

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет



РОБОЧА ПРОГРАМА ТА
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної, контрольної та індивідуальної роботи з
дисципліни
"Зовнішні впливи на електронні апарати та засоби захисту"
для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми
«Радіoeлектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні
технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»)
усіх форм навчання

Робоча програма та методичні вказівки до самостійної, контрольної та індивідуальної роботи з дисципліни "Зовнішні впливи на електронні апарати та засоби захисту" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Поспеева І.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 26 с.

Укладач : Поспеева Ірина Євгенівна, ст. викладач,

Рецензент: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн. наук,
доцент

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна, канд. техн. наук,
доцент, в.о. зав. каф. ІТЕЗ

Розглянуто
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 11 від 02.06.17 р.

Затверджено
на засіданні НМК ФРЕТ
протокол № 10 від 22.06.17 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	6
1.1 Мета вивчення дисципліни.....	6
1.2 Задачі вивчення дисципліни.....	6
1.3 Рекомендації з вивчення дисципліни	6
2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТА ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	7
2.1 Програма навчальної дисципліни	7
2.2 Питання для самостійної роботи.....	8
3 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ.....	12
4 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ	13
4.1 Загальні відомості	13
4.2 Практична робота 1. Розрахунок власних резонансних частот ненавантажених пластин	16
4.2.1 Завдання на підготовку до роботи	16
4.2.2 Контрольні запитання	16
4.2.3 Порядок проведення роботи.....	16
4.2.4 Зміст звіту	17
4.3 Практична робота 2. Розрахунок власних резонансних частот пластин з рівномірно розподіленою масою	18
4.3.1 Завдання на підготовку до роботи	18
4.3.2 Контрольні запитання	18
4.3.3 Порядок проведення роботи.....	18
4.3.4 Зміст звіту	19
ЛІТЕРАТУРА	20
Додаток А. Визначення частотної сталої	21
Додаток Б. Довідкові дані.....	24
Додаток В. Вихідні дані.....	25

ВСТУП

Будь-технічний об'єкт (ТО) передбачається експлуатувати в конкретних умовах, які визначаються станом навколишнього середовища і, відповідно, сукупністю зовнішніх впливових факторів, (ЗВФ), велика частина яких діє на цей об'єкт дестабілізуюче.

Врахування впливу цих факторів і пошук рішень щодо захисту від них є одним з найважливіших етапів процесу проектування будь-якої техніки, в тому числі і радіоелектронних засобів (РЕЗ). Для останніх це є найбільш важливим, оскільки дестабілізуючий вплив багатьох ЗВФ на радіоапаратуру в цілому і її компоненти є особливо жорстким і часто може приводити до порушення роботи апаратури, тимчасового або остаточного виходу її з ладу, а також часткового або повного руйнування.

Щоб уникнути цього, слід заздалегідь, на етапі проектування, визначити найбільш повний склад ЗВФ, які будуть впливати на даний РЕЗ в процесі його експлуатації, а також транспортування і зберігання, та передбачити заходи щодо захисту від них шляхом вибору відповідних матеріалів, покриттів, способів компонування, методів з'єднань, використання різних захисних засобів і інших конструктивних рішень.

Після вивчення дисципліни "Зовнішні впливи на електронні апарати та засоби захисту" студенти повинні

знати:

- види ЗВФ, їхні параметри, математичні моделі;
- фізичні явища в РЕЗ, викликані ЗВФ;
- динамічні властивості конструкцій РЕЗ;
- методи розрахунку динамічних характеристик конструкцій РЕЗ;
- основи моделювання конструкцій РЕЗ за допомогою ЕОМ;
- методи експериментальних досліджень динамічних властивостей конструкцій РЕЗ;
- засоби захисту РЕЗ від зовнішніх впливів;

вміти:

- проводити теоретичний аналіз і експериментальні дослідження динамічних властивостей конструкцій РЕЗ;
- проводити розрахунки конструкцій РЕЗ при механічних навантаженнях;
- проводити розрахунки віброізоляції конструкцій РЕЗ;
- грамотно обирати оптимальні методи захисту РЕЗ від ЗВФ в залежності від загальної сукупності вимог до них.

