наприклад, виконують одночасно витяжку та рубку або згинання та обрізання. У цьому випадку застосовуються так звані комбіновані штампи.

Різанням називають операцію, де відбувається послідовне відділення частини заготовки за прямою чи кривою лінією. Різання застосовують як для отримання готових деталей, так і для розкрою листа на смуги потрібної ширини.

При розкрої листа необхідно, щоб вихід деталей з листа був максимальним, а відходи були мінімальними. Раціональність розкрою визначається виходячи з підрахунку коефіцієнта використання матеріалу, який дорівнює відношенню площі вирубаних деталей до загальної площі листа. Операція різання проводиться за допомогою вібраційних, дискових, гільйотинних та інших ножиць.

Вирубка – операція з отримання заготовки замкнутого контуру.

Пробивання – отримання у деталі отворів потрібної форми.

Згинання – операція, при якій плоскій заготовці надають вигнуту форму (V-подібну, U-подібну тощо).

Витяжка – операція, яка перетворює плоску заготовку на порожнисту просторову деталь або напівфабрикат.

За допомогою витяжки виготовляють не тільки циліндричні деталі, а й складні за формою коробчасті, конічні та напівсферичні.

При витяжці (рис. 1.2) плоска заготовка 5 втягується пуансоном 1 в отвір матриці 3. Для запобігання утворення складок при стискаючому напруженні застосовують притискувачі 4.

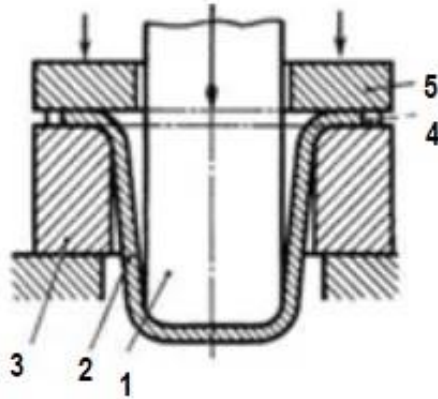


Рисунок 1.2 – Операція витяжки

Витяжка може бути без витончення та з витонченням. У першому випадку вона відбувається без помітної зміни, у другому змінюється як форма заготовлі, так і товщина її стінок. Якщо потрібно отримати глибоку витяжку, її ведуть у кілька проходів.

Відбортуння – операція утворення бортів по зовнішньому контуру листової заготовки або навколо заздалегідь пробитих отворів (рис. 1.3). Вона застосовується головним чином для утворення горловин у плоских деталях, необхідних для нарізання різьби, зварювання або складання.



Рисунок 1.3 – Деталь з відбортунням

Зазвичай відбортування виконується послідовно за один або кілька проходів у штампах, що складаються з пуансону та матриці. Операцію відбортування дуже часто виконують на кінцях труб при під'єднанні до них фланців, за допомогою яких труби надалі з'єднуються.

Обтиск – операція звуження (зменшення) кінцевої частини порожнистих або об'ємних деталей. Здійснюється вона шляхом обтиснення матеріалу штампом іззовні у конічній матриці. При цьому конфігурація частини, що обтискується, цілком залежить від форми штампу.

Формування – операція, пов'язана з місцевою зміною форми із збереженням конфігурації зовнішнього контуру деталі. Прикладом формування може бути виготовлення ребер жорсткості на машинобудівних деталях (рис. 1.4) та, наприклад, збільшення розмірів за діаметром середньої частини порожнистої деталі.

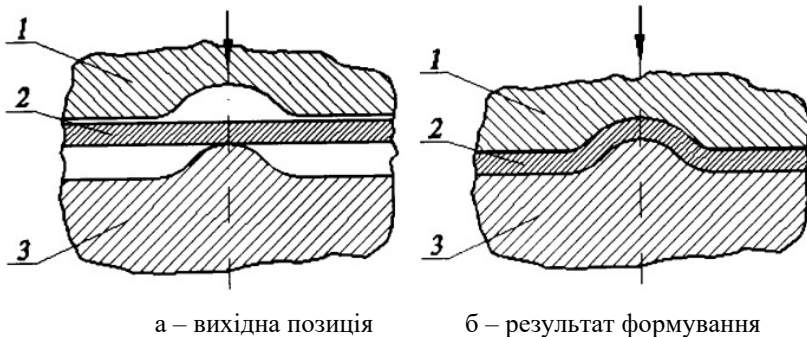


Рисунок 1.4 – Формування ребра жорсткості

Позначення на рис. 1.4: 1 – пуансон; 2 – заготовка; 3 – матриця

Для операцій холодного штампування слід використовувати метали і сплави, які мають гнучкість, пластичність, а також дешевизну. Основні види матеріалів для холодного штампування: вуглецева та легована сталі, алюміній та його сплави, мідь та її сплави, а також неметалеві матеріали: картон, ебоніт, шкіра, гума, фібра, пластмаса, що постачаються у вигляді листів, стрічок та смуг.

1.1.5.2 Загальні технологічні вимоги до конструкції листових холодноштампованих 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.

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

На рис. 1.5 наведені приклади деталей, виготовлених згинанням.

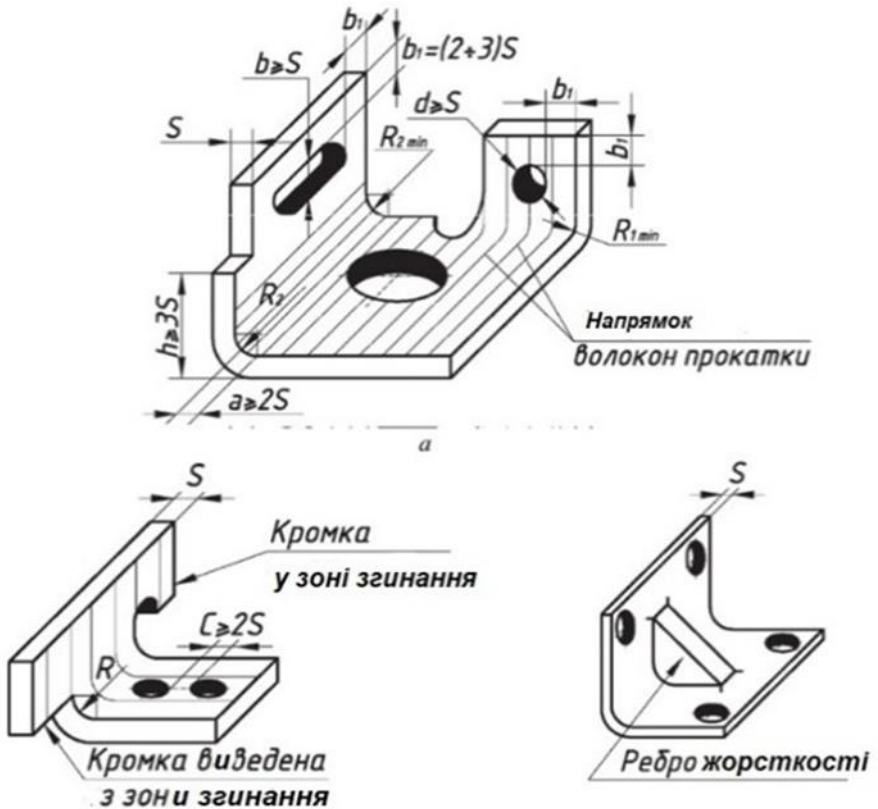
Слід уникати складних конфігурацій (рис. 1.5 а) з вузькими та довгими вирізами контуру або дуже вузькими прорізами ($b > 2S$).

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 $a > 2S$.

Найменша відстань між отворами при їхній одночасному пробиванні повинна дорівнювати $C = (2 \dots 3)S$.



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

Рисунок 1.5 - Приклади виготовлення деталей, виготовлених згинанням

1.1.5.2.4 Основні технологічні вимоги до конструкції вигнутих деталей

У більшості випадків мінімальні радіуси мають бути $R > S$.

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

При згинанні твердих і малопластичних металів (бронзи, деяких марок латуней, пружинної сталі тощо) лінія вигину обов'язково

повинна розташовуватися поперек волокон прокатки. Найменший радіус вигину у цьому разі становить $R = (2...4)S$.

При наявності в деталі гнутих частин під взаємно перпендикулярними кутами (рис. 1.2 а) радіус згинання, де волокна металу після прокатки паралельні лінії згину, повинен бути збільшений до $R_2 = (5...7)S$.

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

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. 1.2 б).

Для збільшення жорсткості гнутих деталей та усунення пружного пружинення рекомендується штампування ребер жорсткості поперек кута згинання (рис. 1.2 в).

1.1.5.2.4 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.

1.1.5.3 Забезпечення технологічності деталей, що виготовляються методом лиття під тиском

Принцип процесу лиття під тиском заснований на примусовому заповненні робочої порожнини металевої прес-форми розплавом та формуванні виливки під дією сил від прес-поршня, що переміщається в камері пресування, заповненої розплавом.

Сучасний процес, реалізований на спеціальних гідравлічних машинах, забезпечує отримання від кількох десятків до кількох тисяч виливків різного призначення за годину з високими механічними

властивостями, з низькою шорсткістю поверхні та розмірами, відповідними або максимально наближеними до розмірів готової деталі. Товщина стінки виливків може бути меншою за 1,0 мм, а маса — від кількох грамів до десятків кілограмів.

Лиття під тиском має наступні переваги:

- можливість виготовлення виливків значної площі із малою товщиною стінок (менше 1 мм);

- можливість підвищення якості виливків: вилівок виходить з високою точністю розмірів та низькою шорсткістю поверхні; практично не потребує обробки різанням; механічні властивості виливків виходять досить високі;

- можливість багаторазового використання металевої прес-форми;

- висока продуктивність;

- значне покращення санітарно-гігієнічних умов праці внаслідок усунення з ливарного цеху формувальних матеріалів, менше забруднення навколишнього середовища.

Але, поряд із зазначеними перевагами лиття під тиском має ряд недоліків, у тому числі такі:

- обмежені потужністю машини габаритні розміри і маса виливків;

- висока вартість прес-форми, складність та трудомісткість виготовлення, обмежена стійкість, особливо при литті сплавів чорних металів та мідних сплавів, що знижує ефективність процесу та обмежує сферу його використання.

- проблеми виконання виливків зі складними порожнинами, піднутреннями, кишнями;

- наявність у виливках газоповітряної та усадкової пористості, яка знижує механічні властивості матеріалу виливків, їхню герметичність, ускладнює термічну обробку, внаслідок чого обмежуються можливості виготовлення виливків із сплавів, що зміцнюються термічною обробкою.

- наявність напружень у виливках при усадці через непридатність прес-форми також обмежує номенклатуру сплавів, з яких можуть бути виготовлені вилівки даним способом.

З урахуванням переваг та недоліків способу лиття під тиском визначається раціональна область його використання. Внаслідок

високої вартості прес-форм, складності обладнання, високої продуктивності економічно доцільно застосовувати лиття під тиском у масовому та крупносерійному виробництві точних виливків з мінімальними припусками на обробку різанням з алюмінієвих, цинкових, магнієвих та мідних сплавів, а в деяких випадках і спеціальних сплавів .

При проектуванні 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, усунення надмірно виступаючих частин, тонкостінних ребер великої протяжності, глибоких западин і поднутрень;

- 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 тіннові 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 за можливістю однакової товщини стінок по всьому перерізу, уникати локального скупчення металу;

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

– 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.

1.1.5.4 Забезпечення технологічності друкованих плат

При проєктуванні 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 маркосортамент 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 (2,500; 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.

1.1.5.5 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 передбачас:

- 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.

1.1.6 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, виконувані 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.

Усі заходи щодо підвищення технологічності здобувають особливу значимість і, наприкінці, спрямовані на забезпечення конкурентноздатності і швидкий збут виробу.

1.2 Контрольні питання

- 1 Визначення технологічності.
- 2 Види технологічності
- 3 Відпрацювання виробів на технологічність на стадіях проектування.
- 4 Якісна оцінка технологічності.
- 5 Кількісна оцінка технологічності.
- 6 Основні показники технологічності.
- 7 Додаткові показники технологічності.
- 8 Інженерно-розрахунковий метод оцінки технологічності.
- 9 Комплексна оцінка технологічності.
- 10 Загальні методи забезпечення виробничої технологічності.
- 11 Що таке стандартизація, уніфікація, типізація?
- 12 Як уніфікація сприяє підвищенню технологічності?
- 13 Як оцінюється ступінь уніфікації?
- 14 Поняття базової несучої конструкції.
- 15 Забезпечення технологічності деталей, що піддаються механічній обробці.
- 16 Операції холодного штампування.
- 17 Загальні технологічні вимоги до конструкції листових холодноштампованих деталей.
- 18 Технологічні вимоги до конструкції плоских деталей, одержуваних вирубкою та пробиванням.
- 19 Технологічні вимоги до конструкції плоских деталей, одержуваних згинанням.
- 20 Технологічні вимоги до конструкції плоских деталей, виготовлених витяжкою та формуванням.
- 21 У чому полягає методом лиття під тиском? Його переваги та недоліки.
- 22 Забезпечення технологічності деталей, що виготовляються методом лиття під тиском.
- 23 Забезпечення технологічності друкованих плат.
- 24 Забезпечення технологічності складання.
- 25 Зв'язок виробничої технологічності з умовами виробництва.

1.3 Порядок виконання роботи

- 1.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

1.3.2 Для об'єкту дослідження визначити:

- призначення та особливості експлуатації;
- тип виробництва;
- методи формоутворення деталей;
- методи складання;
- методи монтажу.

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

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

1.3.5 Виявити недоліки конструкції з точки зору забезпечення виробничої технологічності.

1.3.6 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

1.4 Зміст звіту

1.4.1 Тема та мета роботи.

1.4.2 Відповіді на контрольні питання (за вказівкою викладача).

1.4.3 Опис об'єкта аналізу відповідно до пункту 1.3.2.

1.4.4 Результати аналізу об'єкта на забезпечення виробничої технологічності.

1.4.5 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

1.4.6 Висновки.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

2.1 Теоретична частина

2.1.1 Ремонтопридатність: основні терміни та визначення

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 ремонтпридатність 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 ремонтпридатної техніки широким колам споживачів пропонується низконадійна 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 ремонтпридатності є однією з найважливіших вимог.

Як було вказано вище, ремонтпридатність 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 використовуваної складної РЕЗ.

Поступові відмови характеризуються поступовою зміною одного чи декількох параметрів, внаслідок чого останні виходять за встановлені межі. Поступові відмови визначаються процесами електричного і механічного зношення 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.

2.1.2 Поняття ремонту. Види та методи 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 відмовли.

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, змашення. 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.

При ремонті РЕЗ розрізняють чотири методи:

- ремонт методом заміни та подальшого відновлення;
- ремонт методом заміни елементів, що не ремонтуються;
- ремонт за наявності резервування;
- заміна поточного ремонту на профілактичне обслуговування.

При експлуатації РЕЗ, як правило, не застосовують якийсь один метод, найчастіше використовують комбінацію із кількох методів.

Ремонт методом заміни та подальшого відновлення вузла, блоку, модуля застосовується для підвищення готовності апаратури. При цьому значно скорочується час непрацездатного стану РЕЗ, оскільки він зводиться до часу відшукування несправного елемента схеми, а час ремонту зводиться до часу заміни блоку.

Однак доцільність застосування зазначеного методу залежить від співвідношення економічних факторів і досягнутих результатів у підвищенні готовності апаратури, бо вартість запасних елементів внаслідок великої кількості дорогих запасних блоків, вузлів, комірок може бути суттєвою.

Цей метод знаходить широке застосування під час ремонту побутової РЕЗ. Блоково-модульна конструкція побутової РЕЗ дозволяє широко використовувати ремонт вдома у власника шляхом заміни

блоків, модулів, вузлів, що відмовили, з подальшим ремонтом їх у стаціонарних умовах.

Ремонт методом заміни елементів, що не ремонтуються, знаходить широке застосування. В даний час до таких елементів РЕЗ відносяться не тільки електрорадіокомпоненти та інтегральні мікросхеми, але також друковані плати та комірки.

Цей метод має ряд переваг: менші витрати часу на відшукання та заміну елемента, що відмовив, зменшення кількості несправностей, забезпечення доступності при ремонті, використання менш кваліфікованого обслуговуючого персоналу, зниження вартості експлуатації.

Однак при цьому виникає задача визначення оптимального розміру комплекту запасів неремонтованих елементів.

Ремонт за наявності резервування можна розглядати як різновид ремонту без переривання виконуваних функцій виробом. При цьому ремонт елемента, що відмовив, може проводитися пізніше виникнення відмови, а працездатність забезпечується за рахунок резервного елемента. Цей метод ремонту та забезпечення працездатності апаратури вимагає великих витрат і у побутовій РЕЗ, як правило, не застосовується.

Заміна поточного ремонту профілактичним обслуговуванням знаходить велике застосування при експлуатації РЕЗ, в тому числі і побутової. Для оцінки можливостей профілактичного обслуговування слід мати дані щодо профілактичних та непрофілактичних відмов. Профілакованими відмовами є ті, які можна запобігти у процесі профілактики, інші – непрофілактичні.

2.1.3 Показники ремонтопридатності

Рівень ремонтопридатності визначається на ранній стадії проектування (при компонуванні виробу) й у тому обсязі, як це вимагають технічні умови.

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 обсяг виконання робіт** з відновлення працездатності.

Останній показник достатньо характеризується **середнім часом відновлення** на одну відмову, тобто, часом, затрачуваним на виявлення, пошук причин і усунення наслідків відмови.

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

$$t_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (2.1)$$

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

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

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + t_B} \quad (2.2)$$

де T_0 – середнє напрацювання на відмову, год.

Для складної РЕЗ час відновлення не повинен перевищувати, як правило, від 15 хв. до 30 хв.

