Міністерство освіти і науки України

**Полтавський національний технічний університет**

**імені Юрія Кондратюка**

Факультет будівельний

Кафедра будівельної механіки

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА

РОБОТА №5

Розрахунок стрижневої системи зі скінченним числом ступенів свободи на вільні та вимушені коливання

402-БП02155

**Виконав студент Дрижирук Ю.В.**

**КерівникШкурупій О.А.**

Полтава 2005

Зміст

[1. Розрахунок на вільні коливання](#_Toc259542788)

[1.1 Розрахункова схема та кінематичний аналіз](#_Toc259542789)

[1.2 Диференційні однорідні рівняння вільних коливань](#_Toc259542790)

[1.3 Вихідні дані для розрахунку вільних коливань на ЕОМ](#_Toc259542791)

[1.4 Обчислення частот і головних форм коливань](#_Toc259542792)

[1.5 Перевірка ортогональності форм коливань](#_Toc259542793)

[2. Розрахунок на вимушені коливання](#_Toc259542794)

[2.1 Розрахункова схема](#_Toc259542795)

[2.2 Запис рівняння вимушених коливань при частоті ******](#_Toc259542796)

[2.3 Вихідні дані для розрахунку вимушених коливань на ЕОМ](#_Toc259542797)

[2.4 Обчислення амплітуд сил інерції та амплітуди коливань](#_Toc259542798)

[2.5 Побудова епюри згинальних моментів від дії динамічних навантажень та її кінематична перевірка](#_Toc259542799)

[2.6 Динамічні коефіцієнти по зусиллях і по переміщеннях для характерних перерізів системи](#_Toc259542800)

[2.7 Деформована схема рами при вимушених коливаннях](#_Toc259542801)

[Література](#_Toc259542802)

Вибір шифру та розрахункової схеми за номером залікової книжки 02155

Перша цифра шифру - це цифра 3 - остання із суми усіх цифр залікової книжки: 0+2+1+5+5=13.

Друга цифра шифру - це цифра 3 - остання із суми усіх цифр залікової книжки без урахування першої: 2+1+5+5=13.

Третя цифра шифру - це цифра 5 - визначається як остання з усіх цифр номера залікової книжки.

Остаточно шифр варіанта - 335.

Номер розрахункової схеми визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки, від яких треба відняти 48: 55-30=25. Отже, номер розрахункової схеми - 25.

***Вихідні дані:*** L=7,2м; h=5,4м; m1=4т; m2=3т; m3=7т; m4=10т; m5=8т; n=0,82; Fа=7кН; Fб=13кН; Fв=6кН; Fг=9кН.

Розрахункова схема.



## 1. Розрахунок на вільні коливання

## 1.1 Розрахункова схема та кінематичний аналіз



Виконаємо кінематичний аналіз:

Визначимо кількість ступенів свободи системи:

,

де Д - кількість дисків;

Ш - кількість простих шарнірів;

В0 - кількість опорних в’язей.

Визначимо кількість динамічних ступенів свободи



Очевидно, що точкові маси m1, m2, m3, можуть коливатися лише у вертикальному напрямку.

## 1.2 Диференційні однорідні рівняння вільних коливань

1). Складемо систему диференційних рівнянь вільних коливань, записавши переміщення точкових мас на основі принципу незалежності дії сил:

 (1)

з урахуванням сил інерції мас:

 (2)

де І1 - сила інерції маси m1 по вертикалі; І2 - сила інерції маси m2 по вертикалі; І3 - сила інерції маси m3 по вертикалі; δij - одиничне переміщення по і-тому напрямку викликане дією одиничної сили по j-тому напрямку.

З врахуванням принципу Даламбера:



де - прискорення і-тої маси.

В цьому разі систему (2) можна записати у вигляді:

 (3)

Таким чином ми отримали *систему диференційних рівнянь вільних коливань рами.*

При складанні цієї системи сили опору середовища не враховані.

2). Вважаємо, що всі точкові маси здійснюють вільні коливання за гармонічним законом із частотою , тоді розвязок (3) матиме вигляд:

*y1=A1.sin (ωt+φ0);*

*y2=A2.sin (ωt+φ0);*

*y3=A3.sin (ωt+φ0).*

Продиференціюємо дані вирази двічі, будемо мати:

*=-A1.ω2sin (ωt+φ0);*

*=-A2.ω2sin (ωt+φ0); (*4)

*=-A3.ω2sin (ωt+φ0).*

Підставимо (4) в (3) і отримаємо систему диференційних рівнянь вільних коливань системи:

 (5)

Отримана система рівнянь (5) - це система лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих амплітуд переміщень точкових мас - А1, А2 і А3.

Як відомо, для такої системи можливі два рішення:

а) А1=А2=А3=0, але в цьому випадку коливань немає, тому дане рішення не задовольняє умови задачі;

б) А1≠0, А2≠0, А3≠0. Визначник при невідомих дорівнює 0:

 (6)

частотне рівняння вільних коливань або вікове рівняння,

де  - матриця податливості.