Вивчення дисципліни базується на знаннях таких дисциплін, що передбачені навчальним планом підготовки бакалаврів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» освітніх програм «Радіoeлектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»: "Вища математика", "Фізика", "Механіка", "Матеріалознавство та матеріали радіоапаратобудування", "Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів", "Основи проектування електронної апаратури".

Дисципліни є основою для вивчення дисципліни "Методи та засоби дослідження РЕЗ".

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

1.1 Мета вивчення дисципліни

Метою дисципліни є надати знання про процеси, що протікають у конструкціях РЕЗ під впливом зовнішніх впливаючих факторів (ЗВФ), навчити студентів методикам проведення інженерних розрахунків конструкцій РЕЗ й машинного моделювання конструкцій РЕЗ при їх впливах, а також вибору й обґрунтуванню ефективних заходів захисту.

1.2 Задачі вивчення дисципліни

У процесі вивчення дисципліни студент повинен сформувати знання щодо видів впливів зовнішніх факторів на радіо- електронно-обчислювальну та мікросистемну техніку та навчити проводити розрахунки для забезпечення якості виробів.

1.3 Рекомендації з вивчення дисципліни

Навчальна робота над дисципліною складається з наступних компонентів: прослуховування лекцій; виконання та захист лабораторних робіт; виконання індивідуальних завдань, самостійне вивчення матеріалу за літературою, що рекомендується.

Вивчення курсу завершується складанням іспиту за умови успішного виконання усіх складових курсу.

Самостійне вивчення матеріалу слід проводити згідно з програмою навчальної дисципліни та питаннями до самостійної роботи, що наведені у розділі 2, дотримуючись наступного порядку:

- ознайомлення з темою, що підлягає вивченню за програмою, та добір літератури зі списку, що рекомендується;
- вивчення матеріалу за рекомендованою літературою з конспектуванням основних положень теми;
- виконання контрольного завдання, яке відноситься до теми, що вивчається.

Студенти денної форми навчання виконують індивідуальне завдання.

Студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу.

2 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТА ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

2.1 Програма навчальної дисципліни

Програмою даної дисципліни передбачається вивчення наступних тем.

Тема 1. Види зовнішніх впливів та їх класифікація

Тема 2. Механічні впливи на РЕА.

- класифікація механічних впливів;
- основні поняття та терміни;
- джерела механічних й акустичних впливів.

Тема 3. Вплив вібрацій на РЕА.

- динамічні характеристики при вібраційному впливі;
- явище резонансу;
- параметри та характеристики періодичних вібрацій;
- вібрації зі змінними параметрами
- аналіз впливу вібрацій на РЕА та її елементи:

Тема 4. Вплив ударних навантажень на РЕА

- поняття удару;
- швидкісний удар;
- імпульсний удар.

Тема 5. Методики розрахунків РЕА на вібраційні та ударні впливи

- методики розрахунків амортизованої РЕА на вібраційні впливи;
- методики розрахунків амортизованої РЕА на вібраційні впливи;
- методики розрахунків власних резонансних частот прямокутних пластин.

Тема 6. Конструктивні методи зменшення дії ударів та вібрацій

- вимоги до механічних характеристик РЕА;
- віброміцні конструкції кріплення вузлів РЕА;
- віброміцні шасі та каркаси;
- амортизатори.

Тема 7. Температурні впливи на РЕА

- поняття теплового режиму;
- вплив підвищених температур;
- вплив знижених температур;
- тепловий удар.

Тема 8. Кліматичні впливи на РЕА

- вологість;
- атмосферний тиск;
- пил та пісок

Тема 9. Радіаційні та біологічні впливи на РЕА

- радіаційні впливи;
- біологічні фактори.

2.2 Питання для самостійної роботи

1. Види зовнішніх впливаючих факторів (ЗВФ) та їх класифікація.
2. Внутрішні фактори.
3. Зовнішні фактори.
4. Механічні ЗВФ.
5. Кліматичні ЗВФ.
6. Біологічні ЗВФ.
7. Інші види ЗВФ.
8. Види механічних впливів. Вібрація, удари, лінійні перевантаження, комплексні впливи.
9. Основні поняття й визначення. Віброміцність, вібростійкість, ударостійкість.
10. Жорсткість та механічна міцність.
11. Критерії захищеності РЕА від механічних та акустичних впливів.
12. Джерела механічних й акустичних впливів. Рухомі установки; розбалансовані маси, що швидко обертаються; акустичні впливи, транспортна тряска.
13. Вплив вібрацій на РЕА. РЕА, як складна коливальна система.