2.1.4 Забезпечення ремонтпридатності

Забезпечення ремонтпридатності – це комплекс заходів, який проводиться під час проектування, виробництва та експлуатації РЕЗ, спрямований на зменшення тривалості ремонту та економічних витрат, який полегшує технічне обслуговування виробів персоналом середньої кваліфікації за нормальних умов експлуатації.

Ремонтпридатність забезпечується на всіх етапах створення РЕЗ. На етапі розробки схеми електричної вона забезпечується вибором стандартної елементної бази, яка задається інженером – радіотехніком. Але максимальна роль у забезпеченні ремонтпридатності належить діяльності конструктора.

2.1.4.1 Фактори, що визначають ремонтпридатність

Ремонтпридатність визначається рядом факторів, які можна поділити на чотири умовні групи: конструкторські, організаційні, умови експлуатації та матеріально-технічне забезпечення.

До *організаційних* факторів відносяться:

- підготовка персоналу;
- наявність та якість технічної документації з обслуговування та ремонту;
- організація технічного обслуговування;
- способи використання РЕЗ.

До факторів, пов'язаних з *умовами експлуатації* відносяться:

- оточуюче середовище;
- умови розміщення РЕЗ (вібрація, поштовхи, качка тощо);
- умови роботи обслуговуючого персоналу (освітленість, шум тощо).

До факторів *матеріально-технічного забезпечення* відносяться наявність інструмента, контрольно-вимірювальної апаратури, запасних елементів, допоміжних пристосувань тощо.

Комплект запасних інструментів та пристосувань (ЗП) повинен входити до складу кожної системи. Він забезпечує необхідну надійність резервуванням при експлуатації апаратури на відстані від бази постачання.

Обсяг комплекту ЗП визначається заданою надійністю й складністю. До його складу входять:

- змінні вузли чи блоки, окремі елементи й деталі конструкції виробу;
- комплект загального й спеціального ремонтного інструмента;
- пристосування, які можуть використовуватися під час експлуатації і відбудовного ремонту апаратури;
- контрольно-вимірювальна апаратура для перевірки й регулювання режимів роботи системи після відбудовного ремонту.

За призначенням комплекти ЗП поділяють на:

- одиночні (ЗП поточного ремонту), що входять до складу виробу і призначені для підтримки експлуатаційної надійності апаратури; ці комплекти постачаються безпосередньо з виробом і в міру використання поповнюються відповідно до його опису;
- групові (базові), призначені для профілактичного ремонту з метою забезпечення довговічності апаратури; ці комплекти розраховуються на групу виробів і на відміну від одиночних комплектуються укрупненими блоками, вузлами й деталями, призначеними для заміни зношених і тих частин апаратури, що прийшли в непридатність (не відновлюваних).

Основною групою факторів, що у найбільшому ступені впливають на ремонтпридатність, є *конструкторські* фактори, до яких, в першу чергу, відносяться складність виробу, застосування тих чи інших конструкторських рішень щодо розмірів, форми, взаємного розташування та компоновки складових частин, методів складання тощо.

2.1.4.2 Способи підвищення ремонтпридатності

Усі способи підвищення ремонтпридатності зводяться до зменшення часу відновлення, який містить наступні складові:

- час виявлення несправності;
- час відшукування несправності;
- час розбирання виробу;
- час заміни елемента, що відмовив;
- час складання виробу;
- час налаштування та регулювання.

Для зменшення часу виявлення та часу відшукування несправності передбачаються наступні заходи:

- відповідні схемотехнічні рішення;
- наявність звукової та візуальної сигналізації;
- наявність тестових роз'ємів, апаратури вбудованого контролю, контрольних точок та правильність їхнього вибору;
- легкість контролю робочих параметрів;
- можливість послідовного контролю усіх вузлів пристрою, швидкою локалізацією несправності;
- потреба у невеликій кількості контрольних приладів для ремонту (бажано від двох до трьох);
- маркування схемних позначень елементів на внутрішніх стінках виробу;
- маркування (часткове чи повне) схемних позначень елементів на друкованих платах;
- наявність ремонтної документації (схеми електричної принципової з розбивкою на плати за функціональною ознакою, карт робочих режимів і т. ін.).

При використанні РЕЗ на основі сучасної елементної бази, і особливо мікропроцесорів, проблеми *налаштування* та *регулювання* в традиційному розумінні практично відсутні. Контроль, діагностику і налаштування РЕЗ проводять програмними і апаратними методами.

Під час виготовлення виробів підприємства розробляють спеціальні інструкції для користувачів і діагностичні програми, які додають до виробів у вигляді технічного опису, інструкцій користувача, вбудованого програмного забезпечення або спеціальних програм на носіях інформації.

Зазвичай передбачається три способи індикації несправності:

- звукові сигнали;
- повідомлення на екрані монітора;
- шістнадцятиричні коди, які відправляються за адресами портів введення/виведення.

Спеціалізовані діагностичні програми – це набори тестів для тотальної перевірки всіх компонентів системи і складних приладів, які записуються на окремому діагностичному диску.

Діагностичні програми виготовників зазвичай передбачають для двох рівнів. Перший рівень – це загальна діагностика, яка орієнтована на користувачів. Оскільки процедури пошуку несправностей у більшості сучасних систем досить прості, у користувачів зазвичай не виникає складнощів при роботі з програмами загальної діагностики. Другий рівень – технічний та розрахован на спеціалістів.

Повідомлення про помилки зазвичай виводяться у вигляді кодів, за якими можна визначити причину несправності або звузити коло її пошуків.

Час розбирання і складання виробу, а також ***час, необхідний на заміну елемента, що відмовив***, цілком визначаються конструкцією РЕЗ і обраним типом блоку.

Для зменшення часу розбирання та складання виробу слід забезпечити:

- неможливість випадкового розкриття під час транспортування чи роботи;
- легкоз'ємність виробу з об'єкта;
- легкорозбірність виробу (легкоз'ємність кришок, кожухів, панелей);
- застосування невинуючих гвинтів, стандартного кріплення;
- застосування кріплення плат, комірок та їхніх складальних одиниць, що забезпечує їх легкоз'ємність (за направляючими, за допомогою поворотних кронштейнів і т. ін.);
- запобігання неправильному з'єднанню роз'ємних частин.

Для цього передбачається ряд заходів, які слід враховувати ще у процесі проектування:

- конструкція РЕЗ повинна виключати необхідність знімати деталі та вузли, які не мають безпосереднього відношення до проведення даного технічного обслуговування або ремонту;

- траси кабелів, джгутів та окремих дротів не повинні заважати проведенню технічного обслуговування або ремонту; при цьому довжина монтажних дротів повинна забезпечувати монтаж без натягу з запасом на дві-три перепайки (від 15 мм до 20 мм);

- шасі, що відкидаються, повинні фіксуватися у зручному для ремонту положенні;

- переміщення (поворот) друкованих плат та вузлів при проведенні ремонту не повинне обмежуватися довжиною кабелів, джгутів або дротів, які з'єднують їх з іншими елементами РЕЗ;

- фіксація кріпильних деталей не повинна ускладнювати демонтаж стандартним інструментом;

- роз'ємні частини, які підлягають розбиранню/складанню, повинні мати "ключі" для запобігання їхньому неправильному з'єднанню (у якості таких "ключів" можуть виступати асиметричність форми, спеціальні виступи, западини, отвори тощо);

- значне скорочення часу розбирання і складання апаратури може бути досягнуто за рахунок відмови від різьбових з'єднань в елементах конструкції блоку і кріплення різьбового блоку в стійках та заміни їх на пружинні фіксатори та швидкознімні стопори; тпри цьому різко скорочується час на від'єднання складової частини (проти кріплення гвинт - гайка) і виключається втрата кріплення під час ремонту;

- кріплення деталей і вузлів методом відгинання повинно здійснюватися пелюстками, що належать цим деталям і вузлам, а не конструкції.

Для зменшення часу, необхідного для заміни елемента, що відмовив, передбачаються наступні заходи:

- вибір електрорадіокомпонентів, які мають приблизно однакову надійність, що дозволить знизити кількість профілактичних оглядів чи ремонтів до мінімуму;

- легкодоступність всіх частин для огляду та заміни без попереднього видалення інших частин конструкції;

- легкодоступність до елементів, що мають низьку надійність;

- простота заміни електрорадіокомпонентів;

- застосування склотекстолиту для виготовлення друкованих плат, що допускає більшу кількість перепайок.

Забезпечення легкодоступності складових частин РЕЗ без попереднього видалення інших частин конструкції досягається застосуванням конструкцій, доступ до внутрішніх частин яких

здійснюється за рахунок розкриття, висування, відкидання чи повороту.

Метод *розкриття* широко використовується у *блоках книжкової конструкції* та дозволяє забезпечити доступ до будь-якої друкованої плати, розташованої на відкидній рамці. При цьому можливі вертикальна (рис. 2.1, а, б) та горизонтальна (рис. 2.2) орієнтації плат у блоці.

У блоках книжкової конструкції механічне об'єднання друкованих плат між собою і з несучою конструкцією забезпечується шарнірними вузлами 4, що дозволяють повертати плати 1 подібно до сторінок книги. У робочому стані плати 1 об'єднують у пакет стяжними гвинтами або різьбовими шпильками. Блоки встановлюють у стійку чи монтажний пристрій.

Електричні з'єднання виконують об'ємними дротами за допомогою паяних з'єднань, стрічковими кабелями на роз'ємах тощо. Дроти й кабелі під'єднуються до плат 1 з боку їхньої підвіски та до комутаційної плати 2, що здійснює комутацію плат 1 згідно з принциповою схемою. На задній панелі несучої конструкції блоку встановлюють зовнішні з'єднувачі.

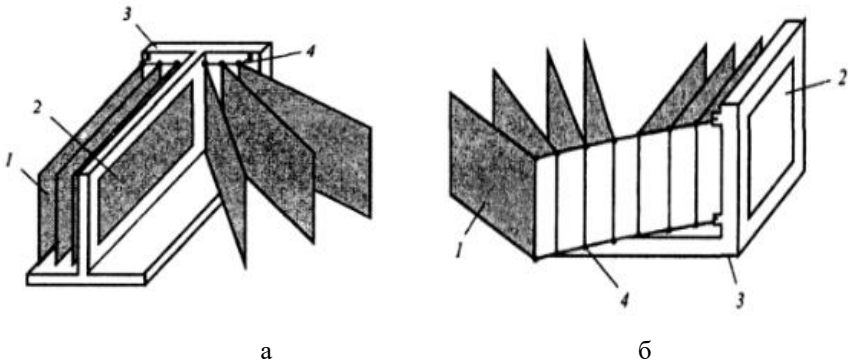


Рисунок 2.1 – Блоки книжкової конструкції з вертикальною орієнтацією плат

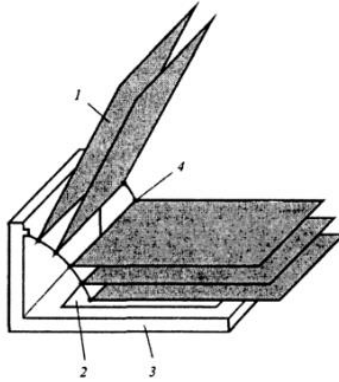


Рисунок 2.2 – Блок книжкової конструкції з горизонтальною орієнтацією плат

При використанні книжкової конструкції з одинарними шарнірами загальна кількість сторінок зазвичай не перевищує чотирьох. При кріпленні рамок на подвійних шарнірах конструкція зручніша у роботі. У цьому випадку забезпечується доступ до будь-якої друкованої плати без розбирання інших рамок, але конструкція стає складнішою.

Конструкція блока книжкової конструкції дозволяє контролювати в робочому режимі будь-яку плату після видалення гвинтів.

Метод *висування* передбачає повне або часткове висування частин конструкції за спрямовуючими.

Блоки стелажного типу висувної конструкції компонуються з комірок, які встановлюються в один або кілька рядів перпендикулярно до монтажної панелі. Основним конструктивним елементом блоку є каркас з монтажною панеллю (крос-платою) і з'єднувачами. Залежно від орієнтації в просторі крос-плати існують три схеми компонування блоків: вертикальні (рис. 2.3, а, б) та горизонтальний (рис. 2.4).

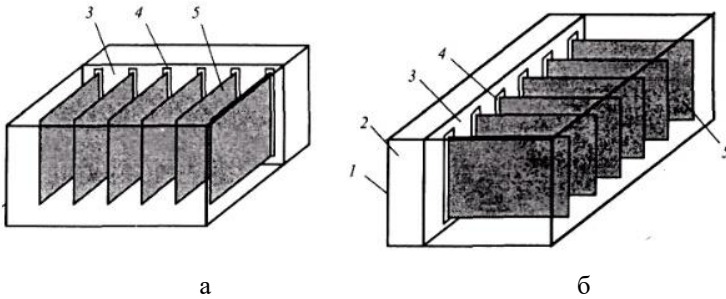


Рисунок 2.3 – Блоки стележного типу висувної конструкції з вертикальною орієнтацією плат

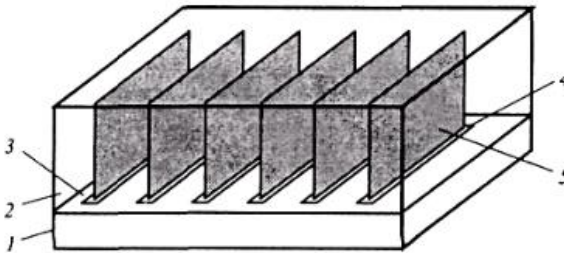


Рисунок 2.4 – Блок стележного типу висувної конструкції з горизонтальною орієнтацією плат

Позначення на рис. 2.3 та 2.4:

- 1 – каркас;
- 2 – лицьова панель;
- 3 – монтажна панель (крос-плата);
- 4 – з'єднувач;
- 5 – комірка.

Горизонтальне розташування крос-плати ускладнює охолодження блоків природною конвекцією, тому їх зазвичай використовують у приладах настільного типу з низькою щільністю компонування або спільно з вентиляторами, що спрямовують потоки охолоджувального повітря вздовж каналів, утворених рядами комірок, розташованих поруч.

У ряді конструкцій висування плат поєднується з поворотом. При такому варіанті компонування передня панель повертається

навколо загальної осі, забезпечуючи доступ до елементів будь-якої комірки. Електричне з'єднання комірок здійснюється за допомогою круглих або стрічкових кабелів.

До висувних конструкцій відносяться також шафи з висувними блоками, що мають суттєві переваги, серед яких:

- безпека обслуговування (виключається можливість потрапляння обслуговуючого персоналу під напругу);
- можливість знімати та замінити блоку на працюючому щиті;
- висока динамічна стійкість збірних та розподільчих шин;
- зручність зовнішнього підключення силового ланцюга та ланцюгів керування;
- можливість проведення тестового контролю блоків у щиті при пусканалагоджувальних роботах без запуску усього пристрою (об'єкта).

На рис. 2.5 наведений зовнішній вигляд несучої конструкції, призначеної для комплексного оснащення висувних елементів. До її складу можуть входити: з'єднувачі для головних та допоміжних ланцюгів (прямокутні, модульні, набірні та втичні), рамки, приводний механізм, мікроперемикачі, ручки, спрямовуючі.

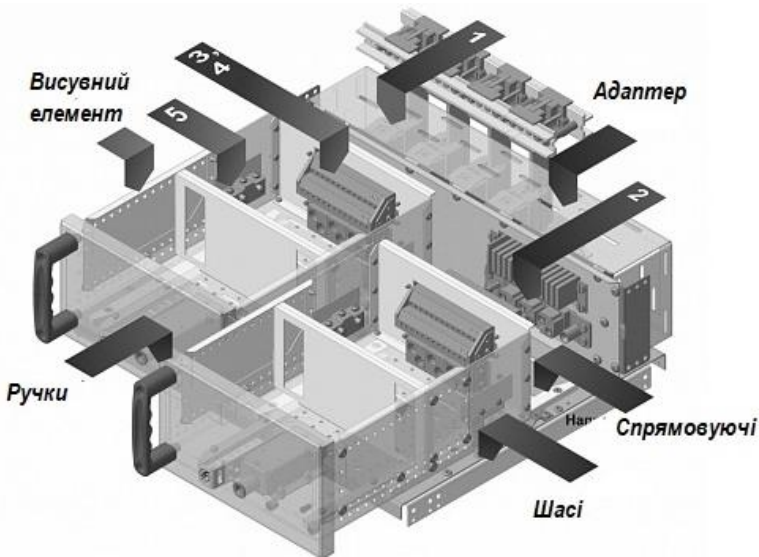
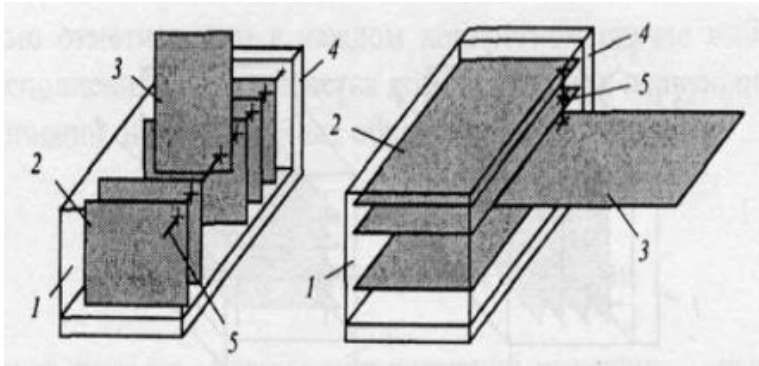


Рисунок 2.5 – Несуча конструкція, призначена для комплексного оснащення висувних елементів

У блоках з **відкидними платами** (рис. 2.6) плати 2 механічно поєднують між собою і з несучою конструкцією 4 рухомих з'єднаннях на осі 5, що дозволяє забезпечувати **відкидання та поворот** будь-якої плати і контроль цієї плати у відкинутому положенні при функціонуванні блоку; при цьому можливі вертикальне та горизонтальне напрямки відкидання плат. Уся конструкція розміщується у кожусі 1.



