

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет "Запорізька політехніка"**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання курсового проєкту**

з дисциплін **"Основи проєктування електронних апаратів",**  
**"Проєктування телекомунікаційних та радіотехнічних**  
**систем"**

для студентів спеціальності

172 "Електронні комунікації та радіотехніка"

освітніх програм "Радіоелектронні апарати та засоби",

"Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної  
техніки" усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисциплін "Основи проєктування електронних апаратів", "Проєктування телекомунікаційних та радіотехнічних систем" для студентів спеціальності 172 "Електронні комунікації та радіотехніка" освітніх програм "Радіоелектронні апарати та засоби", "Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки" усіх форм навчання / Уклад.: Уклад. : Ірина ПОСПЕСВА, Вадим ЯКОВЕНКО, Наталія ФУРМАНОВА. – Запоріжжя : НУЗІП, 2024. – 51 с.

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

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

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

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

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

## ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ .....	4
2 ТЕМАТИКА ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ .....	5
2.1 Тематика курсового проєкту.....	5
2.2 Завдання на курсовий проєкт.....	5
2.3 Порядок роботи над курсовим проєктом.....	6
3 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.....	7
3.1 Вимоги до оформлення пояснювальної записки (ПЗ).....	7
3.1.1 Структура ПЗ.....	7
3.1.2 Вимоги до оформлення ПЗ .....	9
3.2 Вимоги до виконання графічної частини .....	9
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЗМІСТОВНОЇ ЧАСТИНИ ПЗ.....	16
5 МЕТОДИКИ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗРАХУНКІВ .....	19
5.1 Розрахунок надійності РЕЗ .....	19
5.1.1 Методи розрахунків надійності.....	19
5.1.2 Методика приблизного розрахунку надійності за середньогруповими інтенсивностями відмов елементів.....	22
5.1.3 Приклад приблизного розрахунку надійності за середньогруповими інтенсивностями відмов елементів.....	24
5.2 Розрахунок коефіцієнта заповнення друкованої плати.....	28
5.3 Розрахунки різьбових з'єднань .....	38
5.3.1 Види та мета розрахунків різьбових з'єднань .....	38
5.3.2 Приклад розрахунку гвинтів кріплення друкованої плати .....	38
6 ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ .....	45
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	46
Додаток А Інтенсивності відмов елементів РЕЗ.....	48

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА МЕТА КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Курсовий проєкт з дисциплін "Основи проєктування електронних апаратів", "Проєктування телекомунікаційних та радіотехнічних систем" є одним з важливіших етапів підготовки студентів до дипломного проєктування.

Курсовий проєкт має метою:

- систематизувати, закріпити та розширити теоретичні знання студентів в галузі проєктування радіоелектронних засобів (РЕЗ);
- навчити студентів самостійно користуватися довідковою та технічною літературою;
- навчити студентів самостійно вирішувати задачі, пов'язані з проєктуванням сучасних пристроїв та блоків РЕЗ;
- сприяти розвитку системного мислення для вирішування конкретних конструкторських задач;
- навчити студентів здійснювати вибір оптимального варіанту при проєктуванні;
- навчити студентів користуватися методами автоматизації конструкторських робіт з застосуванням сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР);
- поглибити знання студентів в галузі стандартизації;
- закріпити розрахункові, конструкторські та графічні навички студентів;
- підготувати студентів до дипломного проєктування.

При виконанні курсового проєкту студент повинен продемонструвати свої професійні здібності, проявити ініціативу, творчі можливості, уміння приймати інженерні рішення при проєктуванні конструкцій.

Під час виконання курсового проєкту студент має користуватися рекомендованою літературою, нормативно-технічною документацією та прикладами оформлення конструкторської документації.

Оформлення матеріалів курсового проєкту студент виконує державною мовою. За узгодженням з кафедрою іноземних мов допускається оформлювати курсовий проєкт однією з іноземних мов, яку студенти вивчають в університеті.

## **2 ТЕМАТИКА ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ**

### **2.1 Тематика курсового проєкту**

Курсовий проєкт полягає у конструкторському проєктуванні функціонально завершеного радіоелектронного, мікросистемного, мехатронного, робототехнічного засобу або його конструктивно завершеної складової частини. Конструкторські розробки повинні здійснюватися на рівні технічного проєкту, включаючи елементи основного проєктування.

Тема курсового проєкту повинна бути конкретною і містити процедуру діяльності та продукт, що має бути отриманий в результаті – конструкцію проєктованого об'єкта, підтверджену теоретичними викладками та розрахунками.

### **2.2 Завдання на курсовий проєкт**

Кожен студент отримує індивідуальне завдання на курсовий проєкт.

Зміст завдання:

- ескіз схеми електричної принципової об'єкта проєктування;
- рекомендації з вибору елементної бази;
- умови експлуатації;
- умови виробництва;
- додаткові вимоги;
- перелік обов'язкових розрахунків;
- термін здачі студентом проєкту (роботи);
- дата видачі завдання.

Курсовий проєкт складається з графічної частини, яка містить комплект конструкторських документів (КД) на проєктований об'єкт, та пояснювальної записки (ПЗ).

Комплект КД повинен містити обов'язкові креслення:

- схему електричну принципову виробу та перелік елементів;
- детальне креслення друкованої плати;
- складальне креслення друкованої плати та специфікація до

нього.

Додаткові креслення (за вимогами викладача):

- складальне креслення виробу та специфікація до нього;

- креслення деталей, що входять до складу конструкції (кількість креслень визначається керівником проєкту);

- електромонтажне креслення виробу.

В пояснювальній записці слід проаналізувати завдання, обґрунтувати технічні вимоги до проєктованої конструкції, визначити шляхи їх забезпечення та виконати конструкторські розрахунки.

### **2.3 Порядок роботи над курсовим проєктом**

Роботу над курсовим проєктом слід проводити в наступній послідовності:

- ретельне ознайомлення з завданням, схемою електричною принциповою, уточнення завдання;

- обґрунтування технічних вимог до конструкції;

- аналіз технічних вимог, вибір напрямків проєктування;

- вибір елементної бази;

- ескізне проєктування конструкції виробу, остаточний вибір методів та рішень, що забезпечують виконання вимог технічного завдання;

- проведення перевірочних розрахунків;

- оформлення схеми електричної принципової та переліку елементів;

- розробка конструкції друкованої плати та оформлення КД на неї;

- розробка конструкції виробу та оформлення КД на неї (за вказівкою викладача);

- оформлення ПЗ та її здача на перевірку;

- підготовка до захисту та захист дипломного проєкту (роботи).

Рекомендується поєднувати виконання КД з роботою над окремими розділами пояснювальної записки.

## 3 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

### 3.1 Вимоги до оформлення ПЗ

#### 3.1.1 Структура ПЗ

При виконанні ПЗ до курсового проекту слід дотримуватися вимог, що наведені у ДСТУ 3008-15 [3].

Згідно цього стандарту, структура ПЗ умовно поділяється на вступну, основну частини та додатки.

**Вступна частина** включає:

- титульний аркуш;
- завдання на кваліфікаційний проєкт (роботу);
- список авторів (за необхідності);
- реферат;
- зміст;
- скорочення та умовні позначки;
- передмова (за необхідності).

**Основна частина** включає:

- вступ;
- змістову частину (суть роботи);
- висновки;
- рекомендації (за необхідності);
- перелік джерел посилання.

Склад **Додатків** залежить від змісту проєкту. Вони можуть включати до себе графіки, таблиці, ескізи, довідковий матеріал для розрахунків тощо.

**Титульний аркуш** є першою сторінкою і основним джерелом бібліографічної інформації.

Титульний аркуш виконується на стандартному бланку університету.

**Завдання** на курсовий проєкт виконується на стандартному бланку університету у кількості двох сторінок та містить:

- назву університету, факультету, кафедри;
- прізвища автора та керівника;
- повну назву теми курсового проєкту;
- вихідні дані до роботи;
- дані про вміст роботи;

- календарний план роботи над проектом;
- дату видачі роботи;
- підписи: автора проекту, керівника проекту та завідуючого кафедрою, який її затверджує.

**Реферат** має містити:

– відомості про обсяг ПЗ, кількість частин, рисунків, таблиць, додатків, джерел згідно з переліком посилань (наводять усі відомості, зокрема дані додатків);

- перелік ключових слів;
- стислий опис тексту ПЗ (анотація).

Перелік ключових слів, які є визначальними для розкриття суті звіту, має містити від 5 до 15 слів (словосполучень). Рекомендовано подавати їх перед текстом реферату великими літерами в рядок із прямим порядком слів у називному відмінку однини, розташованих за абеткою мови звіту та розділених комами.

Обсяг реферату – 1 стор.

У **Змісті** наводять такі структурні елементи: «Скорочення та умовні позначки», «Передмова», «Вступ», послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів і пунктів (якщо вони мають назву) змістовної частини звіту (суті звіту), «Висновки», «Рекомендації», «Перелік джерел посилання», «Додатки» з їх назвою та зазначенням номера сторінки початку структурного елемента.

У **Вступі** стисло викладають:

- тему та мету роботи;
- оцінку сучасного стану об'єкта дослідження або розробки;
- актуальність роботи та опис основних напрямків проектування.

Рекомендований обсяг вступу –1 стор.

**Змістова частина** – це викладення відомостей про предмет (об'єкт) проектування, які є необхідними й достатніми для розкриття сутності цієї роботи та її результатів.

Змістова частина розбивається на розділи, які повинні бути об'єднані загальною метою, органічно пов'язані між собою та з графічною частиною.

Викладаючи суть роботи, треба вживати стандартну наукову та/чи науково-технічну термінологію, запроваджену національними стандартами на терміни та визначення понять.

Рекомендований обсяг змістової частини від 20 до 25 стор.

У **Висновках** викладають практичні результати роботи й наводять оцінку одержаних результатів і їх відповідність завданню та сучасному рівню наукових і технічних знань.

Рекомендований обсяг висновків – 1 стор.

**Перелік джерел**, на які є посилання в основній частині звіту, наводять у кінці тексту ПЗ перед додатками на наступній сторінці.

У переліку джерел посилання бібліографічні описи подають у порядку, за яким джерела вперше згадують у тексті.

Правила оформлення бібліографічних посилань наведені у [4].

У **Додатках** наводять відомості, які доповнюють ПЗ та:

– є необхідними для повноти роботи, але долучення їх до основної частини звіту може змінити впорядковане й логічне уявлення про неї;

– не можуть бути послідовно розміщені в основній частині звіту через великий обсяг або способи відтворення.

Так, наприклад, у **Додатки** рекомендується виносити ескізи, графіки, таблиці з додатковими даними, тексти програм тощо.

Загальний обсяг ПЗ (без додатків) становить від 25 до 30 аркушів формату А4.

### 3.1.2 Вимоги до оформлення ПЗ

Вимоги до виконання ПЗ наведені у «ДСТУ 3008-15. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення», розд. 7 [3].