14. Диференційне рівняння коливання системи с одним ступенем вільності.

15. Вільні та примусові коливання механічної системи. Коливання під впливом зовнішньої гармонійної сили.

16. Урахування демпфування у диференційному рівнянні коливання системи с одним ступенем вільності.

17. Коефіцієнт динамічності.

18. Резонанс у коливальних системах без затухання та з затуханням.

19. Чим обмежена амплітуда коливань для систем з тертям? Поняття добротності системи.

20. Параметри та характеристики періодичних вібрацій.

21. Параметри випадкових вібрацій

22. Вібрації зі змінними параметрами.

23. Метод хитаючої частоти.

24. Биття.

25. Вплив вібрацій на елементи конструкцій РЕЗ.

26. Вплив вібрацій на стаціонарну апаратуру.

27. Вплив вібрацій на апаратуру на рухомих об'єктах.

28. Вплив вібрацій на функціонування РЕА.

29. Поняття удару. Види ударів та їх параметри.

30. Форми ударних імпульсів. Їх характеристики та порівняння а. Швидкісний удар.

31. Імпульсний удар.

32. Вимоги до механічних характеристик елементів РЕЗ.

33. Забезпечення віброміцності конструкцій кріплення елементів та вузлів РЕЗ.

34. Забезпечення віброміцності під час електромонтажу.

35. Забезпечення віброміцності несучих конструкцій РЕЗ.

36. Забезпечення віброміцності кріплення блоків та вузлів РЕЗ.

37. Віброміцні каркаси та шасі. Штамповані шасі.

38. Віброміцні каркаси та шасі. Литі шасі.

39. Конструктивні методи ослаблення дій вібрації.

40. Що таке однонапрямкова схема навантаження?

41. Призначення амортизаторів, їх переваги та недоліки.
42. Види амортизаторів та їх класифікація.
43. Гумово-металеві амортизатори.
44. Амортизатори типів АД, АФД, АНП. Їх порівняльна характеристика.
45. Суцільнометалеві амортизатори з матеріалу МР.
46. Амортизатори пелюсткового типу.
47. Тросові амортизатори.
48. Пружинні та комбіновані амортизатори.
49. Як визначаються реакції амортизатора? За яких умов можна провести статичні розрахунки системи з чотирьох амортизаторів?
50. Вибір типорозмірів амортизаторів.
51. Для чого використовуються компенсуючі прокладки? Методика їх розрахунків.
52. Що таке інерційні та жорсткісні параметри системи амортизації?
53. Як розраховуються поступові та поворотні парціальні частоти?
54. Нерівності Релея – Донкерлі.
55. Що таке зарезонансна область? За яких умов вона визначається?
56. Як змінити власні резонансні частоти системи?
57. Визначення динамічного коефіцієнту демпфірування та максимального прискорення блока?
58. Які припущення вводяться при спрощеному розрахунку системи амортизації на ударні впливи?
59. Які припущення вводяться при розрахунку системи амортизації на ударні впливи за методом еквівалентних прямокутних імпульсів?
60. Побудова сумарних силової та енергетичної характеристик.
61. В чому полягає методика спрощеного розрахунку системи амортизації на ударні впливи?
62. Умова спроможності спрощеного методу розрахунку системи амортизації на ударний вплив.

63. Умова еквівалентності ударних імпульсів.
64. Як визначаються параметри еквівалентних прямокутних імпульсів для імпульсів різних форм?
65. Залежність швидкості деформації амортизаторів під час удару $\dot{W}$ від деформації W .
66. Як будується графік залежності деформації амортизаторів від часу t при ударному впливі?
67. Температурні впливи на ОЕА. Поняття теплового режиму.
68. Вплив підвищених температур.
69. Вплив знижених температур.
70. Тепловий удар.
71. Вплив вологості на працездатність РЕА.
72. Захист РЕА від підвищеної вологості. Захисні покриття.
73. Герметизація.
74. Вплив атмосферного тиску на працездатність РЕА.
75. Вплив пилу та піску на працездатність РЕА. Методи захисту.
76. Вплив електромагнітного та іонізуючого випромінювання на працездатність РЕА. Методи захисту.
77. Вплив сонячної та космічної радіації на працездатність РЕА. Методи захисту.
78. Вплив біологічних факторів на працездатність РЕА. Методи захисту.