а

б

Рисунок 2.6 – Вертикальне (а) та горизонтальне (б) відкидання плат з поворотом

У робочому стані плати поєднують у пакет і кріплять до несучої конструкції. Конструкцією має бути передбачена фіксація плати у відкинутому стані 3.

Електричні з'єднання виконують стрічковими кабелями, дротами, з'єднувачами. При розробці електромонтажної схеми слід передбачити рухливість монтажу, наприклад штучним збільшенням довжини кабелю для забезпечення відкинутого положення плати.

Недоліком цього виду компонування слід зазначити деяке збільшення довжини кабелів.

Всі ці методи та їхні поєднання дозволяють скоротити час на розбирання блоку чи стійки та у разі виникнення несправності швидко її усунути, тобто, забезпечують малий час вимушеного простою і тим самим підвищують ремонтпридатність та відновлюваність апаратури.

2.2 Контрольні питання

- 1 Дати визначення ремонтопридатності.
- 2 Чи завжди треба забезпечувати ремонтопридатність? Назвіть випадки, коли це недоцільно.
- 3 Що таке відмова? Ушкодження? Чим вони відрізняються?
- 4 Наведіть види відмов. Як вони проявляються?
- 5 Поняття ремонту. Види ремонту.
- 6 Які види робіт виконують при поточному та профілактичному ремонті?
- 7 Методи ремонту. У чому полягає ремонт методом заміни та подальшого відновлення?
- 8 У чому полягає ремонт методом заміни елементів, що не ремонтуються?
- 9 У чому полягає ремонт за наявності резервування?
- 10 Показники ремонтопридатності. Наведіть формулу для визначення середнього часу відновлення.
- 11 Що таке коефіцієнт готовності? Наведіть формулу для його визначення.
- 12 Групи факторів, що визначають ремонтопридатність.
- 13 Що входить до комплексу ЗПП?
- 14 Класифікація ЗПП.
- 15 Якими способами можна зменшити час відновлення?
- 16 Способи зменшення часу виявлення та відшукування несправності.
- 17 Як вирішуються задачі налаштування та діагностики у сучасних РЕЗ?
- 18 Способи зменшення часу розбирання та складання виробу.
- 19 Наведіть заходи, які слід враховувати для зменшення часу розбирання та складання виробу.
- 20 Способи зменшення часу, необхідного для заміни елемента, що відмовив.
- 21 Як досягається легкодоступність складових частин РЕЗ?
- 22 Блоки книжкової конструкції.
- 23 Блоки стелажного типу висувної конструкції.
- 24 Особливості несучої конструкції, призначеної для комплексного оснащення висувних елементів.
- 25 Блоки з відкидними та поворотними платами.

2.3 Порядок виконання роботи

2.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

2.3.2 Для об'єкту дослідження визначити:

– призначення та особливості експлуатації;

– групу експлуатації за об'єктом установки;

– необхідність забезпечувати вимоги ремонтпридатності (у разі відсутності такої необхідності пояснити причину).

2.3.3 Проаналізувати об'єкт на відповідність вимогам ремонтпридатності.

2.3.4 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог ремонтпридатності.

2.3.5 Виявити недоліки конструкції з точки зору вимог ремонтпридатності.

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

2.4 Зміст звіту

2.4.1 Тема та мета роботи.

2.4.2 Відповіді на контрольні питання за вказівкою викладача.

2.4.3 Опис об'єкта дослідження відповідно до пункту 2.3.2.

2.4.4 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам ремонтпридатності.

2.4.5 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

2.4.6 Висновки.

3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕРГОНОМІКИ ТА ТЕХНІЧНОЇ ЕСТЕТИКИ

3.1 Теоретична частина

3.1.1 Основні терміни та визначення

Зовнішнє середовище, що оточує людину під час роботи з технікою, впливає на організм людини, на його фізіологічні функції, психіку, продуктивність праці.

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.

З широким розвитком нової техніки необхідність приведення у відповідність конструкцій виробів, їх виробництва і виконуваних ними функцій з трудовими характеристиками людини ще більш зростає.

Ці питання вирішує *ергономіка* – прикладна наука, що вивчає людину і її діяльність із метою оптимізації знарядь, умов і процесу праці, тобто, *систему "людина-машина" (СЛМ)*.

Відповідно до стандартів, СЛМ являє собою систему, що складається з людини-оператора і "машини".

Під терміном *"людина-оператор"* (або скорочено *оператор*) слід розуміти людину, яка веде трудову діяльність, основу якої становить взаємодія з сукупністю технічних засобів в умовах відповідного зовнішнього середовища, через посередництво інформації, що сприймається нею, і органів керування на основі уявлень про цілі та завдання трудової діяльності.

Під терміном *"машина"* мається на увазі сукупність технічних засобів, за допомогою яких людина здійснює трудову діяльність.

СЛМ функціонує за певним алгоритмом, тобто, має логічну організацію функціонування, що складається з сукупності операцій. У процесі її функціонування здійснюється досягнення поставленої мети; при цьому її основною властивістю є ефективність – здатність досягнення цієї мети в даних умовах з певною якістю за мінімальних витрат праці та матеріалів.

Проектування "машини" має вестися на основі вивчення діяльності та психофізіологічних можливостей оператора, а також

шляхів і методів узгодження "машини" та оператора й вимог до конструкції "машини", що впливають із цього.

Сучасна ергономіка в промисловості розглядає ряд проблем, пов'язаних з СЛМ. 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 обгрунтованих організаційно-технічних вимог і рішень до знарядь і процесів праці, навколишнього середовища з урахуванням особливостей людини.

Поряд з цим, 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 гармонійного 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, яка 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 ГОСТ12.2.006-87.

3.1.2 Операції, які виконує оператор

Як було вказано вище, ергономіка займається питаннями встановлення зв'язку параметрів людини та машини (в даному випадку РЕЗ) під час їхньої взаємодії. При цьому дії оператора під час експлуатації РЕЗ можна умовно розділити на наступні етапи:

- підготовка до експлуатації;
- застосування за призначенням;

– технічне обслуговування та ремонт.

Основні операції, що виконуються під час *підготовки до застосування*:

- пакування;
- транспортування до місця встановлення та застосування;
- розгортання на місці та встановлення на об'єкті, в процесі яких оператор здійснює розміщення, кріплення та з'єднання між собою частин РЕЗ;

- включення та визначення працездатності, придатності для застосування за призначенням.

У процесі підготовки РЕЗ виявляються відмови та необхідність їх відновлення та регулювання. Важливо, щоб конструкція РЕЗ забезпечувала ефективне, просте та безпомилкове виконання операцій підготовки до застосування. Це пов'язано з обмеженнями на масу та габарити частин, на які поділяється РЕЗ при транспортуванні, розміщення на місці та на об'єкті установки, а також з наявністю зручних елементів для перенесення та механічного кріплення, електричного з'єднання, зручного та зрозумілого маркування тощо.

Комплекс зазначених властивостей апаратури часто поєднують з поняттям експлуатаційної технологічності.

Застосування за призначенням передбачає виконання наступних операцій:

- вмикання;
- налаштування;
- комутація;
- контроль правильності функціонування та прийняття рішення щодо можливості застосування за призначенням з повідомленням споживача інформації;

- зміна режимів, перебудова та перемикання (або комутація) тощо у разі зміни ситуації чи отримання запиту від споживача;

- керування вилученням інформації (якщо споживачем є людина) або її передачею в надсистему;

- вторинна обробка інформації (перерахунок координат, дешифрація тощо).

Часто через умови розміщення (ракета, БПЛА тощо) або через велику швидкість надходження та обробки інформації виділення відомостей та керування повинні бути автоматичними.

З вищевикладеного випливає, що взаємодія СЛМ передбачає наступні типи операторської діяльності:

– **оператор-маніпулятор**, який переважно робить виконавчі дії, керуючись однозначними, попередньо засвоєними інструкціями; основну роль в його діяльності грають механізми сенсомоторної регуляції;

– **оператор-спостерігач та контролер** – найпоширеніший тип оператора під час експлуатації РЕЗ (керування, вмикання, вилучення інформації, оцінка працездатності апаратури тощо), який може здійснювати негайне або відстрочене обслуговування; основну роль в його діяльності грають сприйняття інформації, оперативна пам'ять та оперативне мислення;

– **оператор-дослідник та діагностик**, який займається, головним чином, технічним обслуговуванням та ремонтом; при цьому використовуються короткочасна і довготривала пам'ять, понятійне та логічне мислення, досвід, відображений у пам'яті;

– **оператор-керівник**, який керує не безпосередньо технічними засобами, а людьми.

3.1.3 Ергономічні показники

Для визначення відповідності конструкції вимогам ергономіки застосовують ряд ергономічних показників, які поділяються на:

– **гігієнічні** (освітленість, вентиляюємість, 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, а також врахування просторових та силових показників керуючих рухів оператора);

– **фізіологічні та 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 їхніх особливостей.

3.1.3.1 Гігієнічні показники

Надійність роботи оператора залежить від оптимальних значень гігієнічних параметрів навколишнього середовища.

У загальному випадку ці параметри можуть бути **комфортними, некомфортними та нестерпними**.

Між комфортними та некомфортними параметрами існує психологічна межа; між некомфортними та нестерпними – фізіологічна.

Значення деяких параметрів в залежності від гігієнічних умов наведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення параметрів в залежності від гігієнічних умов

Параметри	Умови		
	комфортні	некомфортні	нестерпні
Температура, °С:			
тепло	від +22 до +24	від +24 до +44	вище +44
холод	від +18 до +22	від -1 до +18	нижче -1
Шум, дБ:			
лабораторії	від 40 до 50	до 120	від 130 до 150
виробничі цехи	від 80 до 90		
Вологість, %	від 20 до 60	від 10 до 20	нижче 10

3.1.3.2 Антропометричні показники

3.1.3.2.1 Основні антропометричні характеристики оператора

Узагальнені розміри тіла людини та його частин називають антропометричними характеристиками. Вони визначають максимальні розміри РЕЗ, місця розташування ОК, з'єднувачів та інших зовнішніх елементів.

Антропометричні характеристики у окремих індивідуумів можуть значно відрізнятись, проте під час проектування виробів виходять із узагальнених даних оператора.

Так, при проектуванні пультів орієнтуються наступну модель людини:

- зріст 170 см;
- маса 68 кг;
- відстань від плечового суглоба до середини долоні витягнутої руки 70 см;
- максимальний діаметр пальців від 10 мм до 20 мм.

Просторова організація робочого поля тісно пов'язана з робочою позою оператора.

Робота *сидячи* мало втомлює м'язи, забезпечує виконання точних рухів, тому переважна при організації робочих місць, які потребують безперервної присутності оператора.

Робота *сидячи* – *стоячи* збільшує робоче поле оператора та дає можливість перерозподіляти статичне навантаження м'язів при зміні робочих положень. Такий режим використовують у випадку досить компактного розміщення РЕЗ, які не потребують безперервного контролю та управління, що дозволяє обслуговувати їх, переходячи від одного РЕЗ до іншого.

При децентралізованому розміщенні та великому просторовому рознесенні РЕЗ можлива робота тільки *стоячи*, що приводить до великого фізичного навантаження на оператора.

В особливих випадках (літаки, космічні кораблі) людина-оператор може працювати *напівсидячи*, *напівлежачи*.

Робота оператора за різних положень потребує відповідних розмірів пультів. На рис. 3.1, а, б наведені оптимальні розміри при організації робочого місця оператора сидячи та стоячи.

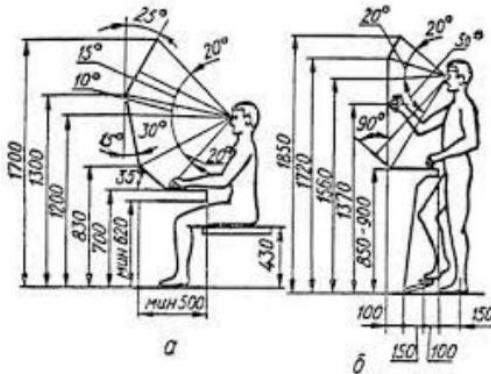


Рисунок 3.1 – Оптимальні розміри при організації робочого місця оператора сидячи (а) та стоячи (б)

Динамічні антропометричні характеристики задають з допомогою кутів поворотів окремих частин тіла, а їхнє використання разом із статичними дозволяє будувати зони досяжності рук (рис. 3.2).

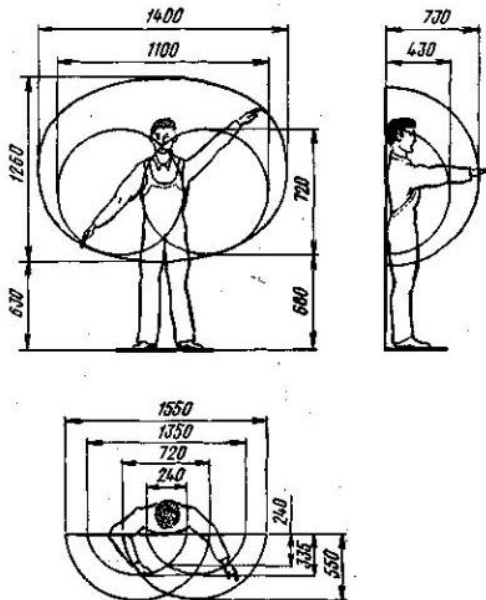


Рисунок 3.2 – Зони досяжності рук

Зони досяжності визначають *моторне поле* – простір, де розміщують органи керування (ОК).

У положенні *сидячи* моторне поле поділяють на чотири зони (рис. 3.3).

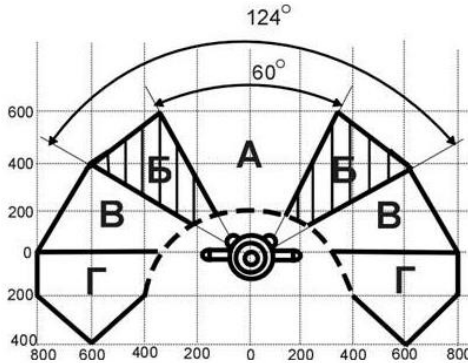


Рисунок 3.3 – Зони досяжності при роботі сидячи

Ділянки А та Б утворюють *зону основних рухів*, коли для маніпуляції руками не потрібен поворот тулуба. Для ділянки А не потрібен поворот голови, а для Б вимагається легкий поворот голови.

Ділянки В та Г утворюють *зони допоміжних рухів*. Для проведення маніпуляції на ділянці В потрібний рух всієї руки і рух головою, а на ділянці Г – поворот тулуба з поворотом голови.

Виходячи з наведеного, найбільш важливі органи керування та інформації повинні розміщуватися в зоні А. У зоні Б розташовуються прилади та органи керування, які нечасто використовуються оператором, але вони повинні знаходитися в зоні досяжності та огляду.

При проектуванні робочого місця у шафах і стійках РЕЗ для роботи *стоячи* всі прилади розташовуються у зоні досяжності з умов нормальної роботи оператора низького зросту.

За висотою робочу зону поділяють на:

- 2000 мм – верхня незручна;
- 1700 мм – верхня менш зручна;
- 1050 мм – зручна;
- 850 мм – нижня менш зручна;
- 500 мм – нижня незручна.

Звідси випливає, що висоту стійок і шаф не рекомендують виконувати висотою понад 1700 мм.

При розробці конструкції для знаходження оптимальної робочої пози оператора вдаються до соматичного аналізу, що дозволяє знайти параметри моторного та інформаційного полів для довільних робочих поз, поєднуючи, наприклад, зони видимості ока та зони досяжності рук з різними допустимими поворотами рук чи корпусу.

У процесі трудової діяльності оператор виконує не тільки операції з підготовки та застосування РЕЗ за призначенням, а й здійснює технічне обслуговування та ремонт. В цьому випадку виходять не з оптимальних, а допустимих антропометричних характеристик та поз, що визначають мінімальні розміри робочих просторів під час виконання тих чи інших робіт. На розміри цих просторів істотно впливає одяг оператора, наприклад, для забезпечення доступу рукою до плеча в легкому одязі потрібен діаметр отвору не менш 130 мм, а в зимовому – не менш 220 мм.

3.1.3.2.2 Характеристики керуючих рухів

Окрім просторових, керуючі впливи мають ще дві групи характеристик: тимчасові (швидкісні) та силові.

Загальний час виконання руху поділяють на *латентний період*, тобто час від моменту появи сигналу до початку виконання керуючих рухів, і тривалість *моторної дії* – фактичний час виконання руху.

Мінімальний час (0,17 с) оператор витрачає на рухи, що виконуються пальцями рук. Якщо цей час прийняти за одиницю, то для виконання рухів кісткою та пальцями необхідні дві одиниці часу; передпліччям, кісткою та пальцями – три; рукою у плечовому суглобі – чотири; на нахил та підйом корпусу – сімнадцять.

Силові характеристики визначають зусилля, що розвиваються під час виконання рухів. Сила різних м'язових груп руки коливається у широких межах.

Середнє зусилля, що розвивається людиною:

- притягування ривком до корпусу двома руками: до 1000 Н;
- тривале притягування: від 250 Н до 300 Н;
- тривале стискування кістею: до 150 Н.

Важливою характеристикою, що впливає на розбиття конструкції РЕЗ на окремі частини, є здатність до підняття і переміщення вантажу. Навантаження до 6 кг вважають легким, від 6 кг до 15 кг – помірним, від 15 кг до 30 кг – середнім, від 30 кг до 50 кг – важким.

Бажано, щоб маса вантажу, розташованого поблизу підлоги, не перевищувала 30 кг, а того, що піднімається до рівня грудей – 15 кг. Здатність до підйому та переміщенню вантажу має важливе значення при врахуванні вимог до транспортування та розгортання РЕЗ.