Але, враховуючи, що курсовий проєкт є навчальною роботою, при виконанні ПЗ можуть бути деякі відмінності від наукових звітів.

Так, зокрема, в ПЗ до курсових проєктів допускаються наступні припущення:

– у складі ПЗ відсутні деякі структурні елементи, такі, як список авторів, передмова, рекомендації тощо; замість цього присутній структурний елемент «Завдання на курсовий проєкт (роботу);

– кожен наступний розділ ПЗ рекомендується починати з нової сторінки;

– заголовки структурних елементів та розділів рекомендується друкувати посередині рядка без абзацного відступу;

– рисунки, таблиці, формули рекомендується нумерувати в межах відповідних розділів; при цьому номер рисунка, таблиці,

формули складається з номера розділу та порядкового номера даного елемента в цьому розділі, які відокремлюють крапкою.

Крім вказаних, всі інші вимоги до ПЗ повністю відповідають вимогам, наведеним у [3]. Найважливіші з цих вимог, які найчастіше порушують при виконанні ПЗ, приведені на рис. 3.1 – 3.9.

#### 7.1 Загальні положення

7.1.1 Залежно від особливостей та змісту звіт складають у формі тексту, рисунків, таблиць або їхніх комбінацій.

7.1.2 Виклад тексту й оформлення звіту виконують за положеннями цього стандарту.

7.1.3 Звіт викладають на паперовому та/чи електронному носіїві (паперовий та електронний документи відповідно).

!!! 7.1.4 Символи в рівняннях і формулах, написи та пояснювальні дані на рисунках, схемах, графіках, діаграмах і в таблицях створюють і вводять у текст з використанням відповідних редакторів комп'ютерної програми.

7.1.5 Звіт друкують шрифтом Times New Roman чорного кольору прямого накреслення через півтора-два міжрядкові інтервали кеглем 14.

Розмір шрифту для написання заголовків у рядках і колонках таблиць і пояснювальних даних на рисунках і в таблицях встановлює виконавець звіту.

7.1.9 У звіті не бажано вживати іншомовних слів і термінів за наявності рівнозначних слів і термінів мови, якою подано звіт.

7.1.10 Мову звіту визначено у статті 21 Закону України «Про засади державної мовної політики».

7.1.11 Рекомендовано на сторінках звіту використовувати береги такої ширини: верхній і нижній — не менше ніж 20 мм. лівий — не менше ніж 25 мм. правий — не менше ніж 10 мм.

### Рисунок 3.1 – Загальні вимоги до ПЗ

7.1.18 Структурні елементи: «Список авторів», «Реферат», «Зміст», «Скорочення та умовні позначки», «Передмова», «Вступ», «Висновки», «Рекомендації», «Перелік джерел посилання», — не нумерують, а їхні назви є заголовками структурних елементів.

7.1.19 Для розділів і підрозділів наявність заголовка обов'язкова. Пункти й підпункти можуть мати заголовки.

!!! 7.1.20 Заголовки структурних елементів звіту та заголовки розділів треба друкувати з абзацно-відступу великими літерами напівжирним шрифтом без крапки в кінці. Дозволено їх розміщувати посередині рядка.

!!! 7.1.21 Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів звіту потрібно друкувати з абзацного відступу з великої літери без крапки в кінці.

7.1.22 Абзацний відступ має бути однаковий упродовж усього тексту звіту й дорівнювати п'яти знакам.

!!! 7.1.23 Якщо заголовок складається з кількох речень, їх розділяють крапкою. Розривати слова знаком переносу в заголовках заборонено.

!!! 7.1.24 Відстань між заголовком, приміткою, прикладом і подальшим або попереднім текстом має бути не менше ніж два міжрядкових інтервали.

Відстань між основами рядків заголовка, а також між двома заголовками приймають такою, як у тексті звіту.

!!! 7.1.25 Не дозволено розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту на останньому рядку сторінки.

### Рисунок 3.2 – Вимоги до заголовків структурних одиниць

#### 7.4 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів

**7.4.1** Розділи, підрозділи, пункти, підпункти нумерують арабськими цифрами.

**7.4.2** Розділи звіту нумерують у межах викладення суті звіту і позначають арабськими цифрами без крапки, починаючи з цифри «1».

**7.4.3** Підрозділи як складові частини розділу нумерують у межах кожного розділу окремо. Номер підрозділу складається з номера відповідного розділу та номера підрозділу, відокремлених крапкою.

Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 тощо.

**7.4.4** Пункти нумерують арабськими цифрами в межах кожного розділу або підрозділу.

Номер пункту складається з номера розділу та порядкового номера пункту, або з номера розділу, порядкового номера підрозділу та порядкового номера пункту, які відокремлюють крапкою. Після номера пункту крапку не ставлять, наприклад, 1.1, 1.2 або 1.1.1, 1.1.2 тощо.

Якщо текст поділяють лише на пункти, їх слід нумерувати, крім додатків, порядковими номерами.

**7.4.5** Номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера підрозділу, порядкового номера пункту та порядкового номера підпункту, які відокремлюють крапкою. Після номера підпункту крапку не ставлять, наприклад, 1.1.1.1 або 2.1.4 тощо.

Якщо розділ, не маючи підрозділів, поділяють на пункти та підпункти, номер підпункту складається з номера розділу, порядкового номера пункту та порядкового номера підпункту, які відокремлюють крапкою. Після номера підпункту крапку не ставлять.

**7.4.6** Якщо розділ або підрозділ складається з одного пункту, або пункт складається з одного підпункту, його не нумерують.

### Рисунок 3.3 – Вимоги до нумерації структурних одиниць

**7.5.6** Рисунки нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім рисунків у додатках.

Дозволено рисунки нумерувати в межах кожного розділу. У цьому разі номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад, «Рисунок 3.2» — другий рисунок третього розділу.

**7.5.7** Рисунки кожного додатка нумерують окремо. Номер рисунка додатка складається з позначки додатка та порядкового номера рисунка в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Рисунок В.1 — \_\_\_\_\_», тобто перший рисунок додатка В.

**7.5.8** Якщо в тексті звіту лише один рисунок, його нумерують відповідно до 7.5.6.

**7.5.9** Назва рисунка має відображати його зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту звіту зрозуміло зміст рисунка, його назву можна не наводити.

За потреби пояснювальні дані до рисунка подають безпосередньо після рафічного матеріалу перед назвою рисунка.

Назву рисунка друкують з великої літери та розміщують під ним посередині рядка, наприклад, «Рисунок 2.1 — Схема устаткування».

**7.5.10** Рисунок виконують на одній сторінці аркуша. Якщо він не вміщується на одній сторінці, його можна переносити на наступні сторінки. У такому разі назву рисунка зазначають лише на першій сторінці, пояснювальні дані — на тих сторінках, яких вони стосуються, і під ними друкують: «Рисунок \_\_\_\_\_, аркуш \_\_\_\_\_».

### Рисунок 3.4 – Вимоги до оформлення рисунків

7.6.3 Таблицю подають безпосередньо після тексту, у якому її згадано вперше, або на наступній сторінці.

На кожену таблицю має бути посилання в тексті звіту із зазначенням її номера.

7.6.4 Таблиці нумерують наскрізно арабськими цифрами, крім таблиць у додатках.

Дозволено таблиці нумерувати в межах розділу. У цьому разі номер таблиці складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, «Таблиця 2.1» — перша таблиця другого розділу.

7.6.5 Таблиці кожного додатка нумерують окремо. Номер таблиці додатка складається з позначення додатка та порядкового номера таблиці в додатку, відокремлених крапкою. Наприклад, «Таблиця В.1 — \_\_\_\_\_», тобто перша таблиця додатка В.  
назва таблиці

7.6.6 Якщо в тексті звіту подано лише одну таблицю, її нумерують.

7.6.7 Назва таблиці має відображати її зміст, бути конкретною та стислою. Якщо з тексту звіту можна зрозуміти зміст таблиці, її назву можна не наводити.

7.6.8 Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу.

7.6.9 Якщо рядки або колонки таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під іншою або поруч, чи переносять частину таблиці на наступну сторінку. У кожній частині таблиці повторюють її головку та боковик.

У разі поділу таблиці на частини дозволено її головку чи боковик замінити відповідно номерами колонок або рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами в першій частині таблиці.

Слово «Таблиця \_\_\_\_\_» подають лише один раз над першою частиною таблиці. Над іншими частинами таблиці з абзацного відступу друкують «Продовження таблиці \_\_\_\_\_» або «Кінець таблиці \_\_\_\_\_» без повторення її назви.

7.6.10 Заголовки колонок таблиці починають з великої літери, а підзаголовки — з малої літери, якщо вони становлять одне речення із заголовком.

7.6.11 Підзаголовки, які мають самостійне значення, подають з великої літери. У кінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять. Переважна форма іменників у заголовках — *плнина*

### Рисунок 3.5 – Вимоги до оформлення таблиць



### 7.10 Формули та рівняння

**7.10.1** Формули та рівняння подають посередині сторінки симетрично тексту окремим рядком безпосередньо після тексту, у якому їх згадано.

Найвище та найнижче розташування запису формул(и) та/чи рівняння(-нь) має бути на відстані не менше ніж один рядок від попереднього й наступного тексту.

!!! **7.10.2** Нумерують лише ті формули та/чи рівняння, на які є посилання в тексті звіту чи додатка.

**7.10.3** Формули та рівняння у звіті, крім формул і рівнянь у додатках, треба нумерувати наскрізно арабськими цифрами. Дозволено їх нумерувати в межах кожного розділу.

**7.10.4** Номер формули чи рівняння друкують на їх рівні праворуч у крайньому положенні в круглих дужках, наприклад (3). У багаторядкових формулах або рівняннях їхній номер представляють на рівні останнього рядка.

**7.10.5** У кожному додатку номер формули чи рівняння складається з великої літери, що позначає додаток, і порядкового номера формули або рівняння в цьому додатку, відокремлених крапкою, наприклад (А.3).

Якщо в тексті звіту чи додатка лише одна формула чи рівняння, їх нумерують так: (1) чи (А.1) відповідно.

!!! **7.10.6** Пояснення познач, які входять до формули чи рівняння, треба подавати безпосередньо під формулою або рівнянням у тій послідовності, у якій їх наведено у формулі або рівнянні.

Пояснення познач треба подавати без абзацного відступу з нового рядка, починаючи зі слова «де» без двокрапки. Позначки, яким встановлюють визначення чи пояснення, рекомендовано вирівнювати у вертикальному напрямку.

*Приклад оформлення математичної формули*

Відомо, що

$$Z = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad (1)$$

де  $M_1, M_2$  — математичне очікування;

$\sigma_1, \sigma_2$  — середні квадратичні відхили [23].

## Рисунок 3.8 – Вимоги до оформлення математичних формул

**7.10.7** Фізичні формули подають аналогічно математичним формулам, дотримуючи положень 7.10.1—7.10.5, але з обов'язковим записом у поясненні позначки одиниці виміру відповідної фізичної величини. Між останньою цифрою та одиницею виміру залишають проміжок (крім позначення одиниць плоского кута — кутових градусів, кутових мінут і секунд, які пишуть безпосередньо біля числа вгорі).