Під час самостійної підготовки слід користатися [5, стор. 5-33, 61-80, 155-193, 197-215, 231-315]. [8, стор. 6-54, 121-148, 198-254], а також конспектом лекцій з даної дисципліни [12] та даними методичними вказівками .

3 ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

Студенти денної форми навчання в процесі самостійного вивчення дисципліни виконують індивідуальну роботу.

До складу індивідуальної роботи входить виконання практичних завдань 1 та 2.

Студенти заочної форми навчання в процесі самостійного вивчення дисципліни виконують контрольну роботу.

До складу контрольної роботи входить виконання практичного завдання 1 та реферат на тему, задану викладачем.

При виконанні індивідуальної та контрольної роботи рекомендується користуватися вказаною літературою [5, стор. 197-215], конспектом лекцій з дисципліни [12] та даними методичними вказівками. Крім того, допускається користуватися будь-якою доступною навчальною і технічною літературою.

4 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

Мета робіт: засвоїти методику визначення частоти власних коливань прямокутної пластини залежно від її матеріалу та форми.

4.1 Загальні відомості

До складу практичних входить дві роботи.

Практична робота № 1. Розрахунок власних резонансних частот ненавантажених пластин.

Практична робота № 2. Розрахунок власних резонансних частот пластин з рівномірним навантаженням.

Розглянемо прямокутні пластини постійної товщини, які складаються з пружного однорідного та ізотропного матеріалу. До таких пластин можна віднести монтажні плати, основи, шасі та інші прямокутні плоскі конструкції постійної товщини.

Для усіх випадків закріплення країв пластини її власна резонансна частота визначається за формулою:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\rho \cdot h}}, \quad (4.1)$$

де: α – коефіцієнт, що залежить від способу закріплення сторін пластини;

a – довжина пластини;

D – циліндрична жорсткість пластини;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9.81 \text{ м / с}^2$;

ρ – густина матеріалу;

h – товщина пластини.

Циліндрична жорсткість пластини визначається за формулою:

$$D = E \cdot h^3 / 12 \cdot (1 - \epsilon^2) \quad (4.2)$$

де: E - модуль пружності, залежить від марки матеріалу;
 ϵ – коефіцієнт Пуассона.

Всі величини у формулі (4.1) відомі, за виключенням коефіцієнту α .

Значення α визначається з розв'язку диференціального рівняння коливань прямокутної пластини при заданих крайових умовах. Наближені розв'язання таких рівнянь можна знайти за методом Релея – Рітца. Обчислення при цьому дуже складні, тому для спрощення приближеного розрахунку формула 4.1 набуває вигляду 4.3

$$f = \frac{C \cdot h \cdot K_m}{a^2} \cdot 100, \quad (4.3)$$

де C - частотна стала, що враховує форму пластини та спосіб її закріплення;

K_m - поправний коефіцієнт на матеріал пластини.

Частотна стала C визначається за формулою:

$$C = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{12 \cdot (1 - \epsilon^2) \cdot \rho}}, \quad (4.4)$$

Значення частотної сталої можна представити у вигляді таблиці (табл. А.2). Приведені в таблиці значення C відповідають різним варіантам закріплення сталюї пластини, які зображені на рис. А.1, а описи надані в табл. А.1.

Поправний коефіцієнт на матеріал K_m , який враховує механічні властивості матеріалу пластини, визначається за формулою

$$K_m = \sqrt{\frac{E}{E_c} \cdot \frac{\rho_c}{\rho}}, \quad (4.5)$$

де E - модуль пружності застосованого матеріалу,
 ρ - густина застосованого матеріалу,

E_c - модуль пружності сталі,

ρ_c - густина сталі.

Значення модулю пружності та густини для деяких матеріалів приведені в табл. Б. 1.

Розглянуті вище розрахунки відносяться до ненавантажених пластин. Якщо ж пластина навантажена рівномірно розподіленою масою, то в формулу (4.3) вводять поправний коефіцієнт на масу цих елементів:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e}{m_n}}}, \quad (4.6)$$

де m_e - маса елементів, що рівномірно розподілені на пластині,
 m_n - маса пластини.