3.1.3.3 Фізіологічні та психофізіологічні показники

Приєм та первинну обробку інформації про стан РЕЗ, зовнішнього середовища та самого оператора забезпечують аналізатори, що складаються з чутливого органу (рецептора), певної ділянки головного мозку, прямих та зворотних нервових зв'язків між ними. Кожен з аналізаторів визначає сукупність параметрів. Оскільки оператор РЕЗ у більшості випадків працює в комфортних умовах, то для конструювання РЕЗ становлять інтерес не граничні значення параметрів, а такі, що забезпечують стійку та надійну роботу.

Більше 90% інформації людина отримує через **зоровий** і **слуховий** аналізатори.

Решта інформації надходить через **тактильний** (рецептори шкіри), **кінестатичний** (рецептори в м'язах і сухожиллях) і **вестибулярний** аналізатори.

3.1.3.3.1 Зоровий аналізатор

З усіх ергономічних показників найважливішими є психофізіологічні показники людини і їх домінуючий фактор – зір. Це обумовлене тим, що за допомогою зору людина отримує від 30% до 90 % всієї інформації.

Здатність оператора сприймати зорову інформацію оцінюється полем зору, гостротою зору, акомодацією, адаптацією, конвергенцією, колірним сприйняттям та деякими іншими параметрами.

На рис. 3.4 представлені просторові характеристики ока, пов'язані з **полем зору** – простором, у якому розміщені системи відображення інформації (СВІ).

Детальне сприйняття зорових образів можливе у дуже вузькій центральній частині поля зору розміром до 3° від осі зору на всі боки.

У зоні зручного спостереження **2**, в якій розпізнають взаємне розташування або форму об'єктів, додатково виділяють зону оптимального огляду **1** розміром 15° від осі зору на всі боки.

Зона **3** відповідає кутам зору оператора при повороті голови, зона **4** – голови та очей [22].

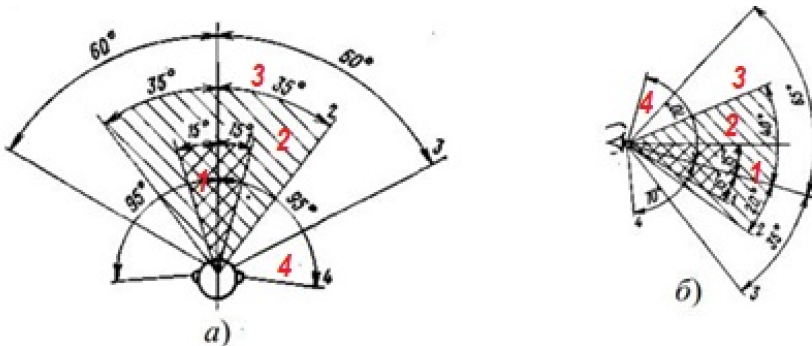


Рисунок 3.4 – Кути та зони зору ока у горизонтальній (а) та вертикальній (б) площинах

Виходячи з особливостей периферійного зору сприймати слабкі світлові сигнали, індикатори аварійної сигналізації слід розташовувати на краях пульта. При цьому безперервні сигнали сприймаються швидше.

Гострота зору – це особливість ока виявляти малі предмети. Ця властивість залежить від освітленості об'єкта, тривалості сприйняття, виду об'єкта.

Гострота зору визначається кутом $\varphi = \frac{\Delta}{l}$, під яким дві віддалені на відстань l від ока точки із зазором між ними Δ видно як роздільні.

За умовну одиницю гостроти зору прийнято кут зору, який дорівнює одній кутовій хвилині, але при розробці РЕЗ зазвичай виходять з мінімального кута зору оператора від $10'$ до $20'$, що при звичайній відстані l від ока до передньої панелі РЕЗ у 1 м відповідає зазору Δ від $0,5$ мм до $1,0$ мм.

Акомодація – здатність ока зробити зусилля для фокусування на близьких об'єктах, іншими словами – здатність чітко бачити і без напруги переводити погляд на різні предмети.

З віком кришталік втрачає свою еластичність, тому здатність до акомодатії найвища у дитина та зменшується з віком.

Так, око дитини акомодується з відривом 60 мм; у 20 років – 100 мм; у 40 років – 220 мм; у 60 років – 1000 мм.

Час акомодатії зазвичай становить від 0,6 с до 1,2 с.

Адаптація – зміна чутливості ока залежно від впливу на нього подразників. При переході зі світлого в темне приміщення, і через 1 годину перебування там чутливість ока збільшується у десятки тисяч разів. Для пристосування ока до темряви потрібно 20 хв.

Конвергенція – час націлювання ока на одну точку. Середній час націлювання та фокусування становить приблизно 165 мс; під час читання – 20 мс.

Колірне сприйняття ока полягає в здатності розрізнити кольори за кольором, насиченістю та контрастністю.

Кольори поділяються на:

– ахроматичні (безбарвні), до яких відносяться білий, чорний і сірий, одержуваний змішуванням білого та чорного;

– хроматичні, до яких відноситься решта кольорів.

Для **ахроматичних** кольорів між білими і чорними кольорами можна розташувати нескінченно велику кількість проміжних кольорів і отримати тим самим шкалу зменшення світлості. При цьому слід враховувати також величину B – яскравість кольору, яка залежить від освітленості E :

$$B = \frac{\rho E}{\pi}$$

де ρ – коефіцієнт відбиття поверхні, який залежить від кольору.

Наприклад, для білого кольору ρ дорівнює 0,85; для жовтого світлого – 0,75; для сірого світлого – 0,75, темного – 0,3; зеленого світлого – 0,65, темного – 0,07; синього світлого – 0,55, темного – 0,08; брунатного – 0,1.

Для порівняння кольорів за світлостю використовують характеристику **яскравісного контрасту**:

$$K = \frac{r_1 - r_2}{r_1}$$

де r_1 , r_2 – коефіцієнти яскравості порівнюваних за кольором ділянок.

Розрізняють контрастність пряму, коли об'єкт темніший за фон і зворотну, коли об'єкт яскравіший або світліший за фон. Рекомендується робити контрастність від 65% до 95%.

Існують три контрастні норми:

- K від 0,2 до 0,25 – контраст помітний;
- K від 0,4 до 0,45 – контраст добрий;
- K від 0,7 до 0,75 – контраст сильний.

Між цими нормами знаходяться 4 контрастні зони (рис. 3.5):

- зона малопомітних контрастів; K від 0 до 0,2 – використовується для поверхонь, які не потребують виділення на фоні;
- зона нормальних контрастів; K від 0,25 до 0,45 – застосовується для органів керування при кольоровому забарвленні;
- зона підвищених контрастів; K від 0,5 до 0,7 – застосовується для органів керування, які необхідно швидко розпізнавати, та для написів;
- зона різко помітних контрастів; K від 0,75 до 1,0 – застосовується у системах відображення інформації (шкали, стрілочні індикатори тощо).

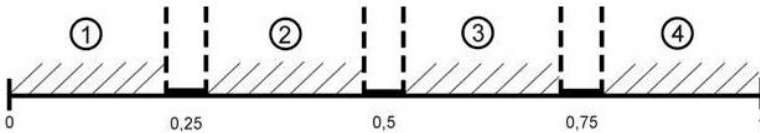


Рисунок 3.5 – Контрастні зони

Найважливішою властивістю кожного *хроматичного* кольору є його тон, який визначається довжиною хвилі (від 780 мкм до 300 мкм). Кольори у спектрі плавно переходять один до одного.

Усі хроматичні кольори поділяються на три основні групи:

- довгохвильові (червоний, червоно-помаранчевий, помаранчевий);
- середньохвильові (жовтий, жовто-зелений, зелений);
- короткохвильові (блакитний, синій, фіолетовий).

Кольори, які містять більше червоного, помаранчевого, жовтого називають теплими, а блакитний, синій, фіолетовий – холодними.

Крім того, колір асоціюється у людини з поняттями наближеності та віддаленості, легкості та важкості.

До світлих та легких відносяться зелений, помаранчевий, жовто-зелений та жовтий; до темних та важких – червоний, блакитний, синій, фіолетовий.

Якщо розташувати видиму частину спектра за колом, це колірне коло матиме 24 норми кольору, кожна з яких має свою назву (рис. 3.6).

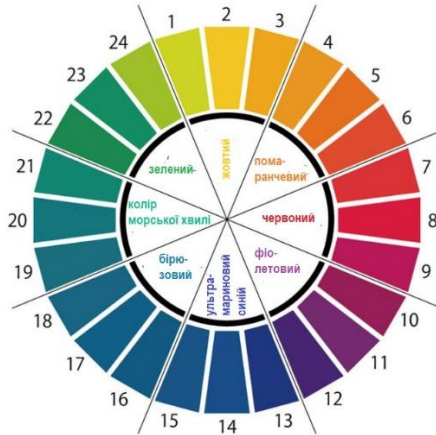


Рисунок 3.6 – Колірне коло

Назви колірних норм (відповідно до рис. 3.6):

- 1 – лимонно-жовтий;
- 2 – жовтий середній;
- 3 – золотаво-жовтий;
- 4 – жовто-помаранчевий;
- 5 – червоно-помаранчевий;
- 6 – сигнальний червоний;
- 7 – червоний середній;
- 8 – нормально-червоний;
- 9 – пурпурово-червоний;
- 10 – пурпурово-фіолетовий;
- 11 – фіолетовий;
- 12 – синьо-фіолетовий;
- 13 – фіолетово-синій;
- 14 – ультрамарин;
- 15 – синій середній;
- 16 – зелено-синій;

- 17 – синій;
- 18 – бірюзовий (синьо-зелений);
- 19 – колір морської хвилі;
- 20 – смарагдовий;
- 21 – середній зелений;
- 22 – жовто-зелений;
- 23 – трав'яна зелень;
- 24 – зеленувато-жовтий.

Для порівняння хроматичних кольорів використовують поняття **колірного контрасту**, який описує різницю між різними тонами кольору.

Максимальний колірний контраст дають норми, що знаходяться на протилежних кінцях діаметра колірного кола (наприклад, червоний 5 на синьо-зеленому 18; жовтий 1 на фіолетовому 13).

Здатність ока розрізняти кольори характеризується такими поняттями, як диференціальний поріг та ахроматичний інтервал.

Диференціальний поріг характеризує здатність ока сприймати відмінності у яскравості.

Можливість розрізняти кольори різко збільшує обсяг інформації, що отримується оператором. За середніх розмірів об'єктів, освітленості та інших умов оператор може впевнено розпізнавати та класифікувати лише близько десяти відтінків.

При значенні диференціального порогу менше 10 око не помічає хроматичність випромінювання, і кольори погано помітні на периферії поля зору.

Ахроматичний інтервал є різницею в порогових яскравостях, при яких об'єкт сприймається взагалі і розпізнається його колір. Мінімальний ахроматичний інтервал має червоний колір, що, незважаючи на погану чутливість ока в тій області, є однією з причин використання червоного кольору для сигналів небезпеки або заборони.

Наприкінці слід зауважити, що зорові відчуття, так само, як і керуючі рухи, мають прихований (латентний) період від пред'явлення предмета до появи відчуття та період збереження зорового відчуття при усуненні предмета, який дорівнює від 0,1 с до 0,2 с. Це призводить, по-перше, до обмеження швидкісних можливостей оператора, по-друге, до неможливості розрізняти світлові імпульси, що швидко слідують один за одним. Для надійної фіксації миготіння частота проходження імпульсів повинна бути не вище 10 Гц.

3.1.3.3.2 Слуховий аналізатор

Слуховий аналізатор приймає сигнали в діапазоні від 16 Гц до 20000 Гц.

Найважливішими характеристиками звукових сигналів є **частота** і **гучність** – суб'єктивне враження від впливу звукових коливань на органи слуху, що насамперед залежить від звукового тиску.

Мінімальний звуковий тиск, необхідний для того, щоб звук був чутний, називається порогом чутності. Порог чутності залежить від частоти і в діапазоні від 800 Гц до 2000 Гц становить приблизно $2 \cdot 10^5$ Па.

Тиску, що викликає неприємні відчуття шуму поблизу працюючого авіаційного двигуна, відповідає рівень 130 дБ.

Розподіл звукових відчуттів в залежності від гучності та частоти наведений на рис. 3.7.

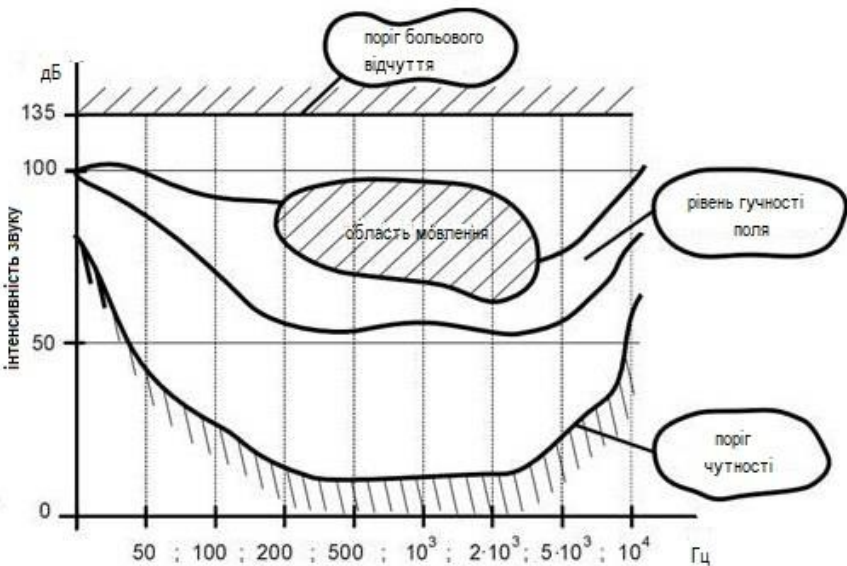


Рисунок 3.7 – Розподіл звукових відчуттів в залежності від гучності та частоти

Слуховий аналізатор має *диференціальну здатність* до сприйняття змін гучності та висоти тонів (частоти). Хоча кількість градацій в обох випадках велика, для впевненої та швидкої класифікації при роботі оператора використовують не більше десяти значень.

Завдяки сприйняттю звуку двома вухами можлива *просторова локалізація джерела звуку*.

Хоча слухова система має гіршу, ніж зорова, роздільну здатність, в неї є унікальна можливість локалізації положення джерела, що знаходиться в будь-якій точці сфери, без повороту голови або корпусу.

Аварійні сигнали, що вимагають негайної реакції оператора незалежно від його місцезнаходження та діяльності, повинні мати високу інтенсивність, щоб придушити інші сигнали. Навпаки, сповіщаючі звукові сигнали, наприклад сигнал виклику за допомогою зумера у внутрішніх переговорних пристроях, повинні впливати м'яко.

Звукові сигнали зазвичай дублюють оптичними. Латентний період слухового аналізатора приблизно такий самий, як у зорового (від 0,1 с до 0,2 с).

3.1.3.3 Шкірні аналізатори

Шкірні аналізатори забезпечують сприйняття дотику, болю, тепла і холоду. За своєю чутливістю до тих чи інших впливів вони різко відрізняються на різних ділянках шкіри.

Найбільший інтерес з погляду оператора РЕЗ становить чутливість до дотику (тактильна). Оператори широко використовують дотик при локалізації місця розташування та розпізнавання форми органів керування, особливо при їхньому розташуванні на периферії інформаційного поля або за недостатньої освітленості.

Деякі шкірні аналізатори при роботі оператора РЕЗ грають допоміжну роль, наприклад обмацування елементів, що гріються.

3.1.3.4 Психологічні показники

До психологічних факторів оператора РЕЗ відносяться елементи сприйняття, переробки та передачі інформації.

Швидкість сприйняття інформації залежить від її смислового значення. Осмислена інформація сприймається зі швидкістю від 15 біт/с до 20 біт/с, де 1 біт позначає кількість інформації прийому та може дорівнювати 0 або 1.

(Наприклад, цифра в десятковій системі містить 3,3 біт, буква – 5 біт, обсяг короткочасної пам'яті у людини від 1000 біт до 100000 біт, загальний обсяг – 1020 біт).

Здатність людини-оператора сприймати інформацію, пов'язана з темпом чи швидкістю її надходження, наведена на рис. 3.8.

З рис. 3.8 можна зробити наступні висновки.

Низький темп подачі вхідної інформації проявляється у падінні активності людини.

Високий темп подання вхідної інформації приводить до різкого зростання помилок.



Рисунок 3.8 – Здатність людини-оператора сприймати інформацію

Тому при проектуванні пультів та індикаторних пристроїв необхідно орієнтуватися на оптимальну швидкість видачі інформації, що не перевищує пропускну здатність оператора. При цьому слід враховувати час на передачу оператором засвоєної ним інформації (тобто час на перехід інформації з одного виду до іншого – з візуального до звукового і т.ін.).

3.1.4 Органи керування

До органів керування (ОК) належать: тумблери, перемикачі, ручки, кнопки, клавіші, важелі і т.ін.

ОК передбачають наступні дії оператора:

– перемикання – плавне або ступінчастого переміщення робочого органу в одне із кількох положень;

– установка – плавне переміщення робочого органу в одне з багатьох можливих положень (наприклад, установка робочої частоти з контролем за індикатором);

– керування – плавне переміщення органу до одного з багатьох положень, яке постійно змінюється.

До ОК пред'являються вимоги швидкості передачі інформації від оператора, надійності роботи, естетичності, технологічності конструкції, тому вони повинні забезпечувати швидко і точно переміщення, при цьому бути легко помітними, а їхня форма – зручною для керування.

Всі ОК складаються з вузла перемикання або регулювання та приводного пристрою, що передає зусилля оператора. В залежності від типу приводного пристрою ОК поділяють на кнопки (клавіші), тумблери, поворотні перемикачі та регулятори.

Розрізняють наступні показники ОК:

– функціональні: характер керуючих рухів та ступінь їхньої відповідності стереотипам руху, керуючі зусилля;

– електричні: кількість ланцюгів, що перемикаються, струми, діапазон частот;

– конструктивні: зручність установки, габаритні розміри, конструкція приводного пристрою та його естетичне оформлення.

