**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Запорізький національний технічний університет**

# МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до циклу лабораторних робіт

**"Розрахунки власних резонансних частот прямокутних пластин"**

з дисципліни

**"Зовнішні впливи та захист РЕЗ"**

для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 0910 «Електронні апарати» спеціальності 6.050902 «Виробництво електронних засобів»

**2010**

Методичні вказівки до циклу лабораторних робіт "Розрахунки власних резонансних частот прямокутних пластин" з дисципліни "Зовнішні впливи та захист РЕЗ" для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 0910 «Електронні апарати» спеціальності 6.050902 «Виробництво електронних засобів» / Уклад.: Крищук В.М., Поспеєва І.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. – 16 с.

Укладачі : Крищук Володимир Миколайович, канд. техн. наук, доцент
Поспеєва Ірина Євгенівна, асистент,

Рецензент: Шило Галина Миколаївна, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск:
Крищук Володимир Миколайович, канд. техн. наук, доцент

Затверджено
на засіданні кафедри КТВР
протокол № 5 від 13.05.2010

# ЗМІСТ


| | Стор. |
|---|---|
| Загальні відомості | 4 |
| Лабораторна робота № 1. Розрахунок власних резонансних частот ненавантажених пластин | 7 |
| Лабораторна робота № 2. Розрахунок власних резонансних частот пластин з рівномірним навантаженням | 9 |
| Додаток А. Визначення частотної сталої | 11 |
| Додаток Б. Довідкові дані | 14 |
| Додаток В. Вихідні дані | 15 |

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

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Цикл складається з двох лабораторних робіт.

Лабораторна робота № 4. Розрахунок власних резонансних частот ненавантажених пластин.

Лабораторна робота № 5. Розрахунок власних резонансних частот пластин з рівномірним навантаженням.

Розглянемо прямокутні пластини постійної товщини, які складаються з пружнього 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

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\rho \cdot h}}, \qquad (1.1)$$

де: $a$ – довжина пластини,

$D = E \cdot h^3 / 12 \cdot (1 - \varepsilon^2)$ – циліндрична жорсткість пластини,

$\varepsilon$ – коефіцієнт Пуассона,

$g$ – прискорення вільного падіння, g = 9.81 м / с$^2$,

$\rho$ – густина матеріалу,

$h$ – товщина пластини,

$\alpha$ – коефіцієнт, що залежить від способу закріплення сторін пластини.

Всі величини у формулі (1.1) відомі, за виключенням коефіцієнту $\alpha$.

Значення $\alpha$ 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 1.1 набуває вигляду 1.2

$$f = \frac{C \cdot h \cdot K_м}{a^2} \cdot 100, \qquad (1.2)$$

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

$K_м$ - поправний коефіцієнт на матеріал пластини.

Частотна стала $C$ визначається за формулою:

$$C = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{12 \cdot (1 - \varepsilon^2) \cdot \rho}}, \qquad (1.3)$$

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

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

$$K_м = \sqrt{\frac{E}{E_c} \cdot \frac{\rho_c}{\rho}}, \qquad (1.4)$$

де $E$ - модуль пружності застосованого матеріалу,

$\rho$ - густина застосованого матеріалу,

$E_c$ - модуль пружності сталі,

$\rho_c$ - густина сталі.

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

Розглянуті вище розрахунки відносяться до ненавантаженних пластин. Якщо ж пластина рівномірно навантажена, то в формулу (1.2) вводять поправний коефіцієнт на вагу елементів:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{m_e}{m_n}}}, \qquad (1.5)$$

де $m_e$ - маса елементів, що рівномірно розміщені на пластині,
$m_п$ - маса пластини.

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

$$f = \frac{C \cdot h \cdot K_м \cdot K_B}{a^2} \cdot 100, \qquad (1.6)$$

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

# ЛАБОРАТОРНА 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.

## 1 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Ознайомитись з методикою розрахунків власних резонансних частот ненавантажених пластин.

## 2 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

2.1 В чому полягає явище механічного резонансу?

2.2 Що таке частота власних коливань об’єкта?

2.3 Як визначаються частота власних коливань прямокутної ненавантаженої пластини?

2.4 Що таке циліндрична жорсткість пластини, як вона визначається?

2.5 Як визначається коефіцієнт $\alpha$?

2.6 Що таке частотна стала С, як вона визначається?

2.7 Що враховує поправний коефіцієнт на матеріал?

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

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

## 3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

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.

3.2 Залежно від матеріалу пластини визначити $K_м$ за формулою (1.4). При розрахунку використовувати дані, що приведені в таблиці Б.1.

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

3.4 За формулою (1.2) визначити частоту власних коливань пластини f.

3.5 Повторити пункти 3.3, 3.4 для двох схем закріплення та восьми співвідношень сторін. Результати розрахунків звести в таблицю за формою таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – 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 | | | | | | | | |

3.6 За даними таблиці 3.1 побудувати два графіки залежності частоти власних коливань пластини від співвідношення сторін в одній системі координат.

## 4 ЗМІСТ ЗВІТУ

4.1 Вихідні дані до розрахунків згідно з варіантом.

4.2 Результати розрахунків.