В цьому випадку формула для розрахунку власної частоти навантаженої пластини приймає вигляд

$$f = \frac{C \cdot h \cdot K_m \cdot K_B}{a^2} \cdot 100, \quad (4.7)$$

Розрахунки рекомендується проводити з застосуванням математичного пакета Mathcad, або електронних таблиць Excel.

4.2 Практична робота 1. Розрахунок власних резонансних частот ненавантажених пластин

Мета роботи: проаналізувати залежність частоти власних коливань прямокутної ненавантаженої пластини від її матеріалу, форми та способу закріплення.

4.2.1 Завдання на підготовку до роботи

Ознайомитись з методикою розрахунків власних резонансних частот ненавантажених пластин.

4.2.2 Контрольні запитання

4.2.2.1 В чому полягає явище механічного резонансу?

4.2.2.2 Що таке частота власних коливань об'єкта?

4.2.2.3 Як визначається частота власних коливань прямокутної ненавантаженої пластини?

4.2.2.4 Що таке циліндрична жорсткість пластини, як вона визначається?

4.2.2.5 Як визначається коефіцієнт α ?

4.2.2.6 Що таке частотна стала C , як вона визначається?

4.2.2.7 Що враховує поправний коефіцієнт на матеріал?

4.2.2.8 Як залежить частота власних коливань прямокутної пластини від співвідношення сторін?

4.2.2.9 Як залежить частота власних коливань прямокутної пластини від способу закріплення?

4.2.3 Порядок проведення роботи

4.2.3.1 Отримати у викладача вихідні дані для виконання роботи згідно з варіантом (див. табл. В.1 додатку В). Вихідними даними є:

- a – довжина пластини, м;
- h – товщина пластини, м;
- матеріал пластини (модуль пружності та густина);
- спосіб закріплення пластини.

4.2.3.2 Залежно від матеріалу пластини визначити K_m за формулою (4.5). При розрахунку використовувати дані, що приведені в таблиці Б.1.

4.2.3.3 Для заданої схеми закріплення та співвідношення сторін вибрати з табл. А.2 значення частотної сталої C .

4.2.3.4 За формулою (4.3) визначити частоту власних коливань пластини f .

4.2.3.5 Повторити пункти 4.2.3.3, 4.2.3.4 для двох схем закріплення та восьми співвідношень сторін. Результати розрахунків звести в таблицю за формою таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку власної частоти прямокутної ненавантаженої пластини.

Варіант закріплення	Частота f при співвідношенні сторін, Гц							
	1:4	1:2	1:1	3:2	2:1	5:2	3:1	4:1
1								
2								

4.2.3.6 За даними таблиці 4.1 побудувати два графіки залежності частоти власних коливань пластини від співвідношення сторін в одній системі координат.

4.2.4 Зміст звіту

4.2.4.1 Вихідні дані до розрахунків згідно з варіантом.

4.2.4.2 Результати розрахунків.

4.2.4.3 Таблиця розрахунків частоти власних коливань за формою таблиці 3.1.

4.2.4.4 Графіки залежності частоти власних коливань від співвідношення сторін для двох варіантів закріплення.

4.2.4.5 Висновки з роботи.

4.3 Практична робота 2. Розрахунок власних резонансних частот пластин з рівномірно розподіленою масою

Мета роботи: проаналізувати залежність частоти власних коливань прямокутної пластини з рівномірним навантаженням від її матеріалу, форми та способу закріплення.

4.3.1 Завдання на підготовку до роботи

Ознайомитись з методикою розрахунків власних резонансних частот пластин з рівномірним навантаженням.

4.3.2 Контрольні запитання

4.3.2.1 Як визначаються частота власних коливань прямокутної пластини з рівномірним навантаженням?

4.3.2.2 Як залежить частота власних коливань прямокутної пластини від співвідношення сторін?

4.3.2.3 Як залежить частота власних коливань прямокутної пластини від способу закріплення?

4.3.3 Порядок проведення роботи

4.3.3.1 Отримати у викладача вихідні дані для виконання роботи згідно з варіантом (див. табл. В.2 додатку В). Вихідними даними є: довжина пластини a , м,

- товщина пластини h , м,
- дані про матеріал пластини (з лабораторної роботи № 4),
- маса, елементів, що рівномірно розподілені на пластині, кг,
- способи закріплення пластини.