За призначенням ОК розділяються на виконавчі (кнопки, тумблери, клавіші) й регулювальні (ручки, перемикачі, клавіші).

За конструктивною реалізацією ОК розділяються на керовані одним пальцем (натискні, пересувні) та двома і більшою кількістю пальців (поворотні, багатообертові, підйомні).

3.1.4.1 Кнопкове та сенсорне керування

У сучасних РЕЗ для керування широко використовують **кнопкові перемикачі**, які дозволяють здійснювати складну комутацію електричних ланцюгів за допомогою рухів, що найбільш швидко і легко виконуються – натиском пальцем руки.

У якості перемикаючих вузлів в малопотужних низькочастотних ланцюгах використовують стандартні мікроперемикачі.

Головки кнопок можуть мати квадратну, прямокутну або круглу форми, причому для кнопок, що часто використовуються, кругла форма не рекомендується.

У РЕЗ найбільшого 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. Чим швидше й частіше оператору приходиться працювати з кнопками, тим більші розміри вони повинні мати.

Зазвичай, кнопки мають форму, близьку до квадрата, але найважливіші виділяють збільшенням одного з боків.

Для зменшення стомлюваності при частих перемиканнях бажано, щоб зусилля натискання кнопки не перевищувало 0,5 Н, проте малі зусилля та малий робочий хід не дозволяють використовувати кінестостатичний аналізатор та чітко індукувати факт перемикання. Тому зусилля натискання часто використовуваних кнопок повинно складати від 1 Н до 6 Н, рідко використовуваних і найбільш відповідальних – від 6 Н до 12 Н, при цьому глибина вдавлення кнопок повинна становити від 2 мм до 5 мм і від 6 мм до 12 мм відповідно.

Для надійного встановлення пальця робоча поверхня кнопок повинна мати невелику увігнутість.

Найбільш розповсюджені форми кнопок та відповідні до них максимальні зусилля натискання показані на рис. 3.9.

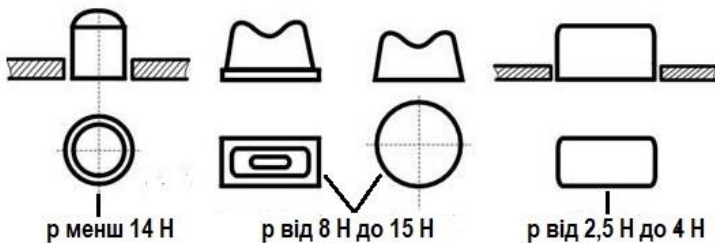


Рисунок 3.9 – Форми кнопок

На рис. 3.10 наведений зовнішній вигляд деяких сучасних перемикачів з кнопками різних форм.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд кнопкових перемикачів

У кнопках без фіксації перемикання визначають за зростанням зусилля пальця, що натискає, і легким клацанням, що визначається на слух. В такому випадку зручнішими є кнопки з підсвічуванням.

Кнопкові перемикачі, об'єднані в групи, називають *клавішами* або *клавіатурами*.

На рис. 3.11 показана досить розповсюджена механічна клавіатура для персонального комп'ютера.



Рисунок 3.11 – Комп'ютерна клавіатура

Поряд з кнопками, що механічно перемикаються, широке поширення отримало так зване *сенсорне керування*, що використовує для перемикання ефект зміни ємності електронної схеми при дотику пальця оператора до спеціально виділеного місця.

Перевагою таких ОК є мінімальне (нульове) зусилля, але це одночасно є і недоліком, тому що через відсутність механічних

переміщень для фіксації перемикачів для сенсорних перемикачів необхідна візуальна індикація стану за допомогою СВІ.

Зараз сенсорні ОК є невід'ємною частиною багатьох сучасних пристроїв, таких, як планшети, мобільні телефони, інтерактивні сенсорні панелі тощо. На рис. 3.12 показані сучасні сенсорні панелі оператора для керування технологічними процесами, на рис. 3.13 – інтерактивна сенсорна панель, що використовується у сфері освіти.



Рисунок 3.12 – Сенсорні панелі оператора для керування технологічними процесами



Рисунок 3.13 – Використання інтерактивної сенсорної панелі в сфері освіти

3.1.4.2 Тумблери

Тумблери (перекидні вимикачі) застосовують у випадках, коли потрібно забезпечити два-три дискретних стани перемикача, що чітко контролюються зорово або навіщомацки.

При переведенні тумблерів з одного положення в інше повинен відчуватися перепад значень пружного опору, а при перемиканні характерне клацання.

Конструкції тумблерів залежать від виконуваних ними функцій. Найбільш розповсюдженою є конструкція, наведена на рис. 3.14.

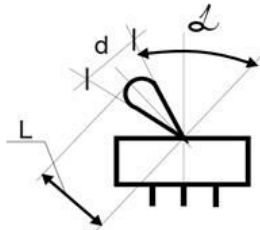


Рисунок 3.14 – Конструкція тумблера

Довжина приводного елемента (важеля) тумблера L становить від 9 мм до 50 мм; кут переміщення α від 40° до 120° ; діаметр конуса важеля d від 3 мм до 15 мм.

Припустиме зусилля перемикання не повинне перевищувати від 3 Н до 5 Н.

За наявності на панелі великої кількості тумблерів їх необхідно кодувати формою приводного елемента, розмірами та кольором.

Деякі можливі форми приводних елементів тумблерів наведені на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд тумблерів

3.1.4.3 Регулятори та поворотні перемикачі

ОК цього виду призначені для плавного чи ступінчастого регулювання параметрів РЕЗ або послідовного багатопозиційного перемикання ланцюгів [23].

Керування регуляторами та поворотними перемикачами відбувається за допомогою різних ручок або рукояток.

Діаметр ручок регуляторів плавного регулювання (змінних резисторів, конденсаторів тощо) повинен знаходитися у межах від 10 мм до 15 мм, хоча за певних умов може бути збільшений. Їхня висота зазвичай знаходиться у межах від 12 мм до 20 мм. Для забезпечення доброго зчеплення з рукою на зовнішній поверхні ручки виконують зубці і западини, рівномірно розподілені за колом.

Зовнішній вигляд деяких ручок змінних резисторів наведений на рис. 3.16.

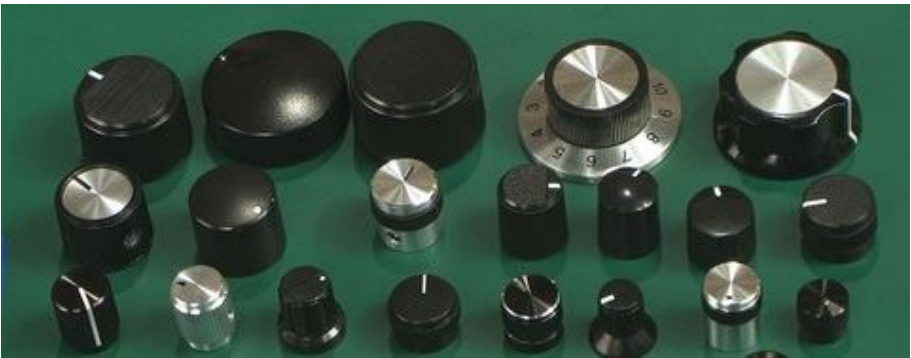


Рисунок 3.16 – Зовнішній вигляд ручок змінних резисторів

При збільшенні крутильного моменту, потрібного для повороту відносно осі ОК в конструкціях багатопозиційних перемикачів дискретного типу (наприклад, галетних перемикачів) застосовують ручки-показчики типу "дзьобик" (див. рис. 3.17), довжина приводного елемента яких повинна бути не менш 20 мм, а висота – не менш 10 мм. При цьому зусилля оператора становить від 1 Н до 2 Н.



Рисунок 3.17 – Зовнішній вигляд ручок галетних перемикачів

3.1.4.4 Повзункові перемикачі

Повзункові перемикачі – це пристрої комутації повзункового типу, призначені для комутування та перемикання електричного ланцюга постійного та змінного струму за рахунок поступового руху вузла перемикання. За типом розташування контактів повзункові перемикачі поділяються на кутові та прямі.

На рис. 3.18 наведений зовнішній вигляд повзункових змінних резисторів, розташованих на друкованій платі, на рис. 3.19 – повзункового перемикача SS-24D02G4 на 4 положення.



Рисунок 3.18 – Зовнішній вигляд повзункових змінних резисторів

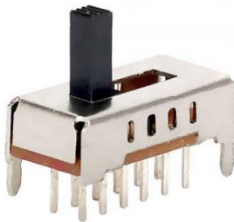


Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд повзункового перемикача SS-24D02G4 на 4 положення

Особливістю поворотних та повзункових перемикачів є ковзний контакт, який забезпечує більш високу стабільність перехідного опору та надійність комутації порівняно з розривними контактами.

Однак у ковзних контактів активніше протікають процеси зношування, тому кількість перемикачів у таких перемикачів приблизно на порядок менше, ніж у перекидних і кнопкових. Саме тому у сучасних РЕЗ поворотні та повзункові перемикачі успішно витісняються кнопковим та сенсорним керуванням, позбутим від зазначених недоліків.

3.1.5 Системи відображення інформації

3.1.5.1 Одиничні індикатори

Для подачі попереджувальних або аварійних сигналів, індикації двох-трьох станів РЕЗ застосовують одиничні індикатори, до яких відносяться: світлодіоди, малогабаритні лампи розжарювання та сигнальні газосвітлі лампочки.

Приладові лампи розжарювання та газосвітлі лампочки є ненадійними елементами (їхній термін служби становить від 10 год. до 1000 год.), тому їх слід розташовувати у легкодоступних місцях, встановлювати в легкороз'ємні утримувачі – патрони, які закривають напівпрозорими ковпачками різних кольорів.

Останнім часом вони практично не використовуються; їм на заміну прийшли світлодіоди, що мають набагато більший термін служби та високу надійність. Зовнішній вигляд світлодіодів наведений на рис. 3.20.



Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд світлодіодів

3.1.5.2 Знакосинтезуючі цифрові індикатори

У матричних індикаторах зі знаковисинтезуванням будь-який допустимий символ формують із постійного набору елементів (сегментів), що висвічуються у тих чи інших поєднаннях (див. рис. 3.21).



Рисунок 3.21 – Зовнішній вигляд знаковинтезуючого дисплею

Цей спосіб побудови цифр та букв добре поєднується з дискретним комбінаторним керуванням, що легко реалізується в РЕЗ на цифрових мікросхемах.

За фізичним принципом роботи СВІ зі знаковинтезуванням розділяються на електролюмінесцентні, вакуумні люмінесцентні, світловипромінюючі діодні та рідкокристалічні.

Електролюмінесцентні індикатори мають плоску конструкцію, що дає великий кут огляду, високу механічну міцність, низьку вартість. Вони багатобарвні, що забезпечує додаткове кодування кольорів інформації. Основні недоліки: невисока яскравість та її зменшення у кілька разів протягом першої тисячі годин експлуатації; необхідність спеціальних ланцюгів живлення та керування, що не узгоджуються з ланцюгами живлення ІМС.

Вакуумні люмінесцентні індикатори мають високу яскравість, можливість отримання символів декількох кольорів на одному індикаторі, малу споживану потужність, здатність перемикання за допомогою звичайних цифрових ІМС, але їм властива низька механічна міцність.

У **світлодіодних** індикаторів висока механічна міцність, сумісна з ІМС робоча напруга, великий термін служби. Основний недолік – малі розміри поверхонь, що світяться.

На рис. 3.22 показаний зовнішній вигляд високоточного цифрового амперметра-вольтметра на основі світлодіодного 4-символьного дисплею.



Рисунок 3.22 – Зовнішній вигляд високоточного цифрового амперметра-вольтметра

Останнім часом широкого застосування знайшли світлодіодні (LED) світлові табло, які мають в основі формування зображення матрицю із світлодіодів одного або кількох кольорів. Кожен світлодіод у такому табло керується мікроконтролером окремо. Вони використовуються у якості рекламних плакатів, щитів з об'явами тощо. У РЕЗ світлові табло використовуються, якщо необхідно повідомити додаткову текстову інформацію, наприклад, вказівки до дії, або індикувати відносно велику кількість станів.

Приклад світлодіодного (LED) світлового табло наведений на рис. 3.23.



Рисунок 3.23 – Зовнішній вигляд LED-табло

У *рідкокристалічних* індикаторів високі значення контрастності (до 100:1) можна отримати при яскравому освітленні, наприклад, на відкритому повітрі. Індикатори мають плоску

конструкцію, малу потужність, невисоку вартість, сумісність з ІМС. Недоліки: обмежений температурний діапазон, мінімальна швидкодія, необхідність підсвічування при низьких рівнях освітленості.

Всі вказані типи індикаторів випускають як в однорозрядному, так і багаторозрядному виконанні, що спрощує їх кріплення на передній панелі, покращує зовнішній вигляд приладу.

3.1.5.3 Електронно-променеві трубки (ЕПТ)

ЕПТ дозволяють представити інформацію у вигляді наочних моделей, що найбільш швидко розпізнаються оператором – наприклад, зображень обстановки на індикаторі РЛС, осцилограм сигналів і т.ін. При конструюванні РЕЗ слід враховувати, що ЕПТ є зазвичай найбільш складними і габаритними виробами, вимагають додаткового введення значних за об'ємом та масою вузлів, наприклад високовольтних, електромагнітного екранування трубки і т.ін.

3.1.5.4 Плоскі матричні екрани

Плоскі матричні екрани фактично є знаковисинтезуючими індикаторами з точковими сегментами.

Газорозрядні індикаторні панелі змінного струму містять досить велику кількість елементів (1024x1024), мають хорошу роздільну здатність (від 5 до 10 елементів на сантиметр), можуть бути червоного, жовтого, зеленого та синього кольорів світіння. Незважаючи на відносно невеликі габарити, плоскі матричні індикатори є досить складними виробами, наприклад індикатор ШВ Л Г1-128/128 з матрицею 128x128 точок при розмірах інформаційного поля 127x127 мм має 579 виводів.

В даний час застосовуються електролюмінесцентні матричні вакуумні та безвакуумні екрани. На рис. 3.24 наведений зовнішній вигляд тонкоплівочного електролюмінесцентного малоформатного графічного дисплею TFEL EL320.240.36, створеного із застосуванням технології ICEBrite™ з підвищеною контрастністю та яскравістю.



Рисунок 3.24 – Зовнішній вигляд графічного дисплею TFEL EL320.240.36

3.1.5.5 Аналогові індикатори

Незважаючи на безліч переваг цифрових індикаторів, вони незручні, коли треба швидко оцінити значення параметрів, визначити межі їхнього знаходження, швидкість або характер зміни. У режимі стеження, налаштування та регулювання іноді доцільніше застосування аналогових індикаторів, які представляють певний стан у вигляді функції довжини, кута чи іншого параметра.

У оптичних аналогових індикаторів інформація може бути представлена у вигляді функції руху стрілки, довжини бруса або порівняних величин. Найбільш поширеними є так звані *стрілочні (шкальні) індикатори*, які представляють інформацію положенням стрілки відносно певної позначки на шкалі. Такі індикатори, наприклад, зручні для контролю параметрів електрорадіоелементів під час вхідного чи вихідного контролю, при визначенні напрямку зміни параметру, вимірюванні власної резонансної частоти тощо.

При виборі стрілочного індикатора необхідно знати, в якому режимі він використовуватиметься. Швидкість та точність зчитування показань багато в чому залежить від характеру руху елементів індикатора та форми шкали.

В залежності від *характера руху* стрілочні індикатори бувають з рухомою стрілкою і нерухомою шкалою (рис. 3.25, а) та з рухомою шкалою і нерухомою стрілкою (рис. 3.25, б, в).

При короткій експозиції (менш 0,5 с) точніше зчитуються показання приладів з рухомою стрілкою та нерухомою шкалою, тому вони переважно використовуються для налаштування та стеження.

Зі збільшенням експозиції перевага надається приладам з рухомою шкалою.

Шкали типу "відкрите вікно" (рис. 3.25, б), розташовані за панеллю приладу, застосовуються при широкому діапазоні вимірювань, швидкому зчитуванні точних значень, проте вони ускладнюють конструкцію передньої панелі.

Рухому шкалу з нерухомою стрілкою (точкою відліку) отримують при нанесенні на приводні елементи ОК лімбів налаштування (рис. 3.25, в).

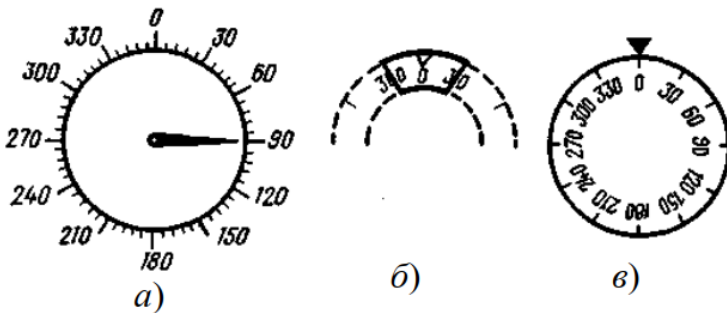


Рисунок 3.25 – Шкали круглого типу

За формою шкали бувають круглими та лінійними – горизонтальними чи вертикальними.

Слід врахувати, що форму шкали необхідно вибирати з урахуванням характеру інформації, для якої вона призначена.

Найкращі результати дає кругла, за нею слідує напівкругла і прямолінійна горизонтальна шкала, а найгірші – вертикальні шкали.

Але для приладів, за допомогою яких контролюються параметри глибини, висоти, температури, найкращими є вертикальні шкали.

При компонуванні стрілочних приладів слід враховувати градування шкали, позначки на шкалі та ширину вістря стрілки.

Шкали приладів градууюють штриховими відмітками, які поділяють на головні, середні та дрібні. Точність зчитування залежить від розмірів позначок та відстані між ними. Оптимальна довжина інтервалу між головними відмітками від 12,5 мм до 18 мм для дистанції спостереження 750 мм.