*Приклад*

Масу твердого тіла в кілограмах обчислюють за формулою:

$$m = \frac{F}{a}, \quad (2.2)$$

де  $F$  — сила, що діє на тіло, Н;  
 $a$  — пришвидшення тіла, м/с<sup>2</sup>.

### 7.10.12 Числові значення величин

**7.10.12.1** Числові значення величин з допускками наводять так:

!!!

$$(65 \pm 3) \%;$$

$$80 \text{ мм} \pm 2 \text{ мм або } (80 \pm 2) \text{ мм.}$$

**7.10.12.2** Діапазон чисел фізичних величин наводять, використовуючи прикметники «від» і «до».

!!! *Приклад*  
Від 1 мм до 5 мм (а не від 1 до 5 мм).

!!! **7.10.12.3** Якщо треба зазначити два чи три виміри, їх подають так: 80 мм × 25 мм × 50 мм (а не 80 × 25 × 50 мм).

## Рисунок 3.9 – Вимоги до оформлення фізичних формул

### **3.2 Вимоги до виконання графічної частини**

Вміст та об'єм графічної частини курсового проєкту визначений у розділі 2.

Уся конструкторська документація повинна повністю відповідати вимогам діючих державних, галузевих стандартів та стандартів підприємств. При її виконанні обов'язково слід використовувати відповідні системи САПР, такі, як AutoCAD, Altium Designer, NX, SolidWorks тощо. При проєктуванні друкованої плати рекомендується користуватися спеціалізованими САПР, призначеними для автоматизованого проєктування друкованих плат: Altium Designer, Sprint-Layout, Eagle, ExpressPCB тощо.

До захисту слід представити тверду копію конструкторських документів та їх електронні версії. При застосуванні спеціалізованих САПР рекомендується зберегти креслення у одному з форматів растрової графіки: png, jpeg, gif, raw, tiff, bmp тощо, або у форматі pdf.

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ЗМІСТОВНОЇ ЧАСТИНИ ПЗ

Змістовна частина ПЗ повинна містити наступні розділи:

- розділ перший: *призначення та принцип роботи виробу*;
- розділ другий: *технічне завдання на проєктування*;
- розділ третій: *аналіз схеми електричної принципової та обґрунтування вибору елементної бази*;
- розділ четвертий: *обґрунтування конструкторських рішень об'єкта проєктування*;
- розділ п'ятий: *опис конструкції об'єкта проєктування*;
- розділ шостий: *розрахункова частина*.

4.1 *У першому розділі* слід навести дані про призначення та принципи роботи виробу. При цьому не слід детально описувати роботу окремих елементів, каскадів та ін. Досить вказати, з яких основних функціональних частин складається пристрій і дати опис призначення органів керування, комутації, індикації тощо.

4.2 *У другому розділі* слід скласти перелік технічних вимог до об'єкту проєктування.

Це особливо важливо, тому що вони визначають тип конструкції, її характеристики і є основою для усіх наступних етапів проєктування.

Технічні вимоги складаються на основі завдання до проєкту. При розробці технічних вимог слід враховувати функціональне призначення виробу, умови та особливості його експлуатації, тип виробництва, додаткові умови. При цьому слід зважати на сучасні методи проєктування та останні досягнення в галузі технології виробництва.

Технічні вимоги слід поділити на групи. Рекомендовані групи технічних вимог:

- функціональні вимоги;
- вимоги, визначені впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів відповідно до умов експлуатації (кліматичні, температурні, механічні впливи, тиск, електромагнітні та інші впливи);
- вимоги, визначені впливом внутрішніх дестабілізуючих факторів, які виникають при експлуатації самого об'єкта проєктування;

– вимоги, визначені зручністю експлуатації та технікою безпеки;

- технологічні вимоги;
- вимоги, визначені умовами транспортування та збереження;
- вимоги стандартизації та уніфікації;
- додаткові вимоги.

Технічні вимоги повинні бути конкретними і містити за можливості граничні кількісні значення окремих параметрів.

Кожну групу технічних вимог слід викладати у окремому підрозділі.

**4.3 У третьому розділі** слід проаналізувати схему електричну принципову, вибрати типи пасивних елементів (резисторів, конденсаторів, індуктивних компонентів, комутаційних пристроїв, індикаторів тощо) та обґрунтувати їх вибір. Для активних елементів, включаючи інтегральні мікросхеми (які зазвичай задаються у завданні), проаналізувати можливість їхньої заміни на аналоги та за необхідності запропонувати альтернативні варіанти. Вибір аналогів обґрунтувати.

Елементну базу належить вибирати, порівнюючи її параметри (наведені у технічних умовах) з технічними вимогами до об'єкта проектування. При цьому слід враховувати передбачувану конструкцію та технологію виготовлення об'єкта проектування.

**4.4 У четвертому розділі** слід проаналізувати технічні вимоги до об'єкта з точки зору їх окремого та спільного впливу на конструкцію в цілому та її складових частин.

Аналіз повинен супроводжуватись прийняттям обґрунтованого технічного рішення з посиланням на літературу або нормативно-технічні документи. Відсутність таких посилань буде вказувати на необґрунтованість тверджень автора проєкту (роботи).

В ході аналізу технічного завдання студент повинен обґрунтувати вибір матеріалів, захисних та декоративних покриттів, конструктивних елементів деталей та складальних одиниць, методів їх виготовлення, а також проведення складально-монтажних робіт.

Після цього слід запропонувати конструкцію проєктованого об'єкта та обґрунтувати її вибір. При цьому слід звернути увагу на:

- відповідність конструкції технічним вимогам;
- зовнішнє оформлення виробу та зручність обслуговування;
- рівень стандартизації та уніфікації;

- забезпечення виробничої технологічності;
- забезпечення нормального теплового режиму;
- забезпечення надійності конструкції під час експлуатації в умовах впливу оточуючого середовища;
- забезпечення вимог безпечної експлуатації.

При виборі остаточного варіанту слід провести порівняння декількох альтернативних варіантів, вибрати оптимальний. При необхідності належить надати ескізи порівнюваних варіантів.

**4.5 У *п'ятому розділі*** слід надати детальний опис конструкції об'єкта проектування.

В цьому розділі належить вказувати найменування деталей та складальних одиниць, які входять до складу проєктованого об'єкта, матеріали, з яких вони виготовлені, захисні покриття, методи виготовлення деталей. Оригінальні конструктивні рішення слід описати окремо. За необхідності належить надавати ескізи, що пояснюють конструкцію або взаємодію окремих деталей.

**4.6 У *шостому розділі*** студент повинен виконати один з конструкторських розрахунків, що підтверджує правильність вибраної конструкції. Рекомендовані розрахунки:

- розрахунок надійності виробу [9, 20];
- розрахунок різьбового з'єднання елементів конструкції [19];
- розрахунок коефіцієнта заповнення плати;
- розрахунок теплового режиму всього пристрою або його окремого вузла [16 – 18].

Кожен розрахунок слід оформляти у послідовності:

- мета розрахунку;
- вихідні дані;
- методика розрахунку;
- результати розрахунку;
- висновки та рекомендації.

Методики деяких конструкторських розрахунків наведені у розділі 5.

## 5 МЕТОДИКИ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗРАХУНКІВ

### 5.1 Розрахунок надійності РЕЗ

#### 5.1.1 Методи розрахунків надійності

Існує декілька різноманітних видів розрахунків надійності РЕЗ, що відрізняються між собою метою, вихідними даними та стадією проектування, на якій виконується розрахунок [9, 20].

Розрахувати надійність виробу (вузла, блоку, приладу або системи) означає визначити якусь одну або декілька кількісних характеристик надійності:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- середнє напрацювання до першої відмови  $T_{cp}$ ;
- напрацювання на відмову  $T_0$ ;
- інтенсивність відмови  $\lambda(t)$ ;
- частоту відмови  $f(t)$ ;
- середній час відновлення  $T_B$ ;
- коефіцієнт готовності  $K_G$ ;
- коефіцієнт технічного використання  $K_T$ .

Між основними характеристиками надійності, за будь-якого закону розподілу відмов, існують певні залежності.

Для елемента ці залежності мають вигляд:

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}; \quad (5.1)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} dt; \quad (5.2)$$

$$f(t) = -P'(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = \lambda(t)e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}; \quad (5.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, 1/\text{ГОД}. \quad (5.4)$$

Для системи ці залежності мають вигляд:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}; \quad (5.5)$$

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} dt \quad (5.6)$$

Під час нормального періоду роботи інтенсивність відмов не залежить від часу, тому для цього періоду характерна експоненційна залежність ймовірності безвідмовної роботи від часу (**експоненційний закон надійності**).

При цьому зазначені вище залежності приймають спрощений вигляд.

Для елемента:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T_{cp}}}; \quad (5.7)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \text{ год.}; \quad (5.8)$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (5.9)$$

Для системи:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T_0}}; \quad (5.10)$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda}, \text{ год.} \quad (5.11)$$

Задаючи один з показників надійності, можна розрахувати інші характеристики надійності системи або елемента.

Методи розрахунків надійності апаратури умовно можна поділити на дві групи:

- приблизний розрахунок;
- повний або остаточний розрахунок.

Для обох методів приймаються наступні передумови і допущення:

- враховуються тільки раптові відмови;
- має силу експоненціальний закон надійності;
- відмови елементів випадкові і незалежні;
- елементи апаратури з точки зору надійності з'єднані послідовно, тобто відмова одного елемента приводить до відмові всієї системи.

**Приблизний** розрахунок зазвичай виконується на початковій стадії проектування апаратури з метою орієнтовної оцінки очікуваного рівня надійності системи, що розробляється.

Для приблизного розрахунку надійності приймається, окрім раніше перерахованих, ще одне допущення: всі однотипні елементи мають рівну надійність, тобто незалежно від режимів роботи мають

однакову інтенсивність відмов, яка дорівнює її середньостатистичному значенню.

Відомі декілька різновидів приблизного розрахунку надійності:

- за середньо груповими інтенсивностями відмов;

- за відомою кількістю каскадів;

- коефіцієнтний засіб;

– розрахунок надійності за середнім рівнем надійності однотипної апаратури;

– розрахунок шляхом перерахування до реальних умов експлуатації.

Вихідними даними для перевірного приблизного розрахунку є:

- комплект конструкторської документації (перелік елементів, складальні креслення вузлів, специфікації);

- значення середньо групових інтенсивностей відмов електрорадіоелементів;

- умови експлуатації.

**Повний** розрахунок надійності виконується після того, як проведений повний електричний розрахунок схеми, розраховані всі режими та визначені умови роботи елементів.

При повному розрахунку надійності радіоапаратури замість середньо групових відмов елементів використовуються значення інтенсивностей відмов з урахуванням коефіцієнтів електричного навантаження і навколишньої температури. При проведенні розрахунків в одну групу можна об'єднати тільки ті елементи, у яких інтенсивності відмов (з урахуванням режимів роботи) виявилися однаковими (в найпростішому випадку це елементи одного типу і номіналу, що працюють з однаковими навантаженнями).