4.3.3.2 Визначити масу пластин для заданих значень a , h та співвідношення сторін 1:2 та 2:1.

4.3.3.3 Визначити поправні коефіцієнти навантаження за формулою 4.6 для двох співвідношень сторін.

4.3.3.4 Для заданих схем закріплення та співвідношень сторін 1:2 та 2:1 вибрати з табл. А.2 частотну сталу C .

4.3.3.5 За формулою 4.7 визначити частоту власних коливань пластини f .

4.3.3.6 Повторити пункти 4.3.3.3, 4.3.3.4 для восьми схем закріплення. Результати розрахунків звести в таблицю за формою таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку власної частоти прямокутної пластини з рівномірним навантаженням.

Співвідношення сторін	Частота f при способах закріплення, Гц							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1:2								
2:1								

4.3.3.7 За даними таблиці 4.2 побудувати дві гістограми, що ілюструють залежність частоти власних коливань пластини від способу закріплення в одній системі координат.

4.3.4 Зміст звіту

4.3.4.1 Вихідні дані до розрахунків згідно з варіантом.

4.3.4.2 Результати розрахунків.

4.3.4.3 Таблиця розрахунків частоти власних коливань за формою таблиці 3.1.

4.3.4.4 Гістограма залежності частоти власних коливань від способу закріплення для двох співвідношень сторін.

4.3.4.5 Висновки з роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1 ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

2 ГОСТ 11478-88 Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Технические требования и методы испытаний в части механических и климатических воздействий.

3 РТМ “Амортизаторы разные металлические. Типы. Основные параметры и размеры”, НО.445.004. 1959.

4 РТМ “Амортизация РЭА, ее узлов и элементов“, ч. 2, НО. 445.003. Ред. 1-66, 1966.

5 Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. - М.: Сов. радио, 1971, - 344 с.

6 Токарев М. Ф., Талицкий Е. Н., Фролов В. А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры /Под редакцией В. А. Фролова. – М.: Радио и связь, 1984. –224 с.

7 Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.

8 Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. / В.Т. Белинский, В.П. Гондюл, А.Б. Грозин и др. под ред. проф. К.Б. Круковского-Синевица. Киев.: Вища школа, 1992 - 389 с.

9 В.К. Федоров, Н.П. Сергеев, А.А. Кондрашин. Контроль и испытания в проектировании и производстве РЭС. М.: Техносфера, 2005. – 504 с.

10 Карпушин В.Б. Виброшумы радиоаппаратуры. - М.: Сов. радио, 1977. - 320 с.

11 Ильинский В.С. Защита аппаратов от динамических воздействий. – М.: Энергия, 1984. – 320с.

12 Конспект лекцій з дисципліни "Зовнішні впливи на електронні апарати та засоби захисту" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Поспеева І.Є., Шило Г.М. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 82 с.

Додаток А. Визначення частотної сталості

Описи варіантів закріплення пластин згідно з рис. А.1 наведені в табл. А.1.

Таблиця А.1 – Описи варіантів закріплення пластини

Варіант закріплення	Опис
1	Всі сторони вільно обперті
2	Три сторони вільно обперті, одна - а - затиснена
3	Три сторони вільно обперті, одна - b - затиснена
4	Сторони b вільно обперті, сторони а затиснені
5	Сторони а вільно обперті, сторони b затиснені
6	Суміжні сторони вільно обперті та затиснені
7	Вільно обперта одна з сторін а, інші - затиснені
8	Вільно обперта одна з сторін b, інші - затиснені
9	Всі сторони затиснені
10	Вільно обперті два суміжні сторони
11	Вільно обперті дві паралельні сторони
12	Вільно обперті три сторони
13	Три сторони затиснені, четверта - вільна
14	Два суміжні сторони затиснені, інші - вільні
15	Два суміжні сторони затиснені, сторона b – вільно обперта, а - вільна
16	Одна сторона затиснена, суміжна – вільно обперта, інші - вільні
17	Затиснені сторони b, одна сторона а вільно обперта, інша - вільна
18	Два суміжні сторони вільно обперті, одна затиснена; інша - вільна

Способи закріплення пластини наведені на рис. А.1, значення частотної сталості С – в табл. А.2.