Кількість позначок на шкалі має перевищувати мінімально необхідну для потрібної точності, але слід пам'ятати, що збільшення кількості дрібних позначок призводить до зниження швидкості та точності зчитування.

Для впевненого та швидкого розпізнавання показань індикатора, відстані між позначками та написи виконують відносно великими (рис. 3.26), щоб при відстані до ока оператора близько 1 м забезпечити достатній (не менше 20') кут зору між сусідніми поділами.

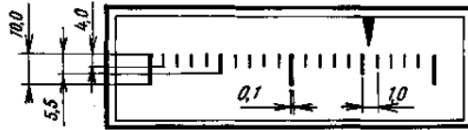


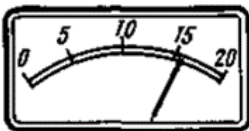
Рисунок 3.26 – Рекомендовані розміри елементів шкали

Для зменшення помилок зчитування на шкалах ціна поділу повинна містити не більше двох цифр, а далі вводиться коефіцієнт 10^n .

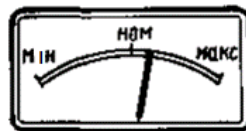
Для позначення ціни поділу рекомендується використовувати послідовності цифр: 1; 2; 3; 4; 5... або 5; 10; 15; 20...

Не рекомендується використовувати послідовності цифр: 3; 6; 9...; 4; 8; 12; 16...; 0; 2.5; 7.5.

Якщо треба оцінити потрапляння контрольованого параметра в допустимий інтервал значень, доцільнішим є градуювання за рис. 3.27, б, ніж за рис. 3.27, а, оскільки після відволікання уваги не потрібно згадувати положення стрілки.



а)



б)

Рисунок 3.27 – Вибір доцільного градуювання шкали

При конструюванні стрілочних індикаторів слід також враховувати наступні вимоги:

- градування шкал не повинно бути дрібнішим, ніж вимагає точність самого приладу;
- для полегшення контрольного зчитування робочі та перевантажувальні діапазони слід виділяти кольором;
- фон шкали повинен бути матовим, а на стінках приладу не повинні спостерігатися відблиски;
- фон шкали не повинен бути темнішим за панель, в той час як каркас шкали може бути темнішим;
- між кольором фону шкали та кольором поділів та написів потрібно зберігати максимальну контрастність;
- освітлення шкали має бути рівномірним, а ступінь освітленості має регулюватися.

При недостатній освітленості робочого місця використовують підсвічування шкал за допомогою світлодіодів, здійснюючи його прямим або відбитим світлом. При організації підсвічування очі оператора слід захистити від прямого влучення світла.

На рис. 3.28 – 3.31 показані сучасні ергономічні стрілочні індикатори, що застосовуються у DIY-підсилювачах потужності.



Рисунок 3.28 – Індикатор TN-90A-BGB-S0466 під стиль McIntosh



Рисунок 3.29 – Круглий індикатор під стиль ретро



Рисунок 3.30 – Індикатор TN-73



Рисунок 3.31 – Високоточний індикатор P-173

3.1.6 Організація робочого поля оператора

3.1.6.1 Варіанти просторової організації робочого поля оператора

Частина простору, де зосереджені СВІ та ОК в обсязі, достатньому для функціонування системи, називають *робочим полем оператора*.

В залежності від складності конструктивного виконання та розташування РЕЗ на об'єкті установки можливі наступні варіанти просторової організації робочого поля оператора:

- на передніх панелях окремих РЕЗ, рознесених один від одного у просторі (рис. 3.32, а);
- на передніх панелях окремих РЕЗ, згрупованих у стелажах, шафах чи робочих столах операторів (рис. 3.32, б);
- вбудовані в стійки інформаційних панелей, на які виведено оперативні СВІ та ОК блоків (рис. 3.32, в);
- на панелях пультів відображення інформації та керування, спеціально введених у складі складних комплексів (рис. 3.32, г).

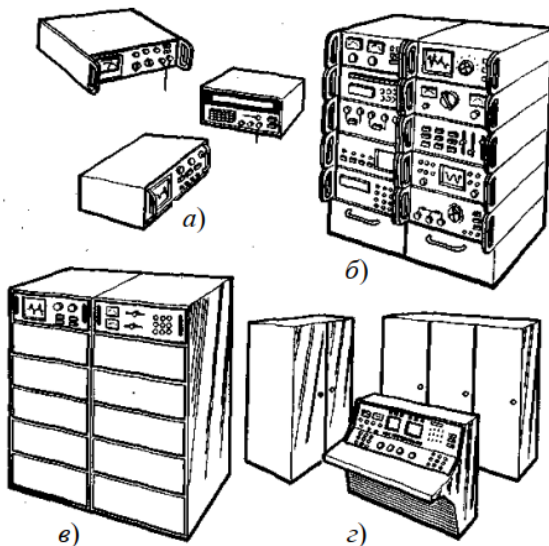


Рисунок 3.32 – Просторова організація робочого поля оператора

У пультах зосереджені всі технічні засоби, необхідні для оперативного керування РЕЗ. На рис. 3.33 наведений пульт, призначений для розміщення радіоелектронних засобів, засобів відображення інформації та органів керування у морському виконанні.



Рисунок 3.33 – Пульт для розміщення РЕЗ

З погляду роботи оператора найменш зручним є перший варіант робочого поля, найбільш – останній (пульт), проте введення пульта ускладнює та здорожчує конструкцію системи, вимагає додаткових кабельних та джгутових з'єднань, а найчастіше – введення систем дистанційного керування та телеметрії.

3.1.6.2 Загальні ергономічні вимоги до організації робочого поля оператора

При організації робочого поля оператора слід враховувати наступні ергономічні вимоги.

3.1.6.2.1 Вибір форми виробу й співвідношення розмірів його сторін, колірне рішення передньої панелі й корпусу повинні забезпечувати оптимальний режим роботи оператора.

3.1.6.2.2 Розташування приладів і ОК повинно забезпечувати зручне положення людини при роботі.

3.1.6.2.3 Робоча площина повинна знаходитися на зручній висоті з урахуванням робочого положення й відстані до очей.

3.1.6.2.4 ОК керування повинні бути розміщені в межах досяжності з урахуванням положення тіла оператора при роботі.

3.1.6.2.5 Форма, розміри й матеріал ОК повинні відповідати прикладеному зусиллю, припустимому з погляду фізіології.

3.1.6.2.6 ОК і СВІ повинні бути розміщені на оптимальній відстані в полі зору, розподіли шкал видні досить чітко, індикатори розташовані досить близько до відповідних ОК.

3.1.6.2.7 ОК і СВІ повинні бути забезпечені чіткими лаконічними написами, контрастними до фону робочої площини.

3.1.6.2.8 В однотипній апаратурі ОК повинні бути розташовані однаково, а також так, щоб за їхнім положенням можна було швидко визначити ситуацію (наприклад, ВКЛ/ВИКЛ).

3.1.6.2.9 Рука при переміщенні ОК не повинна закривати пояснювальні написи та шкалу індикатора.

3.1.6.2.10 Режим роботи оператора повинен допускати правильне чергування роботи й відпочинку, а також динамічних і статичних видів навантаження.

3.6.2.11 Повинна існувати відповідність між переміщенням ОК і викликаними ними ефектами.

3.1.6.2.12 ОК і СВІ повинні бути розміщені в послідовності, що відповідає послідовності роботи з ними для того, щоб органи зору й керування людини рухалися в одному напрямку без різких стрибків і зигзагів.

3.1.6.2.13 При роботі з двома і більш ручками регулювання руки оператора не повинні перехрещуватися.

3.1.6.2.14 При роботі двома руками рухи оператора повинні бути симетричними та синхронними.

3.1.6.2.15 При наявності декількох рознесених пультів їхній склад і розташування повинні бути добре продумані.

3.1.6.2.16 Фізичне й психофізіологічне навантаження при роботі повинно відповідати можливостям операторів (чоловіків, жінок, молодих і літніх працівників).

3.1.6.3 Проєктування передніх панелей РЕЗ

3.1.6.3.1 Принципи розміщення СВІ та ОК

Для передньої панелі РЕЗ ведучою є її поверхня, веденими – СВІ та ОК, тобто, шкали, індикатори, кнопки, перемикачі, ручки і т.ін. Їхнє розміщення засноване на принципах інженерної психології.

Перш за все слід прагнути *мінімізації* кількості СВІ та ОК, оскільки це розвантажує оператора та підвищує швидкість керування, тим самим покращуючи економічні показники конструкції РЕЗ.

За принципом *економії рухів* кожен наступний рух має бути природним продовженням попереднього, а його завершення – початком наступного. Переважні безперервні, плавні, кругові рухи. При виборі траєкторій слід враховувати звичність рухів, що забезпечує автоматизм їхнього виконання.

За принципом *значущості* в зонах оптимального огляду та керування в першу чергу слід розміщувати найважливіші елементи, навіть якщо вони рідко використовуються, наприклад індикатори аварійних ситуацій.

При однаковій важливості за принципом *частоти використання* переважними є елементи, які використовуються частіше.

Відповідно до принципу *структурної відповідності* доцільно близьке просторове розташування СВІ та ОК, тісно пов'язаних між собою.

Принцип *обмеження довжин масивів групованих елементів*, що базується на психологічних закономірностях сприйняття зорової інформації, передбачає розбиття великих масивів на групи по 3 чи 5 (іноді 7) елементів у кожному, оскільки у них оператор може швидше знайти потрібний елемент.

Для підвищення ефективності та надійності роботи, покращення взаємозамінності та скорочення термінів підготовки операторів надзвичайно важлива *типізація* та *уніфікація* їхніх дій.

У зв'язку з цим компоновку лицевої панелі слід починати з аналізу роботи оператора з РЕЗ. Для цього графічно відображують усі елементи панелі та визначають зв'язок між ними та оператором.

Робочі операції слід розподіляти між правою та лівою рукою; при цьому для правої руки слід виділити ОК, пов'язані з найбільш відповідальними та точними операціями.

Характеристики СВІ та ОК, місце їх розміщення повинні вказувати оператору певний стереотип дій, наприклад висвічування індикатора відмови повинно автоматично викликати послідовність дій за аварійної ситуації.

3.1.6.3.2 Проектування панелей відображення та керування

Фронтальні розміри багатьох сучасних РЕЗ визначають не внутрішні конструкції, а саме умови розміщення СВІ та ОК.

При цьому орієнтовна площа передньої панелі визначається за формулою:

$$S_n = K_s \cdot \sum (\gamma_i \cdot S_i)$$

де K_s – статистичний коефіцієнт заповнення передньої панелі, залежить від виду РЕЗ, вимог ергономіки;

γ_i – коефіцієнт, що враховує зони доступу або спостереження, пояснювальні написи для i -го елемента;

S_i – площа, необхідна установки i -го елемента.

Максимальні розміри передніх панелей РЕЗ не повинні перевищувати 500 мм, тому що СВІ та ОК, розташовані на них, при загальноприйнятій відстані до оператора (близько 1 м) завжди потрапляють у зони зручного спостереження та керування. Але значимість окремих зон панелей може бути різною через зорову та функціональну асиметрію людини.

На першому етапі конструювання передньої панелі на основі вивчення алгоритму експлуатації необхідно скласти траєкторії економних рухів оператора. Далі, використовуючи принципи оперативної впорядкованості, значущості, частоти використання та групування, виконати попереднє групування та розміщення з урахуванням важливості зон панелі, причому елементи слід розташовувати на вертикальних та горизонтальних лініях умовної координатної сітки. Базова вертикаль сітки проходить через середину передньої панелі, а крок рекомендується вибирати з ряду: 15 мм; 20 мм; 30 мм; 40 мм; 50 мм.

Групи виділяють, залишаючи великі проміжки між елементами, використовуючи рамки, що поєднують написи, кольори та панелі, тощо.

Конструктивне виконання клавійних панелей можливе не лише з окремих згрупованих клавій, а й з єдиних клавіатур типу

мікрокалькуляторних. До переваг таких клавіатур слід віднести відносно низьку вартість, вищу щільність розміщення клавіш, до недоліків – менш чітку фіксацію спрацьовування.

За **інформаційною важливістю** найкращим є **верхній лівий кут**. Оскільки права рука більш розвинена та пристосована для точних рухів, **для керування** краща **права** сторона панелі.

Враховуючи це, для вертикальних передніх панелей електронних вимірювальних приладів переважними є зони розташування СВІ та ОК, включаючи зони комутації, які наведені на рис. 3.34.

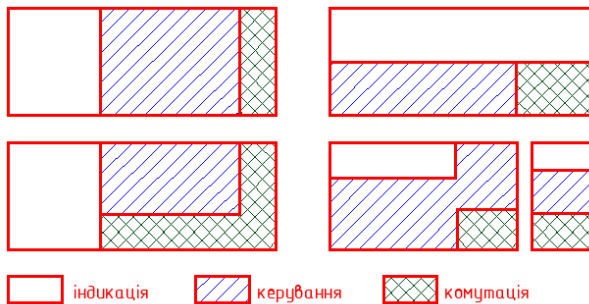


Рисунок 3.34 – Розташування робочих зон на панелях приладів та блоків

При компонуванні панелі керування в цілому слід враховувати наступні вимоги.

Панель органів керування повинна мати нахил до горизонтальної площини від 15° до 30° . Органи керування повинні знаходитися в межах досяжності рук оператора.

Ефективність виконання **операцій керування** в значній мірі залежить від конструкції ОК та характеру їхнього розміщення друг щодо друга і щодо органів індикації.

При виборі напрямків переміщення ОК збільшення значень параметрів повинні відповідати обертанню ручок за ходом стрілки годинника, лінійні переміщення – ліворуч і т.ін. Таких самих правил слід дотримуватися при організації руху стрілок індикаторів.

Мінімальний зазор між головками клавіш, який визначається зручністю маніпуляції та легкої роздільності перемикачів, зазвичай дорівнює від 2 мм до 5 мм.

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 й кнопки повинні знаходитися на відстані не менш від 20 мм до 35 мм одне від одного.

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

При розташуванні індикаторів варто враховувати їхній пріоритет, який визначається за наступними критеріями:

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

Стрілкові індикатори на панелі слід встановлювати в площині, перпендикулярної лінії погляду.

Для шкал, встановлених на одній панелі, слід вибирати однакову систему поділу та однакові цифри.

При одночасному контрольному зчитуванні з кількох приладів стрілки встановлюються так, щоб вони за нормальної роботи мали однаковий напрямок.

Найбільш пріоритетні стрілкові індикатори розташовують прямо перед оператором, менш важливі – ліворуч, ще менш важливі – праворуч.

Для цифрових індикаторів найбільш пріоритетним є лівий бік на рівні очей оператора, далі ступінь пріоритету зменшується у напрямку праворуч та вниз.

В цілomu цілісність панелей керування РЕЗ досягається завдяки умілому використанню співвідпорядкованості другорядних елементів головним, пропорційності й масштабності.

У якості прикладу розглянемо компоновку передньої панелі двоканального генератора сигналів довільної форми VOLT-CRAFT FG-30802T із вбудованими мікропроцесорами та клавішним керуванням (рис. 3.35).

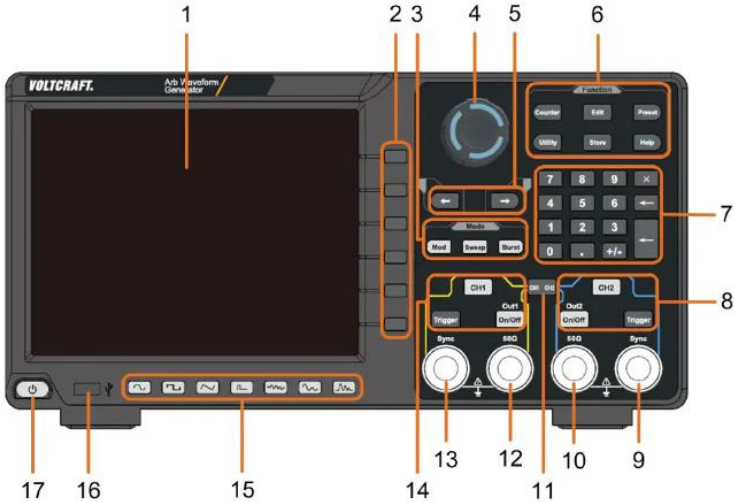


Рисунок 3.35 – Передня панель двоканального генератора сигналів довільної форми VOLTcraft FG-30802T

На передній панелі генератора можна виділити наступні зони.

Зона 1. Користувальницький інтерфейс дисплею

В зону 1 входять:

– *дисплей* (1), який являє собою 8-дюймовий ємнісний сенсорний екран;

– *клавіатура вибору меню* (2), яка включає 6 кнопок для вибору відповідної функціональної клавіші меню.

Зона 2. Вибір режиму

В зону 2 входять:

– *кнопки вибору режиму* (3):

а) Mod (модуляція): задає форму вихідного сигналу модуляції;

б) Sweep (розгортка): задає форму хвилі сканування (синусоїдальну, прямокутну, ramp- або довільну);

в) Burst (сплеск): створює хвилю, заданої форми (синусоїдальну, прямокутну, ramp-, пульсову або довільну);

– *регулятор* (4): змінює поточне вибране значення та використовується для вибору символу на віртуальній клавіатурі;

– *кнопка напрямку (5)*: переміщує курсор вибраного параметра.

Зона 3. Область функціональних кнопок

В зону 3 входять *кнопки (6)*:

- Counter (лічильник): забезпечує вхід в інтерфейс частотоміра;
- Edit (редагування): забезпечує вхід до інтерфейсу редагування форми хвилі;
- Preset: забезпечує вхід у меню Preset, за допомогою якого можна встановити параметри скидання або включення; зберегти або прочитати налаштування файлу;
- Utility (утиліта): встановлює допоміжні системні функції.
- Store: забезпечує збереження/виклик даних довільної форми хвилі;
- Help (довідка): відкриває контекстну довідку для будь-якої кнопки передньої панелі або функціональної клавіші меню.