4.3 Таблиця розрахунків частоти власних коливань за формою таблиці 3.1.

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

4.5 Висновки з роботи.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

# РОЗРАХУНОК ВЛАСНИХ РЕЗОНАНСНИХ ЧАСТОТ ПЛАСТИН З РІВНОМІРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

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

## 1 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

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

## 2 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

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

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

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

## 3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

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.

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

3.3 Визначити поправні коефіцієнти навантаження за формулою 1.5 для двох співвідношень сторін.

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

3.5 За формулою 1.6 визначити частоту власних коливань пластини f.

3.6 Повторити пункти 3.3, 3.4 для восьми схем закріплення. Результати розрахунків звести в таблицю за формою таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – 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 | | | | | | | | |

3.6 За даними таблиці 3.1 побудувати дві гістограми, що ілюструють залежність частоти власних коливань пластини від способу закріплення в одній системі координат.

## 4 ЗМІСТ ЗВІТУ

4.1 Вихідні дані до розрахунків згідно з варіантом.

4.2 Результати розрахунків.

4.3 Таблиця розрахунків частоти власних коливань за формою таблиці 3.1.

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

4.5 Висновки з роботи.

## ЛІТЕРАТУРА

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

# Додаток А
# Визначення частотної сталої

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 - a - затиснена |
| 3 | Три сторони вільно обперті, одна - b - затиснена |
| 4 | Сторони b вільно обперті, сторони a затиснені |
| 5 | Сторони a вільно обперті, сторони b затиснені |
| 6 | Суміжні сторони вільно обперті та затиснені |
| 7 | Вільно оперта одна з сторін a, інші - затиснені |
| 8 | Вільно оперта 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 оперта, a - вільна |
| 16 | Одна сторона затиснена, суміжна – вільно оперта, інші - вільні |
| 17 | Затиснені сторони b, одна сторона a вільно оперта, інша - вільна |
| 18 | Два суміжні сторони вільно обперті, одна затиснена; інша - вільна |

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

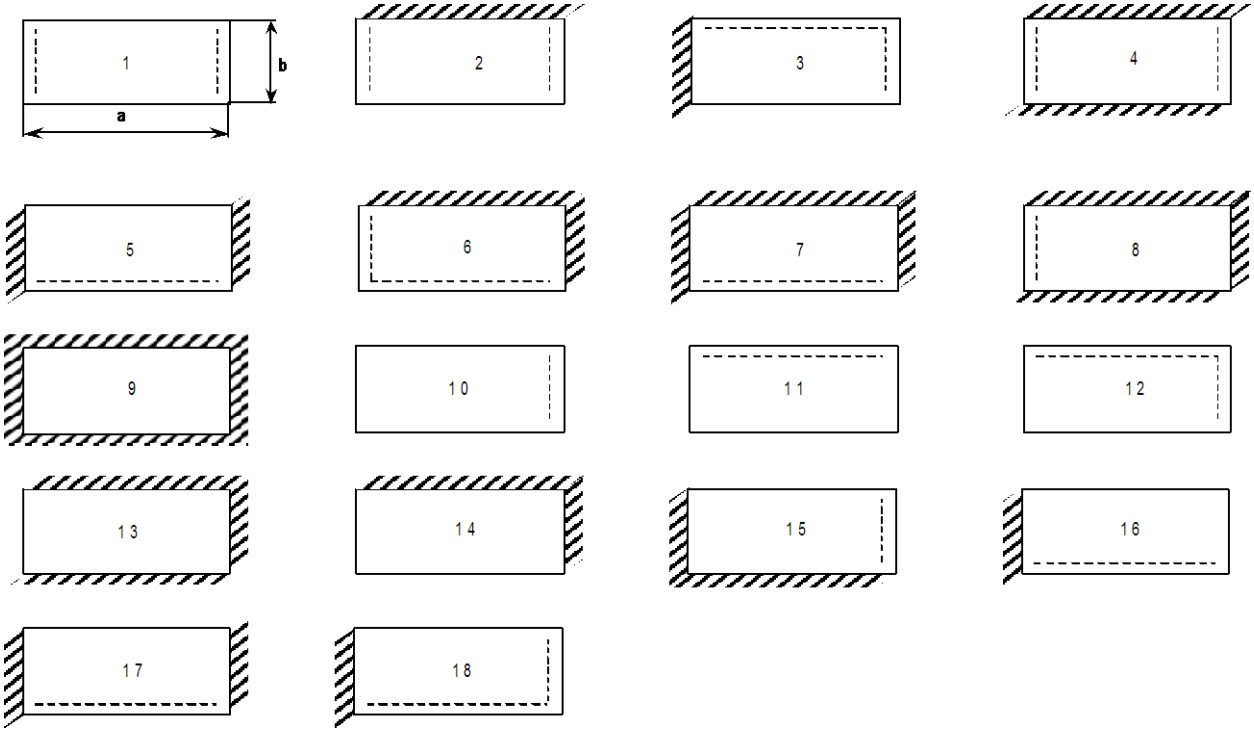


Рисунок А.1 – Способи закріплення пластин

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 |
| 1 | 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 E, МПа | Густина $\rho, кг/м^3$ |
|---|---|---|
| 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, a | 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 |