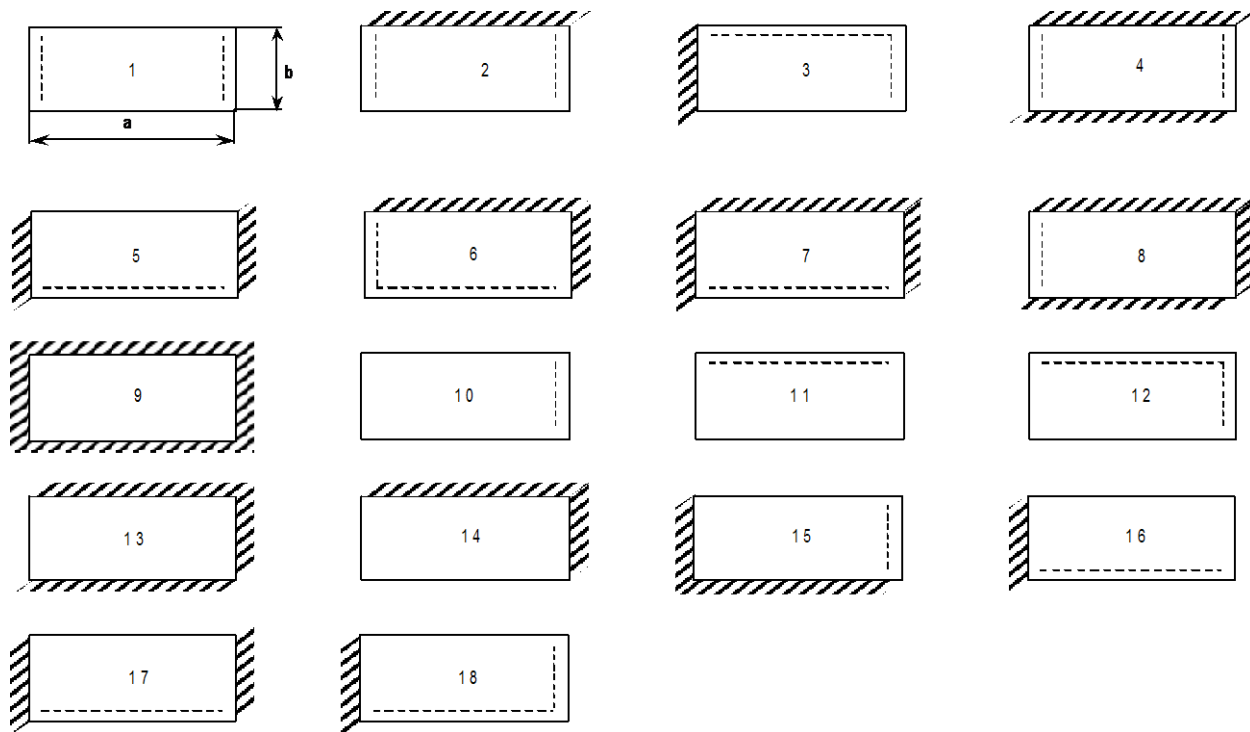


Рисунок А.1 – Способи закріплення пластин

Таблиця А.2 – Значення частотної сталої С.

Варіант закріплення (див. рис.А.1)	Відношення боків пластини a/b							
	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4
	25	29	47	76	117	170	234	375
2	25	31	56	101	165	245	347	603
3	40	41	56	84	124	176	240	864
4	26	33	69	136	267	346	492	864
5	54	56	69	93	131	181	244	406
6	38	42	65	107	170	251	351	607
7	54	58	76	115	175	254	353	607
8	33	44	76	139	230	349	494	866
9	54	58	86	145	234	352	497	868
10	2	4	8	13	17	21	25	34
11	8	16	38	70	112	165	230	394
12	4	10	28	58	99	151	216	380
13	10	19	58	124	217	336	479	855
14	9	11	18	28	43	62	85	144
15	10	16	42	88	152	134	335	591
16	9	10	13	18	23	28	33	43
17	5	16	56	122	215	335	481	853
18	5	12	40	86	150	233	333	590