Зона 4. Цифрова клавіатура

Кнопки (7) зони 4 служать для введення параметрів.

Зона 5. Канал CH1

В зону 5 входять:

- *клавіша CH1 (14)*: налаштовує параметри каналу CH1;
- *термінал виходу синхронізації каналу CH1 (13)*;
- *вихідний роз'єм каналу CH1 (12)*.

Зона 6. Канал CH2

В зону 6 входять:

- *клавіша CH2 (8)*: налаштовує параметри каналу CH2;
- *термінал виходу синхронізації каналу CH2 (9)*;
- *вихідний роз'єм каналу CH2 (10)*.

Для перемикання між каналами служить *кнопка CH1 \leftrightarrow CH2 (11)*, яка знаходиться між зонами каналів.

Зона 7. Область вибору сигналу

В цій зоні знаходяться кнопки вибору **форми сигналу (15)**, в тому числі: синус, квадрат, гапр, імпульс, шум, довільна хвиля, гармонічні хвилі. При виборі однієї форми хвилі загоряється відповідне підсвічування.

Зона 9. Зовнішні підключення

У цій зоні заходяться: *роз'єм USB (16)* для підключення до зовнішнього хост-пристрою USB, наприклад, до флеш-пам'яті USB, а також *кнопка вмикання/вимикання живлення (17)*.

3.1.6.4 Проектування пультів відображення та керування

Основними вузлами пультів є панелі відображення інформації та керування, проте для ефективної взаємодії з оператором важлива не лише їхня організація, а й конструкція пульта загалом.

У свою чергу, форму та розміри пульта багато в чому визначає інформаційна насиченість його панелей.

Пульти малої складності можуть бути реалізовані в настільному виконанні або вбудовані в РЕЗ, а більше складні – у вигляді підлогових конструкцій, що забезпечують кращі умови роботи оператора.

Велике значення має висота пульта. Високі пульти (понад 1650 мм) використовують при підвищеному інформаційному навантаженні та обмежених площах, низькі (до 1000 мм) – за потреби стежити за показаннями розташованих за пультом приладів.

Найбільшого поширення набули пульти середньої висоти від 1100 мм до 1300 мм.

Конструкції пультів різноманітні, проте для всіх видів, крім настільного, характерна консоль (стіл), що виступає у бік оператора та призначена для опори рук.

Розподіл панелі фронтального пульта на зони, що враховують сприйняття та моторну діяльність оператора, наведений на рис. 3.36.

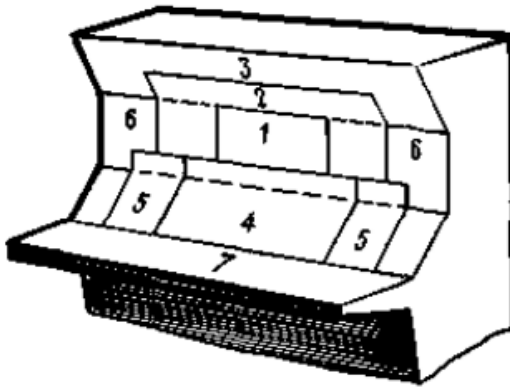


Рисунок 3.36 – Розподіл пульта на зони

Для спостереження за центральною зоною 1 не потрібно переміщення очей, тому тут розміщують найбільш пріоритетні СВІ, а найменш важливі – у периферійній зоні 3.

Найбільш відповідальні ОК, які потребують точних рухів, розташовують у центральній зоні керування 4. Сусіднє розташування зон 1 і 4 дозволяє групувати та сполучати у просторі функціонально пов'язані СВІ та ОК, що підвищує ефективність виконання найбільш важливих керуючих дій.

Орієнтовним значенням ширини зони 1 вважатимуться 400 мм, а зони 4 – 600 мм. Зона 7 призначена для опори рук оператора, виконання записів та інших допоміжних процесів.

При групуванні СВІ та ОК для панелей пультів слід керуватися тими самими правилами та принципами, що й при конструюванні передніх панелей РЕЗ, враховуючи зазначену специфіку розподілу робочого поля оператора.

3.1.7 Елементи художнього конструювання

3.1.7.1 Основні поняття, терміни та мета технічної естетики

Технічна естетика – це наукова дисципліна, предметом якої є сфера діяльності художника-конструктора (дизайнера). Технічна естетика вивчає суспільну природу та закономірності розвитку дизайну, основоположні принципи та методи художнього конструювання, проблеми стилю та майстерності.

Метою дизайнера є створення спільно з іншими фахівцями, в першу чергу з конструкторами та технологами РЕЗ, виробу, що відповідає фізіологічним, соціальним та естетичним вимогам людини.

Технічна естетика повинна враховувати специфіку виробу, його характеристики, матеріали, умови експлуатації, тому, крім чисто професійних знань у галузі дизайну, художник-конструктор повинен мати певні технічні знання.

З іншого боку, призначення та характер побудови та компоновання РЕЗ багато в чому визначають естетичні показники (композиційна цілісність, пропорції та ін.). Тому конструктор РЕЗ також має бути знайомий з основними категоріями та поняттями технічної естетики.

На будь-якій стадії проектування РЕЗ робота конструктора пов'язана із роботою дизайнера. Одночасно з обґрунтуванням та

вибором варіанта конструкції слід продумувати питання технічної естетики.

Проектування зовнішніх об'ємів (форм, пропорцій, габаритних розмірів) РЕЗ включає побудову системи модульної координації розмірів проєктованих комплексів, встановлення масштабної пропорційності елементів окремих приладів між собою і в цілому, визначення зон розміщення зовнішніх елементів налаштування та вибір системи колірного рішення.

Під елементом тут і надалі розумітимемо одну складову (неподільну) частину деякого цілого. Наприклад, елементом може бути формотворча лінія (елемент форми), обрамлення шкали (зовнішній елемент) та ін. При цьому поняття "елемент" та "неподільність" мають відносний характер – складні об'єкти відносно елементів їхньої структури самі можуть бути елементами для надсистеми.

При конструюванні зовнішніх об'ємів РЕЗ, зазвичай, передбачається можливість геометричної сумісності функціональних блоків за її одночасної експлуатації у комплексі. Для цього найкраще підходить функціонально-вузловий метод.

3.1.7.2 Вимоги раціональності форм композиційної цілісності зовнішніх об'ємів РЕЗ

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

Гармонія являє собою суворе узгодження окремих складових частин цілого, пропорційність всіх елементів. Гармонійна єдність відображує логіку та органічність зв'язку конструктивного рішення з його композиційним втіленням.

Композиція являє собою будову (структуру) виробу, розподіл та взаємні зв'язки його частин, що визначають ідейний задум та задачі. До засобів композиції відносять форму частин і цілого, їхній колір, тон, взаємне розташування частин, ритм чергування, симетрію, асиметрію, пропорційність, масштабність, фактуру, пластику і т. ін.

Основу композиції складає об'ємно-просторова структура та тектоніка об'єкта.

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

Тектонікою називається втілення закономірностей будови предмета, властивих його конструктивній схемі, його об'єктивних фізичних властивостей, співвідношення мас, несучих і несомих частин тощо. Тектоніка – це видиме відображення у формі роботи конструкції та організації матеріалу.

Тектоніка в техніці проявляється у взаємному розташуванні частин предмета, його пропорціях, ритмічному ладі форм та ін. Таким чином, прояви тектоніки різноманітні і пов'язані з конструкцією, матеріалами та виконуваними функціями.

Композиційна цілісність – поняття про побудову цілісного виробу, всі елементи якого перебувають у взаємозв'язку та гармонійній єдності.

Головна особливість цих зв'язків – супідрядність, без якої не існує цілісність. Другорядні елементи повинні підкорятися головним елементам, основній ланці композиції або композиційним центрам.

Слід зазначити, що композиційні схеми РЕЗ мають велику гнучкість компонування. Це дозволяє створювати різноманітні композиції, що у інших галузях техніки, наприклад, у машинобудуванні, зробити важко.

Композиційна цілісність у РЕЗ може бути досягнута різними методами: введенням у композицію додаткового елемента, накладенням, з'єднанням та перетином контурів. При конструюванні зовнішніх об'ємів РЕЗ слід приймати виправдане пластичне рішення форми, що створює враження замкнутого безперервного цілого з логічними та узгодженими між собою переходами окремих форм апаратури.

Фактура й пластика служать для створення нюансних способів обробки.

За допомогою фактури можна створювати тонкі контрасти, наприклад, протиставлення матової й полірованої поверхні того самого матеріалу.

Пластика являє собою предметно-просторову виразність форми виробу, створену розробкою її тектоніки та характеру поверхні. Форми основних об'ємів в цілому повинні бути прості, лаконічні, без складних ламаних контурів і фігур, хитромудрих змін.

Найчастіше форма РЕЗ створюється прямолінійними утворюючими, а криволінійні поверхні зустрічаються зазвичай у якості перехідних чи проміжних елементів.

Пропорції – це певне співвідношення частин між собою і цілим. Вони є одним із основних засобів гармонізації форми. Розміри частин та елементів виробу повинні підкорятися певній системі.

Пропорції в техніці мають велике значення, особливо у випадках, коли вироби являють собою систему уніфікованих елементів. Сама уніфікація немислима без суворої організації структури.

Існує кілька видів систем пропорцій: арифметична, геометрична, "золотого перерізу", ірраціональних відносин та ін.

Арифметична система ґрунтується на співвідношенні:

$$H_1 - H_2 = H_2 - H_3 = \dots = H_{n-1} - H_n$$

де H_i – розмір сторони прямокутника (рис. 3.37).

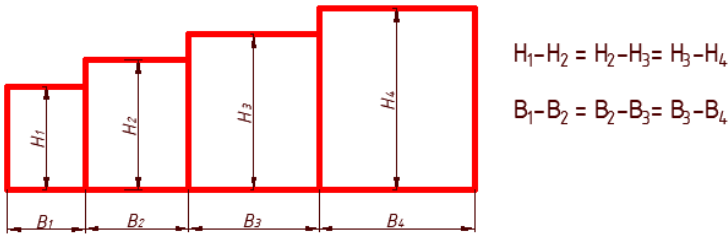


Рисунок 3.37 – Арифметична система пропорцій

Для геометричної пропорційності (рис. 3.38) характерна наявність загального члена у співвідношенні розмірів:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{H_2}{H_3} = \dots = \frac{H_{n-1}}{H_n}$$

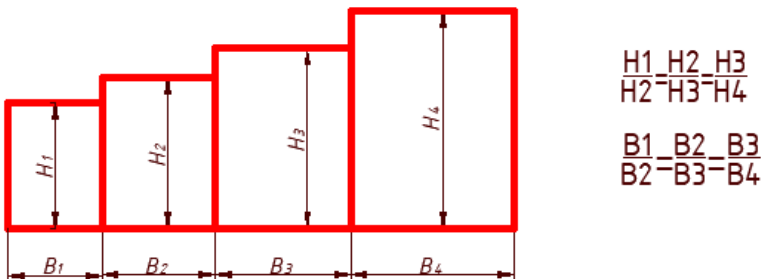
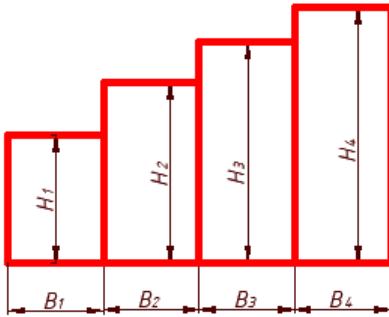


Рисунок 3.38 – Геометрична система пропорцій

На рисунку 3.39 показана система ірраціональних відносин, де відносини висот прямокутника відносяться як:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}}; \frac{H_2}{H_3} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}; \frac{H_3}{H_4} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{4}}; \dots$$



$$H_1 : H_2 : H_3 : H_4 = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \sqrt{4}$$

$$B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 1$$

Рисунок 3.39 – Іраціональна система пропорцій

У системі "золотого перерізу" ціле так відноситься до більшої частини, як більша частина до меншої:

$$\frac{a+b}{a} = \frac{a}{b} \approx 1,62$$

Пропорції "золотого перерізу", наприклад $\frac{M_1}{M_2}$ та $\frac{M_2}{M_3}$, можна визначити графічною побудовою на прямокутному трикутнику, який має співвідношення катетів 1:2 (рис. 3.40).

Спочатку радіусом $R_1 = 0,5M_1$ із центра O знаходять точку C' на катеті OM та відповідну їй точку O' на гіпотенузі, через яку в свою чергу з центру O_1 проводять радіус $r_2 = M_2$.

Потім аналогічним шляхом з центру радіусом R_2 знаходять точки C'' та O'' й визначають радіус $r_3 = M_3$.

"Золотий переріз" найдоцільніше використовувати для виробів прямокутної конфігурації, розвиненої у вертикальному напрямку, при невеликій кількості членувань. Приклад застосування системи пропорцій "золотого перерізу" для композиції РЕЗ показаний на рис. 3.41.

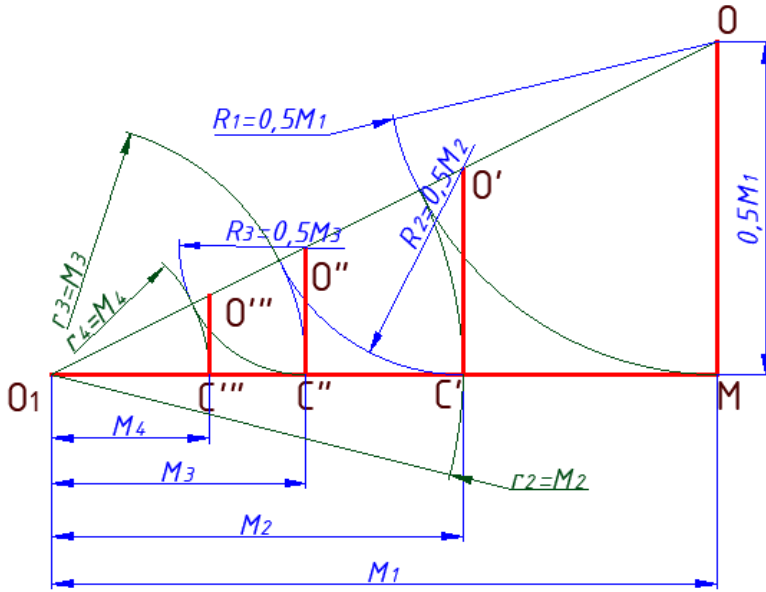


Рисунок 3.40 – Система пропорцій "золотий переріз"

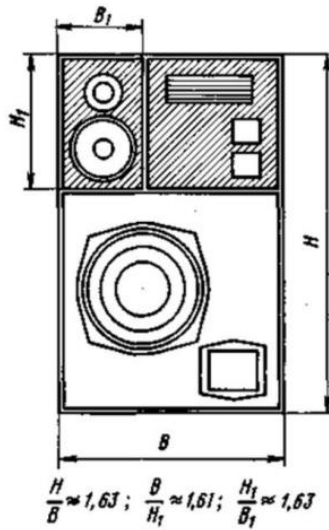


Рисунок 3.41 – Композиція РЕЗ з використанням "золотого перерізу"

Ще одним з методів пропорційності є використання домірності всього пристрою і його частин (модулів), коли за вихідну одиницю приймають модуль (рис. 3.42).

Слід відмітити, що пропорції у вертикальному напрямку є більш значимими, ніж у горизонтальному.

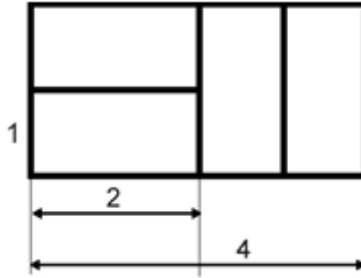


Рисунок 3.42 – Приклад композиції РЕЗ з використанням модульної системи пропорцій

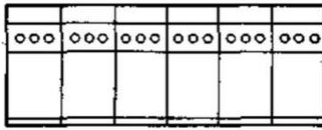
Ритм – засіб композиції, який забезпечує виділення та зв'язок елементів форми шляхом їхнього повторення, чергування, наростання та спадання.

Часто РЕЗ, відповідно до принципу дії і конструкції, має елементи, що повторюються, наприклад послідовно розташовані блоки, індикатори та ін. Засобом композиції може служити їхня закономірна повторюваність.

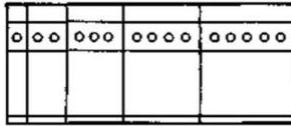
Існує метрична та ритмічна повторюваність.

Метрична повторюваність (метр) ґрунтується на повторенні через рівні інтервали. Вона створює враження спокою, статичності (рис. 3.43, а).

Ритмічна повторюваність, навпаки, закономірним чергуванням елементів підкреслює динамічність (рис. 3.43, б). Розміри блоків тут поступово наростають.



а)



б)

а – метрична; б – ритмічна

Рисунок 3.43 – Повторюваність композиції РЕЗ

Ритм дозволяє впорядкувати хаотичне нагромадження різних елементів та приладів. Слід зазначити, що повтор як єдина група або система сприймається глядачем тільки тоді, коли кількість елементів, що чергуються, перевищує сім. Збиття ритму зазвичай порушує цілісність. Неприпустима навіть майже непомітна зміна закономірностей ритму.

Ритм у техніці виражається дуже різноманітно: зміна розмірів конструкції, наростання щільності структур, світлості забарвлення та ін.

Масштабність – зорово-просторова характеристика розмірів конструкції виробу, яка встановлює співвідношення створюваного предмета з певною мірою. Масштабність визначає відповідність одного предмета іншому чи кільком предметам при їхньому зіставленні, а також пропорціям людського тіла.

Джерела масштабності – у закономірній будівлі природи, де всякій зміні кількісних ознак організмів відповідають зміни якісних особливостей форми.