Вихідними даними для повного розрахунку є:

- комплект конструкторської документації (перелік елементів, складальні креслення вузлів, специфікації);

- значення інтенсивностей відмов електрорадіоелементів;

- умови експлуатації;

- коефіцієнти навантаження для елементів схеми.

Розрахунок надійності вважається виконаним якщо:

- визначене напрацювання на відмову системи  $T_0$ ;

– побудований графік залежності ймовірності безвідмовної роботи системи від часу  $P(t)$ .

### **5.1.2 Методика приблизного розрахунку надійності за середньо груповими інтенсивностями відмов елементів**

Незважаючи на те, що повний розрахунок надійності дає більш точні результати, він складніший та потребує значної кількості вихідних даних, деякі з яких можуть бути визначені тільки на остаточних стадіях проектування або навіть після проведення випробувань. Крім того, оскільки при проведенні повного розрахунку враховують коефіцієнти електричного навантаження елементів, які завжди менші за 1, то його результати будуть кращими, ніж результати приблизного розрахунку, коли коефіцієнти електричного навантаження приймаються рівними 1, а умови експлуатації (температури, механічні навантаження тощо) враховуються у вигляді загальних коефіцієнтів з запасами міцності та стійкості.

Тому в деяких випадках (наприклад, коли результати приблизного розрахунку повністю задовольняють) можна обмежитися результатами приблизного розрахунку.

Розглянемо послідовність приблизного розрахунку надійності за методом середньо групових інтенсивностей відмов елементів.

5.1.2.1 Усі елементи системи розподілити на групи з приблизно однаковими інтенсивностями відмов; підраховується кількість елементів в кожній групі  $n$ .

5.1.2.2 Визначити значення інтенсивностей відмов елементів кожної групи.

Базові інтенсивності відмов груп ТНТ-електрорадіоелементів та компонентів наведені у табл. А1 додатку А.

Більш повну інформацію для конкретних типів вітчизняних ТНТ-електрорадіоелементів та компонентів можна подивитися у довідниках, зокрема, у [9, 20].

Інтенсивності відмов сучасних вітчизняних SMD-електрорадіоелементів, а також зарубіжних ТНТ- та SMD-електрорадіоелементів можна визначити у відповідній технічній документації: технічних умовах, технічному паспорті (datashit) тощо. Іноді в цих документах задається не інтенсивність відмов елемента  $\lambda$ , а гарантійний термін або середнє напрацювання до першої відмови  $T_{cp}$ ; в

цьому випадку слід розрахувати значення  $\lambda$ , використовуючи формулу (5.8). За відсутності цієї інформації значення  $\lambda$  для SMD-електрорадіоелементів можна брати таким, як для ТНТ-електрорадіоелементів відповідних типів, виконаних з таких самих матеріалів.

5.1.2.3 Розраховуються добутки, що характеризують частку відмов, внесених елементами даної групи в загальну інтенсивність відмов системи.

При цьому вихідні дані та результати розрахунків доцільно оформити у вигляді таблиці за формою табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Форма таблиці для приблизного розрахунку надійності за методом середньо групових інтенсивностей відмов елементів

№ групи	Найменування та типи груп елементів	$n_i$	$\lambda_i$ , 1/год.	$\lambda_i \cdot n_i$ , 1/год.
1	Елементи групи 1	$n_1$	$\lambda_1$	$\lambda_1 \cdot n_1$
2	Елементи групи 2	$n_2$	$\lambda_2$	$\lambda_2 \cdot n_2$
...	...	...	...	...
$j$	Елементи групи $j$	$n_j$	$\lambda_j$	$\lambda_j \cdot n_j$
...	...	...	...	...
$m$	Елементи групи $m$	$n_m$	$\lambda_m$	$\lambda_m \cdot n_m$
Загалом		$\sum_{j=1}^m n_j$		$\sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot n_j$

5.1.2.4 Розрахувати загальну інтенсивність відмов системи за формулою:

$$\lambda_{\text{сист}} = K \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i, 1/\text{ГОД.}, \quad (5.12)$$

де  $K$  - коефіцієнт, що враховує умови експлуатації, вибирається з таблиці 5.2;

$m$  - загальна кількість груп;

$n_i$  - кількість елементів  $i$ -ї групи.

Таблиця 5.2 – Коефіцієнт, що враховує умови експлуатації

Умови експлуатації	Коефіцієнт експлуатації		
	$K_{min}$	$K_{max}$	$K_{сер}$
Лабораторні (група 1)			1,0
Приміщення з регульованою температурою та вологістю (групи 1, 2)			1,1
Космічний режим (на орбіті)			1,5
Наземні стаціонарні (група 2)	2,0	4,7	2,5
Наземні транспортвані (групи 3, 5)	4,0	7,0	5,0
Наземні рухомі/переносні (групи 6, 7)	7,0	15,0	7,0
Морські захищені (група 4)	7,0	12,0	7,6
Морські незахищені (група 4)	7,0	15,0	10,0
Бортові повітряні (група 5)	5,0	10,0	7,0
Бортові космічні РЕЗ (з ракетним прискоренням на старті)	10,0	44,0	20,0

5.1.2.5 Визначити напрацювання на відмову системи за формулою (5.11).

5.1.2.6 Побудувати графік залежності ймовірності безвідмовної роботи системи від часу, використовуючи формулу (5.10).

Під час побудови графіка значення  $t$  рекомендується обирати в інтервалі від 0 до  $3 T_0$ .

За результатом розрахунку часу напрацювання  $T_0$  можна визначити термін роботи виробу у місяцях або роках. Для цього слід визначити, скільки саме годин протягом місяця (року) працюватиме виріб, та перерахувати значення  $T_0$  у термін роботи.

### 5.1.3 Приклад приблизного розрахунку надійності за середньо груповими інтенсивностями відмов елементів

Провести приблизний розрахунок надійності радіоелектронного пристрою середньої складності. За умовами експлуатації пристрій відноситься до експлуатаційної групи 6 (наземна рухома). Склад електрорадіоелементів та компонентів наведений у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Склад електрорадіоелементів та компонентів

№	Найменування та тип елементу	Кількість елементів, <i>n</i>	Кількість виводів, <i>k</i>
1	Мікропроцесор	1	24
2	Мікросхема напівпровідникова аналогова	6	16
3	Діод спрямовуючий	4	2
4	Транзистор біполярний кремнієвий	3	3
5	Світлодіод	4	2
6	Індикатор рідкокристалічний	2	24
7	Конденсатор smd керамічний 6,8 нФ	4	2
8	Конденсатор smd керамічний 33 нФ	2	2
9	Конденсатор smd танталовий 22 мкФ	4	2
10	Резистор smd від 1 кОм до 100 кОм	23	2
11	Мікроперемикач	2	4
12	З'єднувач низькочастотний прямокутний для друкованого монтажу	3	2
13	Трансформатор живлення	1	2
14	Шнур живлення	1	2
15	Датчик тиску	1	2

Трансформатор живлення закріплюється на корпусі пристрою та з'єднується з роз'ємом на друкованій платі за допомогою плоского кабелю з двох жил.

Шнур живлення з'єднується з роз'ємом на друкованій платі.

Датчик тиску виносний, під'єднується до роз'єму на друкованій платі за допомогою плоского кабелю з двох жил.

Усі інші елементи та компоненти встановлені на друкованій платі та з'єднані за допомогою пайки хвилею.

Для розрахунку сумарної інтенсивності відмов пристрою складемо табл. 5.4. Значення середньо групових інтенсивностей відмов для кожної групи елементів визначаємо з табл. А.1 додатку А.

Окрім елементів, вказаних у табл. 5.3, додаємо:

- плоскі кабелі з двох жил (2 шт.);
  - обтискання жил кабелів для з'єднання з трансформатором (2 шт.) та датчиком тиску (2 шт.);
  - пайка хвилею виводів елементів на друкованій платі.
- Кількість точок пайки розраховується за формулою:

$$n_{\text{пайки}} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot k_i; \quad (5.13)$$

де  $k_i$  – кількість виводів елементів  $i$ -ї групи.

За результатами розрахунків за формулою (5.13) кількість точок пайки на друкованій платі складає  $n_{\text{пайки}} = 273$ .

Таблиця 5.4 – Розрахунки сумарної інтенсивності відмов пристрою

№ групи	Найменування та типи груп елементів	$n_i$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ , 1/год.	$\lambda_i \cdot n_i \cdot 10^{-6}$ , 1/год.
1	Мікропроцесор	1	0,023	0,023
2	Мікросхема напівпровідникова аналогова	6	0,028	0,138
3	Діод спрямовуючий	4	0,091	0,364
4	Транзистор біполярний кремнієвий	3	0,044	0,132
5	Світлодіод	4	0,034	0,136
6	Індикатор рідкокристалічний	2	0,880	1,76
7	Конденсатор smd керамічний 6,8 нФ	4	0,004	0,132
8	Конденсатор smd керамічний 33 нФ	2	0,006	0,332
9	Конденсатор smd танталовий 22 мкФ	4	0,020	
10	Резистор smd від 1 кОм до 100 кОм	23	0,011	0,782
11	Мікроперемикач	2	0,045	0,36
12	З'єднувач низькочастотний прямокутний для друкованого монтажу	3	0,004	0,004
13	Трансформатор живлення	1	0,004	0,004
14	Шнур живлення	1	0,058	0,058
15	Датчик тиску	1	6,660	6,66
16	Кабель плоский	2	0,002	0,004
17	Обтискання	4	0,001	0,004
18	Пайки хвилею	273	0,000069	0,019
Загалом				11,145

З табл. 5.4 сумарна інтенсивність відмов пристрою:

$$\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i \approx 12,15 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

З табл. 5.2 визначаємо коефіцієнт  $K$  для 6-ї групи умов експлуатації:  $K = 7,0$

За формулою (5.12) визначаємо інтенсивність відмов пристрою:

$$\lambda_{\text{сист}} = 7,0 \cdot 12,15 \cdot 10^{-6} = 78,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Напрацювання на відмову пристрою:

$$T_0 = \frac{1}{78,0 \cdot 10^{-6}} \approx 12820 \text{ (год.)}$$

Пристрій працює в середньому 8 годин на добу 20 днів протягом місяця. За таких умов термін роботи складатиме:

$$T = \frac{12820}{8 \cdot 20} \approx 80 \text{ (місяці)}$$

Таким чином, термін роботи пристрою – 80 місяців, або приблизно 6,5 років.

Побудуємо графік залежності ймовірності безвідмовної роботи пристрою від часу. Для побудови графіку складемо табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунки для побудови графіку залежності ймовірності безвідмовної роботи пристрою від часу

$t$ , ГОД.	0	5936	11871	17807	23743	29678	35614
$P(t)$	1	0,607	0,368	0,223	0,135	0,082	0,050

Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи пристрою від часу наведений на рис. 5.1.