Додаток Б. Довідкові дані

Таблиця Б.1 - Довідкові дані про властивості деяких матеріалів

Матеріал	Модуль пружності Е, МПа	Густина ρ , кг/м ³
Сталь	200000	7800
Склотекстоліт СФ	33000	2470
Гетинакс ГФ	18000	2150
Латуні	110000	8500
Бронзи	120000	8000
Al - сплави	72000	2700

Додаток В. Вихідні дані

Таблиця В.1 - Вихідні дані для лабораторної роботи № 4

Варіант	Розміри пластини, м		Матеріал	Способи закріплення
	Длина, a	Толщина, h		
1	0,06	0,00100	Сталь 10кп	1, 9
2	0,07	0,00125	Склотекстоліт СФ	2, 3
3	0,08	0,00150	Гетинакс ГФ	4, 5
4	0,09	0,00175	Лист АД1	6, 10
5	0,10	0,00200	Лист Л63	7, 8
6	0,11	0,00100	Лист БрА5	11, 12
7	0,12	0,00125	Сталь 10кп	13, 14
8	0,06	0,00150	Склотекстоліт СФ	15, 16
9	0,07	0,00175	Гетинакс ГФ	17, 18
10	0,08	0,00200	Лист АД1	1, 9
11	0,09	0,00100	Лист Л63	2, 3
12	0,10	0,00125	Лист БрА5	4, 5
13	0,11	0,00150	Сталь 10кп	6, 10
14	0,12	0,00175	Склотекстоліт СФ	7, 8
15	0,06	0,00200	Гетинакс ГФ	11, 12
16	0,07	0,00100	Лист АД1	13, 14
17	0,08	0,00125	Лист Л63	15, 16
18	0,09	0,00150	Лист БрА5	17, 18
19	0,10	0,00175	Сталь 10кп	1, 9
20	0,11	0,00200	Склотекстоліт СФ	2, 3
21	0,12	0,00100	Гетинакс ГФ	4, 5
22	0,06	0,00125	Лист АД1	6, 10
23	0,07	0,00150	Лист Л63	7, 8
24	0,08	0,00175	Лист БрА5	11, 12
25	0,09	0,00200	Склотекстоліт СФ	13, 14

Таблиця В.2 - Вихідні дані для лабораторної роботи № 5

Варіант	Розміри пластини, м		Маса, кг	Способи закріплення
	Длина, а	Толщина, h		
1	0,06	0,00100	0,10	1,2,5,6,8,9,12,16
2	0,07	0,00125	0,12	2,4,5,8,9,12,16,18
3	0,08	0,00150	0,14	1,3,4,5,8,10,11,13
4	0,09	0,00175	0,16	2,5,6,9,11,12,14,15
5	0,10	0,00200	0,18	3,5,6,8,11,12,16,17
6	0,11	0,00100	0,20	2,3,4,6,7,8,14,17
7	0,12	0,00125	0,22	1,2,3,4,6,7,8,9
8	0,06	0,00150	0,24	3,4,6,8,9,12,13,14
9	0,07	0,00175	0,26	1,2,5,6,7,8,16,18
10	0,08	0,00200	0,28	3,6,8,9,10,11,17,18
11	0,09	0,00100	0,30	2,3,4,5,10,11,12,13
12	0,10	0,00125	0,28	2,4,6,8,10,12,14,16
13	0,11	0,00150	0,26	1,3,5,7,9,11,13,15
14	0,12	0,00175	0,24	2,5,8,9,14,16,17,18
15	0,06	0,00200	0,22	3,4,6,7,9,10,11,17
16	0,07	0,00100	0,20	4,6,7,8,9,14,15,16
17	0,08	0,00125	0,18	2,3,4,6,9,11,13,15
18	0,09	0,00150	0,16	1,2,4,7,8,11,14,17
19	0,10	0,00175	0,14	2,3,4,7,11,14,16,17
20	0,11	0,00200	0,12	1,2,6,8,9,10,11,14
21	0,12	0,00100	0,10	3,5,6,7,8,9,12,16
22	0,06	0,00125	0,15	2,4,5,6,7,12,15,16
23	0,07	0,00150	0,25	1,2,4,7,8,15,16,17
24	0,08	0,00175	0,30	2,3,4,6,9,12,16,18
25	0,09	0,00200	0,20	1,4,5,8,9,10,15,16