3). Для визначення  побудуємо необхідні епюри від одиничних навантажень:



Визначаємо одиничні переміщення:

.

;

;

;





.

4) Для перевірки правильності обчислення коефіцієнтів матриці податливості, побудуємо сумарну епюру від одиничних навантажень:









Отже, одиничні переміщення обчислено правильно.

## 1.3 Вихідні дані для розрахунку вільних коливань на ЕОМ

 - матриця податливості;

; в нашому випадку .

## 1.4 Обчислення частот і головних форм коливань

1) Використовуючи програму Dinamo16, обчислюємо на ЕОМ спектр частот вільних коливань та форми коливань з точністю 10-5. В результаті отримаємо:

Спектр частот вільних коливань:

ω1 = 0.08870705

ω2 = 0.69629471

ω3 = 1.08787716

Форми коливань: (приймаємо, що =1, тоді  )

; ; ; 

,…, - амплітуда переміщень 1-ї (*n*-ної) маси з *і*-тою частотою

2) За отриманими значеннями частот вільних коливань будуємо спектр частот:





3) Зобразимо головні форми коливань, тобто деформовані схеми конструкції, що відповідають певній частоті:



## 1.5 Перевірка ортогональності форм коливань

,

де k - номер маси;

i, j - номер форми коливань.

Умова ортогональності І та ІІ форм:



;

Відповідно, умова ортогональності І та ІІІ форм:



Умова ортогональності ІІ та ІІІ форм:



Отже, перевірки для всіх форм коливань виконані й умова ортогональності задовільняється.

## 2. Розрахунок на вимушені коливання

## 2.1 Розрахункова схема



n=θ/ω1=0,82;



## 2.2 Запис рівняння вимушених коливань при частоті

1). Запишемо диференційне рівняння вимушених коливань. Так як сили опору коливанням не враховуються, то переміщення при вимушених коливаннях будуть залежати від сил інерції і збурюючої сили:



Рішення системи шукаємо для випадку стаціонарних коливань. Вважаємо, що всі маси коливаються за законом збурюючої сили:

уі=cіsinθt;= -cіθ2sinθt,

сі - амплітуда переміщень в і-му напрямку.

В цьому разі:



2). Обчислимо вільні члени шляхом побудови епюри згинальних моментів від амплітудного значення збурюючої сили:



Визначимо одиничні переміщення мас під дією зовнішнього навантаження:

;

;

.

Для перевірки правильності обчислення вільних членів, знайдемо добуток сумарної епюри від одиничного навантаження та епюри моментів від амплітудного значення збурюючої сили:





Оскільки =, то вільні члени визначено вірно.

## 2.3 Вихідні дані для розрахунку вимушених коливань на ЕОМ

Співвідношення частот вимушених і вільних коливань:

θ/ω1=0,82; Вектор вільних членів: .

## 2.4 Обчислення амплітуд сил інерції та амплітуди коливань

Розв’язавши систему рівнянь за допомогою програми Dinamo16, одержимо: амплітуди сил інерції: Z1 = 2,606116 [кН], Z2 = 3.135882 [кН], Z3 = 25.298055 [кН]. Амплітуди коливань: С1 = *123.137351/ЕІ [м],* С2 = *197.557959/ЕІ [м],* С3 = *683.038443/ЕІ [м].*

## 2.5 Побудова епюри згинальних моментів від дії динамічних навантажень та її кінематична перевірка

.



Виконаємо кінематичну перевірку даної епюри. Для цього знайдемо суму амплітуд коливань :

.

Також знайдемо добуток епюр та сумарної епюри від одиничного навантаження:



Оскільки =, то епюру моментів від динамічних навантажень побудовано вірно. Відносна похибка обчислень:

.

## 2.6 Динамічні коефіцієнти по зусиллях і по переміщеннях для характерних перерізів системи

Динамічний коефіцієнт по зусиллях визначається для характерних перерізів за формулою:

:

;

;

;

.

Динамічні коефіцієнти по переміщенням обчислюються за формулою:

:

;

;

.

## 2.7 Деформована схема рами при вимушених коливаннях



## Література

1. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика стержневых систем. - М.: Стройиздат, 1981.

2. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. - 8-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1986.

3. Киселев В.А. Строительная механика, общий курс - 4-е изд., исправленное и доп. - М.: Стройиздат, 1986.

4. Бутенко Ю.И., Канн С.Н., Пустовойтов В.П. и др. Строительная механика стержневых систем и оболочек. - К.: Вища школа, 1980.

5. Строительная механика. Руководство к практическим занятиям / Под ред. Ю.И. Бутенко. - К.: Вища школа, 1989.

6. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики (статически определимые и неопределимые системы) / Под ред. Г.К. Клейна. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1973.

7. Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни „Будівельна механіка (спецкурс)” для студентів денної форми навчання. Частина 3 (стійкість і динаміка будівель і споруд) / Полтава: ПНТУ, 2003. Укладачі: О.А. Шкурупій, Б.П. Митрофанов, А.М. Пащенко.