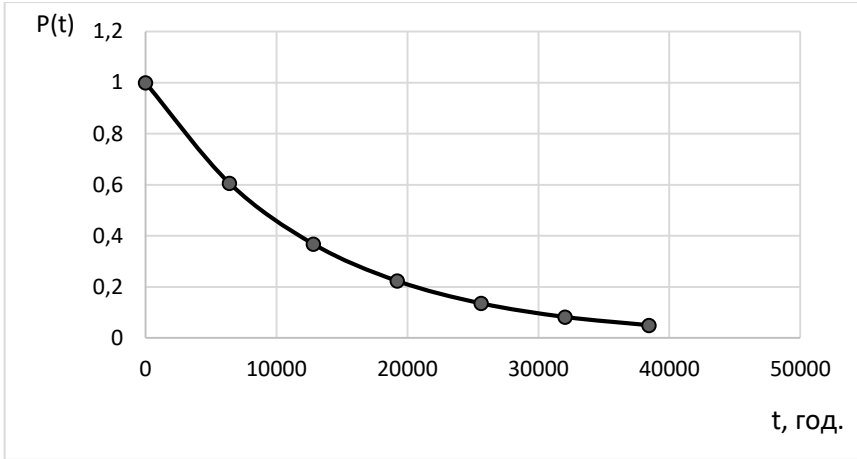


Рисунок 5.1 – Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи пристрою від часу

## 5.2 Розрахунок коефіцієнта заповнення друкованої плати

Метою розрахунку є визначення ефективної площі друкованої плати, зайнятої елементами та технологічними полями. При цьому площа, яку займає провідний рисунок, не враховується.

Результати розрахунку можуть бути використані при деяких розрахунках теплових режимів, а також для комплексної оцінки якості як самої плати, так і виробу в цілому.

Розрахунок виконується за складальним кресленням друкованої плати для сторони, зайнятої елементами. Для плат з двобічним монтажем розрахунок проводиться для тієї сторони, яка найбільш щільно зайнята елементами.

Коефіцієнт заповнення плати визначається за формулою:

$$K_{зп} = \frac{S_{ef}}{S}; \quad (5.14)$$

де  $S_{ef}$  – ефективна площа поверхні плати,  $m^2$ ;  
 $S$  – загальна площа поверхні плати,  $m^2$ .

Ефективна площа поверхні плати складається з сумарної площі, яку займають всі елементи схеми з урахуванням виступаючих виводів і

контактних площинок (посадкових місць), та площі технологічних полів  $S_T$ , необхідної для закріплення плати у складі виробу:

$$S_{\text{еф}} = S_{\text{ел.заг}} + S_T \quad (5.15)$$

Посадкові місця елементів  $S_{\text{ел}}$  являють собою плоскі геометричні фігури найпростішої форми – прямокутники та кола, – описані навколо елемента з виводами та контактними площинками за максимально виступаючими точками.

Враховуючи, що між корпусами елементів на платі слід забезпечувати гарантований зазор не менше 1 мм для звичайних елементів та 2 мм для теплонавантажених елементів, при формуванні посадкових місць елементів прямокутної форми слід додавати до довжини та ширини 1 мм (по 0,5 мм з кожного боку) для звичайних елементів та 2 мм (по 1 мм з кожного боку) для теплонавантажених елементів. Для елементів циліндричної форми слід додавати до діаметра 1 мм для звичайних елементів та 2 мм для теплонавантажених.

На рис. 5.2 – 5.11 показані схеми для розрахунків площі ТНТ-та SMD-елементів з різними посадковими місцями, а у табл. 5.6 – формули для обчислення площі для кожної схеми. При цьому для ТНТ-елементів розрахункові схеми вказані відповідно до варіантів їхньої установки за стандартом [11], або аналогічних їм.

Позначення на рис. 5.2 – 5.11:

L – довжина елемента;

B – товщина елемента прямокутної форми;

H – висота елемента;

D – діаметр елемента циліндричної форми;

D1 – посадковий діаметр елемента циліндричної форми;

L1 – посадковий розмір (відстань між отворами) для ТНТ-елемента з аксіальними виводами;

L2 – посадковий розмір (відстань до найвіддаленішого отвору) для ТНТ-елемента з торцевими виводами;

d – діаметр контактної площинки круглої форми;

c – відстань між контактними площинками прямокутної форми;

a – ширина контактної площинки прямокутної форми;

b – висота контактної площинки прямокутної форми.

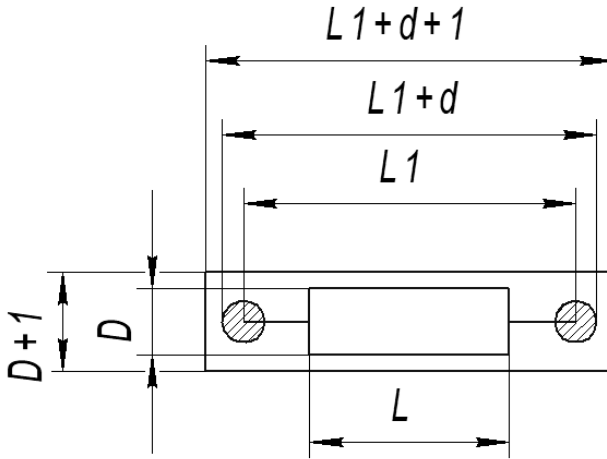


Рисунок 5.2 – Площа циліндричного ТНТ-елемента з аксіальними виводами при  $D > d$  (варіанти установки I, IIа, IIб)

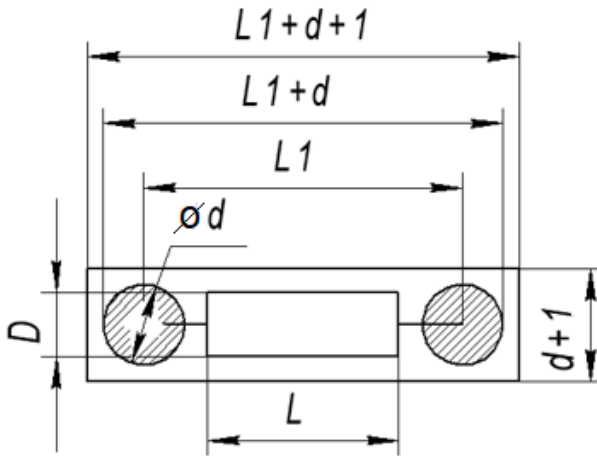


Рисунок 5.3 – Площа циліндричного ТНТ-елемента з аксіальними виводами при  $D < d$  (варіанти установки I, IIа, IIб)

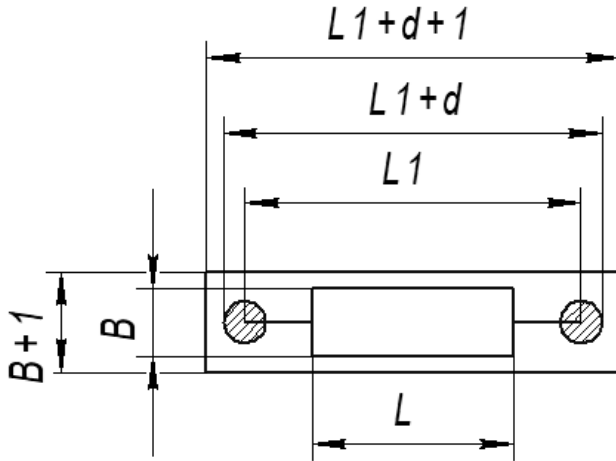


Рисунок 5.4 – Площа прямокутного ТНТ-елемента з аксіальними виводами (варіанти установки Іб, Іб)

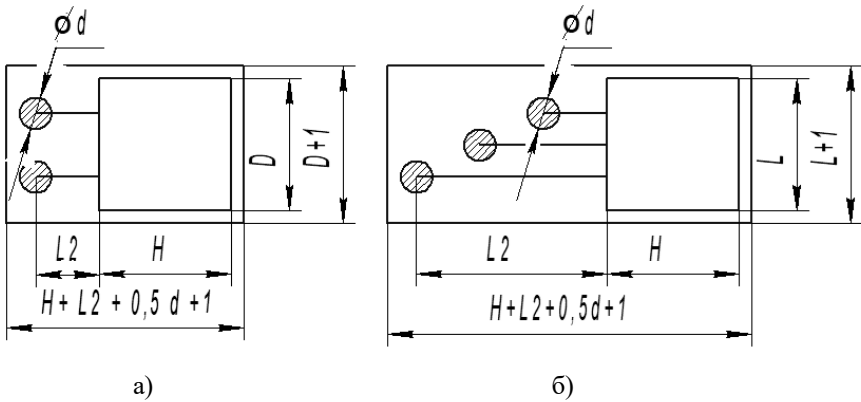


Рисунок 5.5 – Площа циліндричного (а) та прямокутного (б) ТНТ-елементів з торцевими виводами (варіант установки Іа)

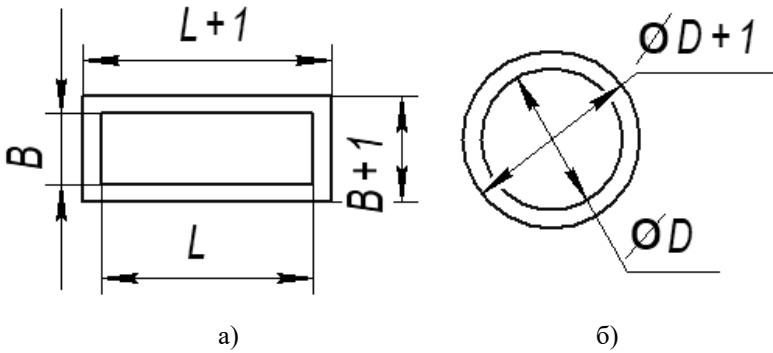


Рисунок 5.6 – Площа прямокутного (а) та циліндричного (б) ТНТ-елементів з торцевими виводами (варіанти установки Пв, Vб, IX)

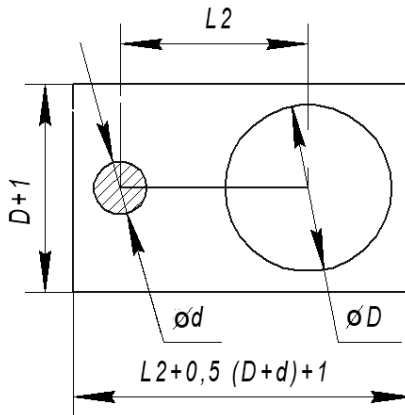


Рисунок 5.7 – Площа циліндричного ТНТ-елемента з аксіальними виводами (варіант установки III)

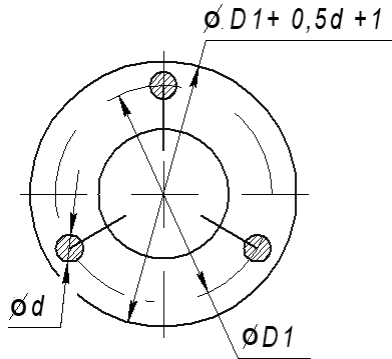


Рисунок 5.8 – Площа циліндричного ТНТ-транзистора (варіант установки Va)