Раніше основою усіх вимірів були частини людського тіла (фут, дюйм, долоня, аршин, сажень, лікоть). Метрична система не пов'язана з розмірами людського тіла, тому для досягнення гармонійної єдності елементів зовнішніх об'ємів окремих функціональних блоків з формою РЕЗ слід дотримуватися масштабної пропорційності з пропорціями людини-оператора, з розмірами РЕЗ та його елементами, з пропорціями

та габаритами навколишнього середовища виробів, разом з якими експлуатується РЕЗ.

У РЕЗ 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 зветься показчиками масштабу.

Масштабність надають також дрібні виступи, елементи керування, відповідність пропорцій між елементами пристроїв та дійсними навантаженнями.

Єдність масштабу – одна з необхідних умов для досягнення не лише естетичних якостей, а й засіб забезпечення високої надійності у системі "людина-машина".

Однією з найяскравіших властивостей композиції є **симетрія** – організація елементів конструкції, заснована на правильному їхньому 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.

При симетричному розташуванні рядів клавіш і елементів індикації щодо осі (площини) симетрії або контрастному симетричному розташуванні різногабаритних і різнотонових елементів на панелі РЕЗ можна досягнути статичності.

Прояви асиметрії у симетричній системі мають складний характер, але у підкреслено симетричній формі неприпустимі навіть невеликі відступи від симетрії. Якщо, наприклад, передня панель стосовно її елементів виконана яскраво симетрично, то тоді симетрія має бути відображена й у деталях.

У конструкціях сучасних РЕЗ абсолютна симетрія практично неможлива і порушення рівноваги будуть менш виражені у разі повної відмови від симетрії. Однак технічно необґрунтована асиметрія порушує всю тектонічну основу.

3.1.7.3 Забезпечення колірної гармонії у конструкціях РЕЗ

Колірна гармонія реалізується з урахуванням вимог ергономічних характеристик зору.

Як було вказано вище, вміло сполучаючи ті чи інші кольори, можна створити враження легкості й ваги, простору й тісноти і т. ін.

Колір використовується 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 конкурентноздатність виробу.

Основними прийомами композиції, пов'язаними з забезпечення колірної гармонії, є контраст та нюанс.

Контраст – прийом композиції, який являє собою різко виражене протиставлення. Він дозволяє яскравіше виділити функціональні та конструктивні особливості елементів, що зіставляються.

Контраст у техніці може виявлятися у різному вигляді: низьке протиставляється високому, світле – темному, шорстке – гладкому.

Іноді досить ефективним і виправданим є чергування блискучих, полірованих поверхонь із вираженими шорсткими.

Часто контраст виражається компонуванням виробів, коли елементи з різним функціональним призначенням яскраво вирізняються.

У складних системах виділенням найвідповідальніших частин пульта досягається надійність, зменшується притупленість уваги оператора. Однак надмірний контраст може викликати передчасне стомлення. Неприпустимо, коли контраст порушує цілісність композиції виробу.

Контраст завжди пов'язаний із нюансом.

Нюанс – прийом композиції, який полягає у незначних відмінностях однорідних елементів за формою, розмірами, кольором і т.ін.

Використання нюансу залежить від детального уточнення та розробки характеру форми, вибору матеріалів та обробки поверхонь деталей.

Нюансування не пов'язане з компонуванням виробу і визначається безмежно різноманітною гамою варіантів різних матеріалів, фактури, оздоблень, кольору, форми та ін. Особливого значення нюансування набуває при конструюванні елементів, що зв'язують апаратуру з оператором (пульт керування, передня панель, елементи індикації та ін.).

Іноді слід скористатися правилом: те, що не можна приховати, необхідно акцентувати. Гвинт, застосування якого диктується конструкцією або технологією, повинен нюансно відрізнитися своєю формою, обробкою, кольором. Лінія розділу чітко визначає місце примикання деталей.

При проектуванні панелей керування РЕЗ для забезпечення колірної гармонії слід враховувати наступні рекомендації.

Сприйняття великої кількості кольорів викликає враження колірної дисгармонії або візуального шуму, тому оптимальне поєднання кольорів повинно включати два або три кольори та їх відтінки. Четвертий колір може бути лише тлом і мати меншу насиченість та яскравість.

Основою для складання колірних поєднань є колірне коло.

При поєднанні двох кольорів парами, що визначають **контрастні поєднання**, будуть протилежні тони на колірному колі (рис. 3.44, а).

Контрастне рішення може також ґрунтуватися на протилежності теплих і холодних тонів, насичених і менш насичених, яскравих та тьмяних, чорних та білих, великої та малої площі.

Нюансна гама будується на підставі споріднених тонів, що розташовані на колі в межах однієї чверті (рис. 3.44, б).

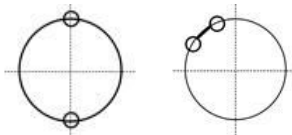


Рисунок 3.44 – Вибір контрастного (а) та нюансного (б) поєднання двох кольорів

При поєднанні трьох кольорів слід дотримуватись наступних правил.

Для контрастного поєднання слід використовувати кольори на вершинах рівнобічного трикутника на колірному колі, наприклад: червоний, синій, зелений, або жовтий, блакитний, пурпурово-червоний (рис. 3.45, а).

Крім того, допустимі поєднання:

– з двох споріднених кольорів та їхнього додаткового (рис. 3.45, б);

- з споріднено-контрастних кольорів (рис. 3.45, в);
- з поєднання двох споріднено-контрастних кольорів з їхнім головним кольором (рис. 3.45, г).

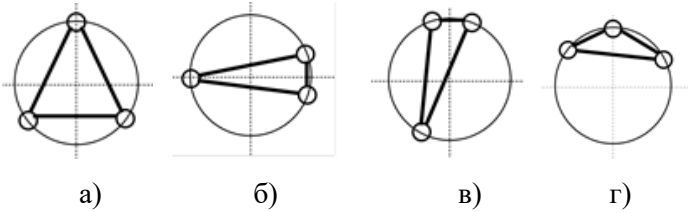


Рисунок 3.45 – Вибір поєднань трьох кольорів

Рационально використовувати явище одночасного колірною розмаїття. Наприклад: червоний колір на різному тлі має:

- на помаранчевому фоні – малиновий відтінок;
- на жовтому фоні – темно-вишневий відтінок;
- на блакитному фоні – помаранчевий відтінок;
- на чорному фоні – рожевий відтінок.

Поєднання кольорів надає сприйняттю та відчуттю різні емоційні впливи.

Так, помаранчевий та зеленувато-синій кольори створюють життєрадісну атмосферу. Вони добре поєднуються із синім кольором.

Поєднання жовтувато-зеленого з фіолетовим кольором має контрастність, вирізняється естетичною виразністю, стимулює діяльність людини.

Різні колірні поєднання надають наступні впливи:

- жовтий та білий – млявий, слабкий;
- червоний та фіолетовий – неспокійний;
- червоний та чорний – гнітючий;
- синій та зелений – холодний, нерухомий;
- синій та чорний – нежиттєвий;
- зелений та коричневий – спокійний, природний.

3.1.7.4 Загальні вимоги до колірною оформлення РЕЗ

При розробці РЕЗ важливо враховувати 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.). При цьому особливу увагу слід приділяти колірному оформленню як пристрою в цілому, так і його окремих елементів.

Елементи зовнішніх об'ємів РЕЗ, що вимагають певної уваги при роботі, слід виділяти кольором, контрастним кольору основних об'ємів апаратури. Наприклад, більш ефективним буде вживання запобіжного кольору у вигляді знаку в небезпечному місці, аніж загальне покриття цим кольором усєї ділянки корпусу.

Органи керування слід виділяти за допомогою максимального кольорового контрасту, наприклад, на панелі чорного кольору клавіші та індикатори повинні мати білий і червоний колір.

Написи та символи на передній панелях та зовнішніх поверхнях пристроїв в залежності від їхнього кольору виконують чорним, білим, червоним, жовтим, зеленим, синім кольором. Але при цьому не рекомендується використовувати більш ніж п'ять кольорів для одного пристрою. В табл. 3.2 наведені рекомендовані області застосування кольорів для органів керування, систем відображення інформації та пояснювальних написів.

Таблиця 3.2 – Рекомендовані області застосування кольорів органів керування, систем відображення інформації та пояснювальних написів

Колір	Функція	Кодування проводів
Червоний	Безпосередня небезпека. Вмикання живлення	Високовольні ланцюги, додатний потенціал
Жовтий	Можлива небезпека	Різні ланцюги
Зелений	Безпека, нормальне функціонування апаратури	Сигнальні ланцюги
Синій	Різноманітна інформація	Від'ємний потенціал
Білий	Задання меж параметра	Різні значення
Чорний		Корпус, заземлення
Помаранчевий	Рух	Ланцюги малих напруг

Для зовнішніх поверхонь встановчих елементів рекомендуються наступні кольори: сірий, білий, чорний. При цьому

колір поверхні лицьової панелі апарата може контрастувати з кольором інших поверхонь цього приладу, а зони індикації та керування можуть мати різне колірне рішення.

Колірна гама панелей та корпусів РЕЗ повинна відповідати функціональному призначенню виробів, умовам експлуатації та комплексу ергономічних вимог.

Так, для побутової техніки, крім ергономіки, особливу роль відіграє гармонія колірного ансамблю всього інтер'єру, однак колір повинен бути пов'язаний з об'ємно-просторовою структурою виробу, з пропорціями, масштабом, контрастом та нюансом. За таких умов за допомогою кольору можна акцентувати необхідні елементи форми та скоригувати не надто вдалі пропорції (коли технічно немає можливості змінювати самі зовнішні об'єми). Але слід враховувати, що складні об'ємно-просторові структури потребують обережності у застосуванні кількох кольорів та тональних відносин.

Для стаціонарної побутової апаратури важливо, щоб вона підходила під будь-який інтер'єр, тому при її проектуванні часто йдуть на "нейтральне" зовнішнє оформлення.

Для портативної побутової апаратури, навпаки, вибирають яскраві кольори, що кидаються у вічі: червоний, помаранчевий, зеленувато-синій, синій, фіолетовий, що дозволяє швидко помітити об'єкт на будь-якому тлі.

Для професійної апаратури слід враховувати функціональне призначення та області застосування.

Для зовнішніх поверхонь корпусів та панелей контрольно-вимірювальної апаратури слід обирати м'які кольори, які не втомлюють очі та не відволікають від елементів керування та індикації; при цьому колір корпусу повинен бути темнішим за колір панелі, наприклад: світло-сірий колір панелі і темно-сірий або сіро-голубий колір корпусу; світло-бежевий колір панелі і темно-бежевий або світло-брунатний колір корпусу і т. ін.

Медичну апаратуру традиційно фарбують у білий колір, військову – у колір "хакі", верстати та устаткування для виробничих цехів – у зелений.

Для апаратури, що працює у темних приміщеннях або вночі, доцільно обирати чорний колір корпусу та панелі, а написи робити білим кольором або флуоресцентними фарбами.

Для термічного обладнання слід використовувати теплу гаму, засновану на поєднанні жовтого, вишневого та білого кольорів; для вакуумного – холодну синьо-білу.

Для роботів та маніпуляторів доцільно поєднання білого та помаранчевого кольорів.

Крім того, якщо апаратура в процесі експлуатації розташовується на близькій відстані від оператора, то насиченість кольору забарвлення повинна бути невисокою. Якщо ж апаратура розташована від спостерігача на відстані більше 20 м, колір має бути насиченим і система забарвлення повинна забезпечувати чітке розмежування частин апаратури. Ці вимоги особливо важливі при проектуванні професійної апаратури.

Конструктор також завжди повинен використовувати переваги природної фактури матеріалу (деревини, металу, пластмаси, скла та ін), не застосовуючи фарбування поверхонь. Навіть відмінна імітація матеріалу не може передати характерні властивості природних матеріалів.

Металізація поверхонь, незважаючи на тонкий шар, майже завжди розкриває природну структуру матеріалу і створює необхідний ефект. Тут є можливість нюансувати за допомогою застосування глясових та матових поверхонь, тонких відтінків кольору та фактури покриття. При цьому матові покриття дозволяють отримати чисті тони, а глясові – певність та чіткість форми. Поверхні панелей і пультів керування слід робити матовими з коефіцієнтом відбиття від 20% до 30%.

Слід також враховувати, що покриття, з шорсткою структурою дозволяють маскувати дрібні дефекти, які виникають при виробництві, і навпаки, глясові поверхні візуально посилюють відхилення від ідеальної геометричної форми. Так само світлі тони менш вимогливі до якості поверхні, ніж темні.

3.2 Контрольні питання

1 Система "людина-машина". Які науки пов'язані з цією системою?

2 Як відбувається відпрацювання зовнішнього оформлення РЕЗ на етапах проектування?

3 Операції, які виконує оператор.

4 Які фактори визначають ефективність діяльності оператора?

- 5 Система ергономічних показників.
- 6 Гігієнічні показники. Поняття комфортних, некомфортних та нестерпних параметрів.
- 7 Основні антропометричні характеристики оператора.
- 8 Види робочих поз оператора. Ергономічні вимоги до кожної пози.
- 9 Зони моторного поля при роботі в положенні сидячі.
- 10 Ергономічні вимоги до шаф та стійок при роботі в положенні стоячи.
- 11 Характеристики керуючих рухів.
- 12 Фізіологічні та психофізіологічні показники. Види аналізаторів.
- 13 Зоровий аналізатор та його характеристики.
- 14 Колірне сприйняття ока. Поняття яскравісного та колірною контрасту.
- 15 Колірне коло.
- 16 Параметри, що характеризують здатність ока розрізнати кольори.
- 17 Слуховий аналізатор та його характеристики.
- 18 Шкірні аналізатори.
- 19 Психологічні показники. Здатність людини-оператора сприймати інформацію.
- 20 Класифікація органів керування.
- 21 Кнопкове керування. Вимоги до розмірів та зусиль натискання кнопок.
- 22 Сенсорне керування, його переваги та недоліки.
- 23 Тумблери. Вимоги до їхніх розмірів та зусиль перемикачання.
- 24 Регулятори та поворотні перемикачі. Вимоги до їхніх розмірів та зусиль керування.
- 25 Поворотні та повзункові перемикачі. Вимоги до їхніх розмірів та зусиль перемикачання.
- 26 Одиничні індикатори.
- 27 Знакосинтезуючі цифрові індикатори.
- 28 Аналогові індикатори. Класифікація за характером дії та видом шкали.
- 29 Вимоги до стрілочних індикаторів. Області їхнього застосування.
- 30 Варіанти організації робочого поля оператора.

31 Загальні ергономічні вимоги до організації робочого поля оператора.

32 Організація робочого місця при роботі з персональним комп'ютером.

33 Принципи розміщення СВІ та ОК.

34 Ергономічні вимоги при проектуванні панелей відображення та керування.

35 Розташування робочих зон на панелях приладів та блоків.

36 Проектування пультів відображення та керування.

37 Основні поняття, терміни та мета технічної естетики.

38 Вимоги раціональності форм композиційної цілісності зовнішніх об'ємів РЕЗ.

39 Пропорції в композиції. Системи пропорцій.

40 Як будуються розміри в системі пропорцій "золотий переріз"?

41 Поняття ритму в композиції.

42 Масштабність в композиції.

43 Симетрія та асиметрія.

44 Колірна гармонія у конструкціях РЕЗ.

45 Контраст та нюанс як прийоми композиції.

46 Використання колірного кола для формування контрастних та нюансних колірних поєднань.

47 Які впливи надають різні колірні поєднання?

48 Рекомендовані області застосування кольорів ОК, СВІ та пояснювальних написів.

49 Вибір колірної гами панелей та корпусів РЕЗ в залежності від їхнього призначення.

50 Використання структури поверхонь для надання їм спеціальних ефектів.

3.3 Порядок виконання роботи

3.3.1 Отримати у викладача об'єкт дослідження.

3.3.2 Для об'єкту дослідження визначити:

– призначення та особливості експлуатації;

– групу експлуатації за об'єктом установки;

– характер дій людини-оператора під час роботи з об'єктом

дослідження.

3.3.3 Проаналізувати об'єкт на відповідність вимогам ергономіки та технічної естетики.

3.3.4 Виявити вдалі конструкторські рішення, спрямовані на забезпечення вимог ергономіки та технічної естетики.

3.3.5 Виявити недоліки конструкції з точки зору вимог ергономіки та технічної естетики.

3.3.6 Запропонувати варіанти технічних рішень спрямованих на усунення знайдених недоліків.

3.4 Зміст звіту

3.4.1 Тема та мета роботи.

3.4.2 Відповіді на контрольні питання за вказівкою викладача.

3.4.3 Опис об'єкта дослідження відповідно до пункту 3.3.2.

3.4.4 Результати аналізу об'єкта на відповідність вимогам ергономіки та технічної естетики.

3.4.5 Короткий опис запропонованих варіантів модернізації об'єкта.

3.4.6 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. Ольшевський С.В. Конструювання радіоелектронних засобів : конспект лекцій за курсом. Київ : Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2014. 99 с.
4. 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.
15. Ганжа С.М. Основи конструювання електронних засобів : підручник. Луганськ : Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. 2011, 491 с.
6. Нікольський О.І. Ергономіка і дизайн мікроелектронної апаратури : навч. посіб. Вінниця : Вінниц. держ. техн. ун-т. 2000. – 124 с.
7. 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.
8. Задерейко О.В., Панов Л.І., Циганов О.В. Конструювання і технологія радіоелектронної апаратури : навч. посіб. К.: Наука і техніка, 2007. 122 с.
9. ГОСТ 23000-78 Пульты управления. Общие эргономические требования [Введ. 1979-01-01]. Изд-во стандартов, 1979. 12 с.
10. ДСТУ 7390:2013 Дизайн та ергономіка. Вимикачі та перемикачі поворотні. Загальні ергономічні вимоги [Чинний від 2014-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2013. 5 с.