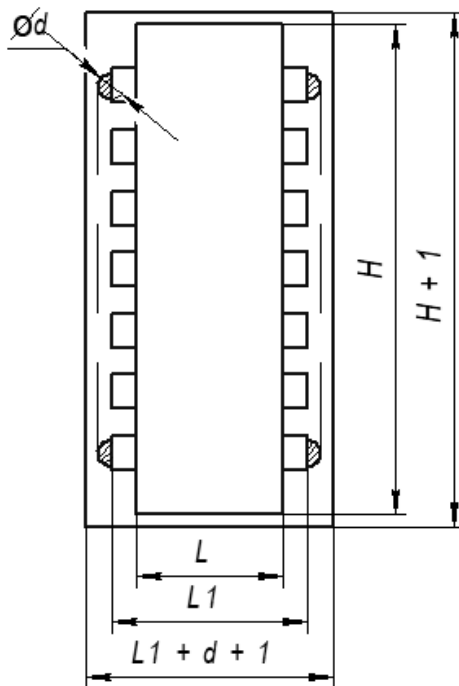


Рисунок 5.9 – Площа мікросхем в корпусах DIP, PGA (варіанти установки VIIIa, VIIIб)

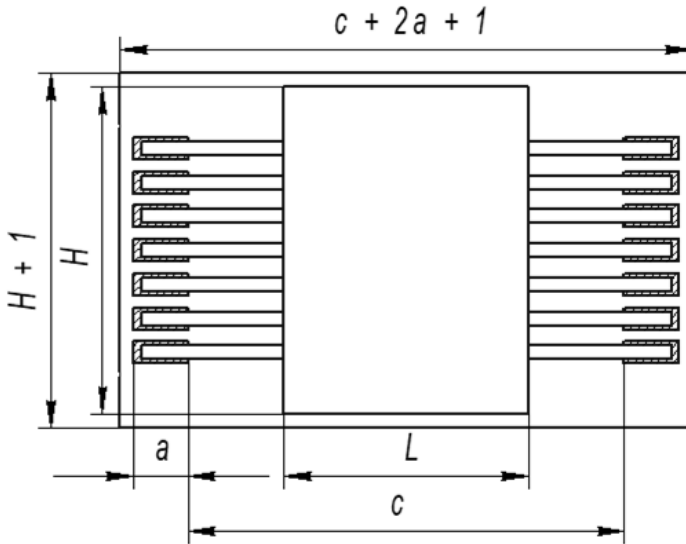


Рисунок 5.10 – Площа мікросхем в корпусах з планарними виводами (варіанти установки VIa, VIб)

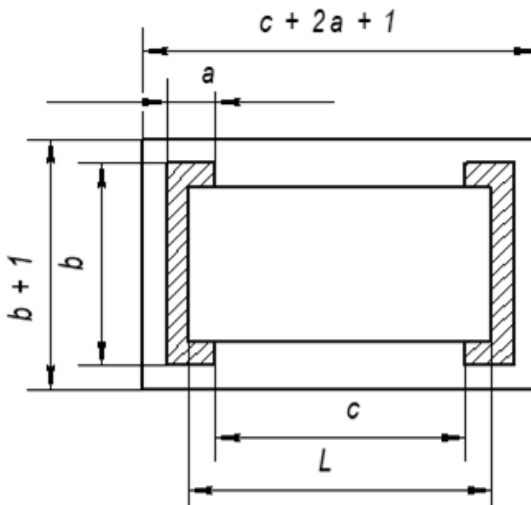


Рисунок 5.11 – Площа SMD-елементів

Таблиця 5.6 – Формули для обчислення площі елементів

Елемент	Вар. устан.	Схема рис.	Формула для обчислення $S_{ел}$
Циліндричний ТНТ з аксіальними виводами при $D > d$	I, Па, Пб	5.2	$S_{ел} = (L_1 + d + 1) \cdot (D + 1)$
Циліндричний ТНТ з аксіальними виводами при $D > d$	I, Па, Пб	5.3	$S_{ел} = (L_1 + d + 1) \cdot (d + 1)$
Прямокутний ТНТ з аксіальними виводами	Іб, Пб	5.4	$S_{ел} = (L_1 + d + 1) \cdot (B + 1)$
Циліндричний ТНТ з торцевими виводами	Ia	5.5 а	$S_{ел} = \left( H + L_2 + \frac{d}{2} + 1 \right) \cdot (D + 1)$
Прямокутний ТНТ з торцевими виводами	Ia	5.5 б	$S_{ел} = \left( H + L_2 + \frac{d}{2} + 1 \right) \cdot (L + 1)$
Прямокутний ТНТ з торцевими виводами	Пв, ІХ	5.6 а	$S_{ел} = (L + 1) \cdot (B + 1)$
Циліндричний ТНТ з торцевими виводами	Vб	5.6 б	$S_{ел} = \frac{\pi \cdot (D + 1)^2}{4}$
Циліндричний ТНТ з аксіальними виводами	ІІІ	5.7	$S_{ел} = \left( L_2 + \frac{D + d}{2} + 1 \right) \cdot (D + 1)$
Циліндричний ТНТ транзистор	Va	5.8	$S_{ел} = \frac{\pi \cdot \left( D_1 + \frac{d}{2} + 1 \right)^2}{4}$
Мікросхеми в корпусах DIP, PGA	VІІІa, VІІІб	5.9	$S_{ел} = (L_1 + d + 1) \cdot (H + 1)$
Мікросхеми в корпусах з планарними виводами	VІa, VІб	5.10	$S_{ел} = (c + 2a + 1) \cdot (H + 1)$
SMD-елементи	-	5.11	$S_{ел} = (c + 2a + 1) \cdot (b + 1)$

Для нестандартних елементів більш складної форми площу слід визначити самостійно.

Якщо на платі знаходяться тепловідляючі елементи, в формули, указані у табл. 5.6, замість 1 мм слід додавати 2 мм.

Площі елементів слід розрахувати окремо для кожної групи елементів у однакових корпусах, встановлених за одним варіантом, після чого визначити загальну площу всіх елементів, встановлених на поверхні плати:

$$S_{\text{ел.заг}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} S_{\text{ел}ij}, \quad (5.16)$$

де  $m_i$  – кількість елементів у  $i$ -й групі;

$n$  – кількість груп елементів у однакових корпусах, встановлених за одним варіантом.

Площа технологічних полів  $S_T$  залежить від способу закріплення плати у складі виробу.

Якщо плата прикріплюється до несучої конструкції за допомогою різьбових з'єднань (типу гвинт – шайба – різьбовий отвір), то при визначенні технологічних полів для кожної точки кріплення слід враховувати діаметр шайби та гарантований зазор між елементами кріплення та електрорадіоелементами, встановленими на платі. При цьому області, зайняті елементами кріплення, з урахуванням гарантованого зазору, слід обмежувати простими геометричними фігурами – прямокутниками, квадратами або колами.

На рис. 5.12 показана схема розрахунку технологічних полів для плати, яка кріпиться до несучої конструкції за допомогою п'яти гвинтів, чотири з яких розташовані по кутах плати симетрично, а п'яте – у центрі плати.

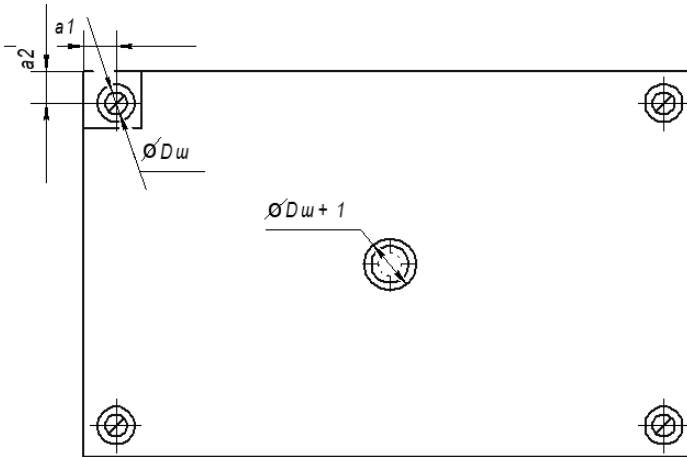


Рисунок 5.12 – Площа технологічних полів плати, яка кріпиться за допомогою різьбових з'єднань

Для плати на рис. 5.12:

$$S_T = 4 \cdot \left( a_1 + \frac{D_{\text{ш}}}{2} + 0,5 \right) \cdot \left( a_2 + \frac{D_{\text{ш}}}{2} + 0,5 \right) + \frac{\pi \cdot (D_{\text{ш}} + 1)^2}{4} \quad (5.17)$$

Якщо плата прикріплюється до несучої конструкції іншим способом (за допомогою пружних елементів, за спрямовувачами тощо), плащу технологічних полів слід визначити відповідно до геометрії кріплення з урахуванням гарантованого зазору між елементами кріплення та електрорадіоелементами, встановленими на платі.

Загальна площа поверхні плати розраховується за її геометричними розмірами з урахуванням форми. В найпростішому випадку для плати прямокутної форми з габаритними розмірами  $L$  x  $B$ , де  $L$  і  $B$  – довжина та ширина плати відповідно:

$$S = L \cdot B \quad (5.18)$$

Після визначення всіх складових, розраховується коефіцієнт заповнення плати  $K_{3П}$  за формулою (5.14).

За результатами розрахунку можна зробити наступні висновки.

Якщо  $0 < K_{3П} \leq 0,2$ , це свідчить про низьку щільність заповнення плати. Це дозволяє забезпечити високі щільності струму, що протікає за друкованими провідниками, збільшує електричну міцність, зменшує паразитні параметри, сприяє нормальному тепловому режиму, покращує умови електромагнітної сумісності, ремонтпридатності, технологічності, але приводить до суттєвого (іноді недопустимо) збільшення габаритних розмірів як самої плати, так і виробу в цілому.

Якщо  $0,2 < K_{3П} \leq 0,4$ , це свідчить про нормальну щільність заповнення плати. Такий коефіцієнт заповнення характерний для більшості друкованих плат, що містять мікросхеми та інші багатоконтактні елементи.

Якщо  $0,4 < K_{3П} \leq 0,6$ , це свідчить про високу щільність заповнення плати. Це дозволяє суттєво зменшити габарити плати, але при цьому погіршуються її експлуатаційні характеристики та ускладняється трасування.

Коефіцієнт заповнення плати  $K_{3П} > 0,6$  у сучасних пристроях практично не застосовується.

## 5.3 Розрахунки різьбових з'єднань

### 5.3.1 Види та мета розрахунків різьбових з'єднань

Розрахунки різьбових з'єднань можуть бути двох видів:

- проєктний;
- перевірочний.

*Метою проєктного розрахунку* є визначення кількості та параметрів кріпильних елементів (діаметра та матеріалу гвинтів, болтів, кріпильних стійок тощо), які забезпечують міцність і жорсткість з'єднання при заданих механічних навантаженнях відповідно до масо-габаритних характеристик виробу та умов його експлуатації.

*Метою перевірочного розрахунку* є перевірка умов міцності і жорсткості з'єднання при заданих механічних навантаженнях відповідно до масо-габаритних характеристик виробу та умов його експлуатації для визначеної кількості та параметрів кріпильних елементів.

Якщо кріпильні елементи розташовані вертикально, на них діють поздовжні сили, і розрахунок треба проводити за умови міцності або жорсткості при розтягуванні або стисненні.

При горизонтальному розташуванні кріпильних елементів на них діють поперечні сили та крутильні моменти, і розрахунок треба проводити за умови міцності або жорсткості на зсув (зріз), зминання та (або) кручення.

Найбільш складним є розрахунок кріпильних елементів на зріз і зминання за умови їхнього нерівномірного навантаження. Розглянемо такий розрахунок на прикладі розрахунку гвинтів кріплення друкованої плати з несиметричним положенням центра мас при її вертикальному розташуванні.

### 5.3.2 Приклад розрахунку гвинтів кріплення друкованої плати

#### 5.3.2.1 Завдання та вихідні дані до розрахунку

Друкована плата з електрорадіоелементами розташована у блоці вертикально та кріпиться у чотирьох точках до бобишок на вертикальній стінці корпусу за допомогою гвинтів.

Еквівалентна маса плати  $m$  прикладена у т. М, яка не співпадає з геометричним центром плати т. О.

Максимальне прискорення  $a$ , яке може діяти на плату під час експлуатації, дорівнює 15 g.

Розрахувати діаметр гвинтів  $d$  для кріплення плати за умови міцності на зріз та зминання і підібрати стандартні гвинти, що відповідають найбільш критичній умові.

При розрахунках слід також прийняти наступне допущення. Оскільки плата має декілька точок кріплення, для забезпечення умови складання між діаметрами отворів у платі та діаметрами гвинтів слід забезпечити гарантований зазор, тому при розрахунках гвинтів слід розглядати випадок, коли вони поставлені з зазором.

**Геометричні характеристики плати:**

$$L_1 = 0,12 \text{ м}$$

$$L_2 = 0,18 \text{ м}$$

$$a_1 = 0,07 \text{ м}$$

$$a_2 = L_1 - a_1 = 0,05 \text{ м}$$

$$b_1 = 0,06 \text{ м}$$

$$b_2 = L_2 - b_1 = 0,12 \text{ м}$$

$$\delta = 0,001 \text{ м}$$

**Маса плати з елементами:**

$$m = 0,5 \text{ кг}$$

**Матеріал гвинтів:** сталь 45:

допустиме напруження на розтягування:  $[\sigma] = 240 \text{ МПа}$

допустиме напруження на стискання:  $[\sigma_-] = 180 \text{ МПа}$

Розрахункова схема наведена на рис. 5.13.

### 5.3.2.2 Визначення допустимих напружень

Визначимо допустиме напруження на зріз за IV теорією міцності за формулою:

$$[\tau] = \frac{[\sigma]}{\sqrt{3}} \approx 0,6 \cdot [\sigma] \quad (5.19)$$

$$[\tau_{зр}] \approx 0,6 \cdot 240 = 144 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження на зминання визначимо за формулою:

$$[\sigma_{зм}] \approx (2,0 \dots 2,5) \cdot [\sigma_-] \quad (5.20)$$

де  $[\sigma_-]$  – допустиме напруження на стискання.

$$[\sigma_{3M}] \approx 2,0 \cdot 180 = 360 \text{ МПа}$$

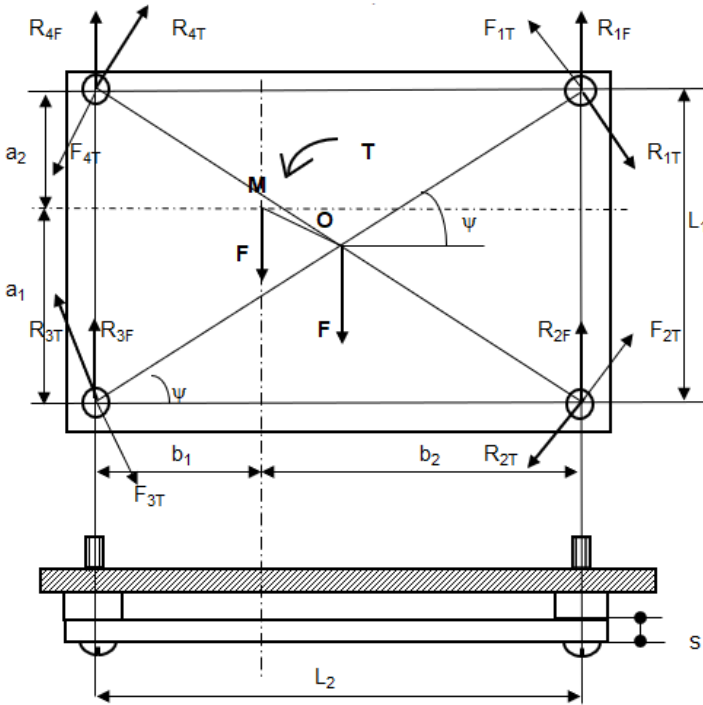


Рисунок 5.13 – Схема для розрахунків гвинтів кріплення плати

### 5.3.2.3 Визначення розрахункового навантаження на гвинт

Сила тяжіння плати, прикладена до т. М:

$$G = m \cdot g = 0,5 \cdot 9,8 = 4,9 \text{ (Н)}$$

Максимальну силу, прикладену до т. М, визначимо з урахуванням сили тяжіння та динамічного навантаження плати:

$$Q = G + m \cdot a = 4,9 + 15 \cdot 9,8 = 78,4 \text{ (Н)}$$

Оскільки рівнодіюча навантаження, що діє на плату, прикладена несиметрично відносно точок кріплення плати, слід визначити навантаження на найбільш навантажений гвинт.

В даному випадку має місце з'єднання, при якому навантаження зрушує деталі в стик. При розрахунку такого з'єднання зовнішню силу  $Q$  замінюємо рівнодіючою  $F = Q$ , прикладеною у центрі тяжіння з'єднання (т. О), та моментом  $T$ :

$$T = Q \cdot l$$

де  $l$  – плече прикладення сили  $Q$  відносно т. О.

З рис. 5.13 видно, що:

$$l = MO = \sqrt{\left(a_1 - \frac{L_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{L_2}{2} - b_1\right)^2}$$

$$l = \sqrt{0,01^2 + 0,03^2} \approx 0,032 \text{ (м)}$$

$$T = 78,4 \cdot 0,032 \approx 2,5 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Навантаження від сили  $F_F$  розподіляється між гвинтами рівномірно:

$$F_{iF} = \frac{F}{z}$$

де  $z$  – кількість гвинтів;  $z = 4$ .

$$F_{iF} = \frac{78,4}{4} = 19,6 \text{ (Н)}$$

Навантаження від моменту розподіляються за гвинтами пропорційно до їх деформацій при повороті плати, тобто пропорційно відстаням гвинтів від центру повороту (т. О).

Для симетричної плати:

$$T = F \cdot r \tag{5.21}$$

де

$$r = \sqrt{\left(\frac{L_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{L_2}{2}\right)^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,09^2} \approx 0,11 \text{ (м)}$$

З (5.21) навантаження від моменту  $F_T$ :

$$F_T = \frac{T}{r} = \frac{2,5}{0,11} = 22,9 \text{ (Н)}$$

Навантаження від моменту  $F_T$  також розподіляється між гвинтами рівномірно:

$$F_{iT} = \frac{22,9}{4} \approx 5,7 \text{ (Н)}$$

Зусилля у гвинтах  $R_{iF}$  та  $R_{iT}$  дорівнюють відповідним навантаженням та спрямовані у протилежні боки (див. рис. 5.13).

Сумарне зусилля у кожному гвинті визначається як сума векторів двох зусиль:

$$\vec{R}_i = \vec{R}_{iF} + \vec{R}_{iT}$$

З рис. 5.13 видно, що найбільші сумарні зусилля будуть у гвинтах 3 та 4, де вектори зусиль спрямовані у одному напрямку.

Визначимо сумарне зусилля у гвинті 3 (див. рис. 5.14).

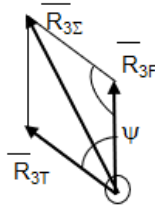


Рисунок 5.14 – Визначення сумарного навантаження на гвинт 3

З рис. 5.14:

$$R_{3\Sigma} = \sqrt{R_{3F}^2 + R_{3T}^2 - 2 \cdot R_{3F} \cdot R_{3T} \cdot \cos \varphi} \quad (5.22)$$

де  $\varphi$  – кут між векторами  $\vec{F}_{3F}$  та  $\vec{R}_{3T}$ .

З рис. 5.14  $\varphi = 180^\circ - \psi$

Кут  $\psi$  визначимо з рис. 7.7:

$$\psi = \arctg \frac{L_1}{L_2} = \arctg \frac{0,12}{0,18} \approx 33,7^\circ$$

$$\varphi = 180 - 33,7^\circ = 146,3^\circ$$

Підставивши значення кута  $\varphi$  у (5.22), отримаємо:

$$R_{3\Sigma} = \sqrt{19,6^2 + 5,7^2 - 2 \cdot 19,6 \cdot 5,7 \cdot \cos 146,3^\circ} \approx 24,6 \text{ (Н)}$$

Таким чином, за розрахункове зусилля приймаємо максимальне зусилля:

$$R_{max} = R_{3\Sigma} = 24,6 \text{ Н}$$

### 5.3.2.4 Розрахунок гвинта на зріз

Визначимо зусилля затягування:

$$F_{\text{зат}} = \frac{K \cdot R_{\text{max}}}{f} \quad (5.23)$$

де  $K$  – коефіцієнт запасу, зазвичай приймається від 1,5 до 3,0;  
 $f$  – коефіцієнт тертя в стику деталей.

Для сталевих поверхонь  $f = 0,15$ .

$$F_{\text{зат}} = \frac{2,0 \cdot 24,6}{0,15} \approx 327,7 \text{ (Н)}$$

Вплив скручування гвинта враховують, збільшуючи зусилля затягування на 30%:

$$F_{\text{розр}} = 1,3 \cdot F_{\text{зат}} \approx 426,0 \text{ (Н)}$$

Діаметр гвинта визначаємо з умови міцності на зріз за формулою:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{розр}}}{\pi \cdot [\tau]}} \quad (5.24)$$

$$d_{\text{min зр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 426,0}{\pi \cdot 144 \cdot 10^6}} \approx 0,00194 \text{ (м)} = 1,94 \text{ мм}$$

### 5.3.2.5 Розрахунок гвинта на зминання

Діаметр гвинта визначаємо з умови міцності на зминання за формулою:

$$d \geq \frac{F_{\text{розр}}}{[\sigma_{\text{зм}}] \cdot \delta} \quad (5.25)$$

$$d_{\text{min зм}} = \frac{426,0}{360 \cdot 10^6 \cdot 0,001} \approx 0,00118 \text{ (м)} = 1,18 \text{ мм}$$

### 5.3.2.6 Вибір стандартного гвинта

Як видно з розрахунків, умова міцності на зріз є більш критичною, тому діаметр гвинта вибираємо з цієї умови.

За результатами розрахунків мінімальний діаметр гвинта:

$$d_{\text{min}} = 1,94 \text{ мм.}$$

Для стандартного гвинта з метричною різьбою мінімальним є діаметр різби за западинами.

Вибираєм стандартний гвинт M2,5 з напівкруглою головкою за DIN 7985, для якого  $d_{min} = d_3 (d_{западин}) = 1,948$  мм.

Умовне позначення гвинта з номінальним розміром різби M2,5, номінальною довжиною 5 мм, класом міцності 4.8 [12]:

***Cross recessed raised cheese head screws DIN 7985 – M 2,5 X 5 – 4.8***

## **6 ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ**

Студент повинен здати на перевірку ПЗ та комплект КД не пізніше зазначеного в завданні строку. Допуском до захисту є підпис керівника проекту на усіх документах.

До захисту студент подає ПЗ та комплект КД з усіма необхідними виправленнями та усунутими зауваженнями.

Захист проєкту відбувається перед комісією, призначеною завідуючим кафедрою.

Студент протягом від 7 до 10 хвилин доповідає про результати своєї роботи, звертаючи увагу на виконання пунктів технічного завдання, обґрунтовує прийняті рішення, доповідає результати розрахунків, робить необхідні висновки, знайомить комісію з матеріалами, які надані у графічній частині роботи.

Оцінка курсового проєкту є комплексною і складається з оцінки КД, ПЗ та відповідей на запитання під час захисту.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 р. №1556-VII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18?lang=en#Text>
2. Закон України «Про електронні документи та електронний документообіг» від 22.05.2003 р. №851-15.
3. ДСТУ 3008-15. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення (вступив у дію з 2016 року на заміну ДСТУ 3008-95) [Текст]. – Чинний від 2015–06–25. – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2016. – 30 с.
4. ДСТУ ГОСТ 7.1:2018. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги і правила складання [Текст]. – Чинний від 2018–01–01. – К.: Держспоживстандарт України, 2019. – 16 с.
5. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 ЄСКД. Загальні положення. [На заміну ГОСТ 2.001-93, ІДТ; чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 9 с.
6. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 Єдина система конструкторської документації. Основні написи. [На заміну ГОСТ 2.104-2006, ІДТ; чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 23 с.
7. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем. [На заміну ГОСТ 2.702-2011, ІДТ; чинний від 2013–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2013. 30 с.
8. ДСТУ ГОСТ 2.307:2013 Єдина система конструкторської документації. Нанесення розмірів і граничних відхилів. [На заміну ГОСТ 2.307-2011, ІДТ; чинний від 2014–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2014. 42 с.
9. ДСТУ 2992-95 Вироби електронної техніки. Методи розрахунку надійності. [Чинний від 1996–01–01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 1995. 163 с.
10. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Проектування телекомунікаційних та радіотехнічних систем", цикл І "Захист від дестабілізуючих факторів" 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, Олександр ПРОЖЕНКО. – Запоріжжя : НУЗП, 2023. – 71 с.

11. 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.

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

13. Ольшевський, С.В. Конструювання радіоелектронних засобів [Текст]: конспект лекцій за курсом / С.В. Ольшанський. - К.: КНУ ім. Т.Шевченка, 2014. - 199 с.

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

15. Ганжа, С.М. Основи конструювання електронних засобів [Текст]: підручник / С.М. Ганжа. – Луганськ.: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2011. – 491 с.

16. Теплові процеси в електроніці [Текст] / [Ю.Я. Бобало, В. Вуйцик, З.Ю. Готра та інші]; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. – 360 с.

17. Будник, А.Ф. Тепломасоперенос у процесах і матеріалах [Текст]: навчальний посібник / А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 158 с.

18. Моделювання теплових процесів в РЕА [Текст]: навчальний посібник / О.І. Нікольський, О.П. Шеремета. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 116 с.

19. Уваров, Б.М. Механіка електронних апаратів [Текст]: навчальний посібник / Б.М. Уваров. – К.: “Корнійчук”, 2008. – 314 с.

20. Уваров, Б.М. Надійність конструкцій чарунок радіоелектронної апаратури за зовнішніх механічних впливів [Текст]: // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія радіотехніка, радіоапаратобудування. – 2009. – Вип. 39, с. 91 – 98.

## Додаток А

### Інтенсивності відмов елементів рез

Інтенсивності відмов елементів РЕЗ наведені у табл. А.1.

Таблиця А.1 – Середньо групові інтенсивності відмов груп елементів та компонентів РЕЗ [31].

Група елементів	$\lambda_{\text{ср}}, \cdot 10^{-6}, 1/\text{год.}$
<b>1 Мікросхеми інтегральні</b>	
<b>Напівпровідникові цифрові:</b> логічні, арифметичні, мікропроцесори та мікропроцесорні комплекти, регістри зсуву тощо	0,023
оперативні запам'ятовуючі пристрої (ОЗП)	0,030
постійні запам'ятовуючі пристрої (ПЗП, ППЗП, РПЗП)	0,018
<b>Напівпровідникові аналогові</b>	0,028
<b>Гібридні</b>	0,043
<b>2 Прилади напівпровідникові</b>	
<b>Діоди:</b> спрямовуючі	0,091
імпульсні	0,025
НВЧ-кремнієві	0,162
НВЧ з арсеніду галію	0,210
варикапи підлаштування	0,022
стабілітрони	0,004
стовпи спрямовуючі	0,210
<b>Транзистори:</b> біполярні кремнієві	0,044
польові кремнієві	0,065
польові з арсеніду галію	0,578
НВЧ малої та середньої потужності	0,064
НВЧ великої потужності	0,180
<b>Тиристори</b> кремнієві	0,200
<b>3 Прилади напівпровідникові оптоелектронні</b>	
<b>Фотодіоди</b> кремнієві	0,185
<b>Фототранзистори</b>	0,150
<b>Фоторезистори</b>	1,800
<b>Світлодіоди</b>	0,034
<b>Оптонари</b> діодні, транзисторні	0,051
<b>Мікросхеми</b> оптоелектронні	0,190

Продовження табл. А.1

<b>Група елементів</b>	$\lambda_{\text{ср}}, 10^{-6}, 1/\text{год.}$
<b>4 Індикатори знаковсинтезуючі</b>	
<b>Напівпровідникові:</b>	
літерно-цифрові	0,420
дисплеї з діодною матрицею	0,210
<b>Вакуумні люмінісцентні:</b>	
цифрові	0,830
літерно-цифрові	0,690
розжарювання цифрові	0,310
<b>Газорозрядні:</b>	
цифрові	0,790
літерно-цифрові	2,250
<b>Рідкокристалічні цифрові багаторозрядні</b>	0,880
<b>5 Конденсатори</b>	
Слюдяні	0,040
керамічні	0,022
паперові	0,019
з органічним синтетичним діелектриком	0,028
електролітичні алюмінієві	0,173
smd керамічні до 6,8 нФ	0,004
smd керамічні від 6,8 нФ до 100 нФ	0,006
smd керамічні вище 100 нФ	0,008
smd танталові до 1 мкФ	0,011
smd танталові від 1 мкФ до 2 мкФ	0,014
smd танталові від 2 мкФ до 22 мкФ	0,020
smd танталові вище 22 мкФ	0,029
<b>6 Резистори</b>	
<b>Постійні недротяні:</b>	
металодіелектричні, металізовані	0,044
композиційні	0,034
плівкові	0,030
smd до 1 кОм	0,016
smd від 1 кОм до 100 кОм	0,011
smd вище 100 кОм	0,032
<b>Змінні:</b>	
недротяні	0,179
дротяні	0,183
<b>Терморезистори</b>	0,007

Продовження табл. А.1

<b>Група елементів</b>	$\lambda_{\text{ср}}, 10^{-6}, 1/\text{год.}$
<b>7 Елементи комутації (на 1 контакт)</b>	
<b>Перемикачі:</b>	
галетні	0,058
тумблери	0,100
кнопки	0,160
мікроперемикачі	0,045
на базі герконів	0,130
<b>Контакти магнітокеровані:</b>	
замикаючі	0,001
перемикаючі	0,018
<b>З'єднувачі:</b>	
низькочастотні прямокутні для друкованого монтажу	0,004
низькочастотні для об'ємного монтажу	0,010
радіочастотні	0,015
гнізда	0,010
<b>8 Індуктивні компоненти</b>	
<b>Трансформатори:</b>	
живлення	0,004
перетворення напруги	0,007
узгоджуючі, імпульсні	0,002
<b>Дроселі</b>	0,033
<b>Котушки індуктивності</b>	0,010
<b>Реле електромагнітні (на 1 контакт)</b>	0,030
<b>9 П'єзоелементи, запобіжники</b>	
<b>Прилади п'єзоелектричні</b>	0,026
<b>Лінії затримки</b>	0,040
<b>Запобіжники</b>	0,011
<b>Утримувачі запобіжників</b>	0,003
<b>10 З'єднання</b>	
<b>Обтискання (опресування)</b>	0,001
<b>Клемний вузол</b>	0,062
<b>Пайка:</b>	
ручна без накрутки	0,001300
ручна з накруткою	0,000070
хвилею	0,000069
друкований монтаж у металізований отвір	0,000017
монтаж дискретними провідниками у металізований отвір	0,000110

Продовження табл. А.1

<b>Група елементів</b>	$\lambda_{\text{ср}}, \cdot 10^{-6}, 1/\text{год.}$
<b>11 Кабелі, шнури, дроти (на 1 м)</b>	
<i>Кабелі</i> радіочастотні коаксіальні	0,001270
<i>Кабелі</i> плоскі стрічкові	0,002240
<i>Шнури</i> живлення гнучкі	0,057700
<i>Дроти</i> монтажні низьковольтні	0,037000
<b>12 Електродвигуни</b>	
асинхронні	8,600
вентиляторів	0,200
синхронні	0,359
крокові	0,370
<b>13 Елементи теплообміну, датчики</b>	
<i>Вентилятори</i>	3,57
<i>Охолоджувачі</i>	1,67
<i>Теплообмінники</i>	18,6
<i>Датчики тиску</i>	6,66
<i>Повітрядувки</i>	2,40
<b>14 Приводи</b>	
систем стеження	12,50
загального призначення крупногабаритні	6,90
загального призначення малогабаритні	3,60
пасові	3,88
<b>15 Передачі</b>	
зубчасті циліндричні	2,18
зубчасті сектори	0,95
зубчасті гвинтові	0,05
зубчасті редуктори	0,20