

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ШУМИ І ВІБРАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою *«Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»*
спеціальності 133 *«Галузеве машинобудування»*

Укладачі: В.М.Мельник, В.П. Косова

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент

Гнатейко Н. В. к.т.н., доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Відповідальний
редактор

Ружинська Л.І., доцент кафедри біотехніки та інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського, канд. техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 26.05.2022 р.)
за поданням Вченої ради факультету біотехнології і біотехніки
(протокол № 10 від 23.05.2022 р.)*

Навчальний посібник Шуми і вібрація обладнання. Розрахунково-графічна робота містить рекомендації, завдання, приклад виконання, а також вимогами до оформлення розрахунково-графічної роботи. Рекомендовано для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв».

Реєстр. № НП 21/22-430. Обсяг 92 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Загальні положення.....	5
2. Завдання для РГР.....	8
3. Приклад.....	10
4. Зміст та оформлення РГР.	17
Використана література.....	18
Додатки	19
Додаток 1 Приклад виконання	
Додаток 2 Титульний аркуш.....	29

ВСТУП

Навчальний посібник до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни "Шуми і вібрації обладнання» розроблено для здобувачів вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», освітньої програми «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у відповідності до Закону України «Про вищу освіту» [1], галузевих стандартів вищої освіти України щодо підготовки бакалаврів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» [2], з урахуванням Положення про організацію освітнього процесу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [3]. Для виконання роботи студент повинен знати: принципи побудови розрахункових схем елементів обладнання галузі; - методи декомпозиції складних механічних систем на типові фрагменти; - принципи проведення класифікації діючих сил на внутрішні і зовнішні; - аналіз побудованої розрахункової моделі на наявність і прояв законів збереження; - чітке розподілення зовнішніх збурюючих чинників, а також зусиль в опорах обладнання; - визначення особливостей кінематики механічних систем і аналіз шляхів її корекції, – уміти користуватися загальними принципами механіки в інерціальних і неінерціальних системах координат, - методи інтегрування рівнянь динаміки.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Проблема виникнення шумів і вібрації в приладах і обладнанні містить в собі безліч різноманітних питань. В той же час, питання боротьби з шумом і вібрацією досягли такого рівня вузької спеціалізації, що дійсна картина явища стала суттєво заплутаною.

Боротьба з шумом може здійснюватися або в місці його виникнення, або на шляху поширення чи на самому об'єкті, який підлягає ізоляції.

Залежно від фізичної природи шуму, його джерела поділяються на механічні, аеродинамічні, електромагнітні та гідродинамічні. Зниження їх рівнів реалізується головним чином удосконаленням звукоізолюючих властивостей огорожувальних захисних засобів.

Шумопороджувальні механізми генерують в конструкції інтенсивні звукові вібрації, які під час розповсюдження, призводять до виникнення звукових коливань середовища не тільки в найближчому оточенні, але навіть в досить віддалених місцях. Під дією вібрації в окремих елементах, або вузлах, можуть виникати локальні особливості резонансного типу з наступним проявом явищ стомлення матеріалу у вигляді необернених деформацій з поступовим їх руйнуванням. Дати раду цьому можна двома шляхами – вібропоглинанням, або віброізоляцією.

Моделі оболонкових фрагментів прийняті в найбільш загальній постановці – з довільною геометрією лінії меридіану, а також спеціальній – опуклі і угнуті (катеноїд) при узагальненому описі зовнішніх збурень. Аналітичний механізм дозволяє отримати координатні функції класичного колового циліндра.

Значна більшість зовнішніх механічних збурюючих впливів, що діють на обладнання та апаратуру, породжені переміщеннями їх місця установки. Ці переміщення являють собою в загальному вигляді сукупність шести рухів –

поступального переміщення центру мас об'єкта уздовж трьох осей та трьох обертальних рухів навколо них.

Повороти корпусу і поступальне переміщення його центру мас породжені наявністю прискорень руху, а також роботою двигунів та хвилястістю середовища (повітря, рідини). За натурних умов вони постають випадковими функціями часу, отже дуже необхідно знати їх ймовірнісні характеристики.

Під силовим впливом розуміють вібрацію, тобто коливальні процеси в елементах конструкції. До основних джерел коливань механічного походження можна віднести: удари тіл в кінематичних парах, невірноваженість мас (дебаланс), що обертаються, нерівножорсткість конструкції, тертя кочення, тертя ковзання та багато інших.

З'ясовано, що найбільш небезпечними для апаратури та обладнання постають вібраційні навантаження з боку місця установки, де змонтована апаратура або ж з боку транспортного засобу.

Таким чином, у самому загальному випадку механічна розрахункова модель конструкції обладнання може бути побудована у вигляді складної коливальної системи. При вивченні систем із зосередженими параметрами апаратуру та обладнання умовно поділяють на прості еквівалентні коливальні системи з однією чи двома ступенями вільності у вигляді точкових мас на пружній чи в'язко-пружній в'язі. Аналізуючи ступінь впливу вібрації, доцільно спочатку обрахувати коливальну систему починаючи з вузлів, які надто чутливі до вібрації, а вже потім – вивчати менш чутливі до вібрації елементи.

Структура вібрації та міра її дії на апаратуру залежить як від параметрів власне коливальної системи, тобто від конструкторських і схемних характеристик, які закладаються проектувальником, так і від збурювальних чинників та місць їх зосередження і шляхів розповсюдження.

Конструкторські параметри, наприклад, масо-габаритні характеристики блока чи вузла, жорсткість кріплення, особливості установки, орієнтація та місце компоновки на носії повинні вибиратися таким чином, щоб насамперед забезпечувати:

- віброміцність апаратури (тобто не повинно бути явищ стомлення в матеріалі конструкції);
- вібростійкість (тобто апаратура повинна нормально функціонувати відповідно до її паспортних характеристик);
- відсутність проявів резонансного типу.

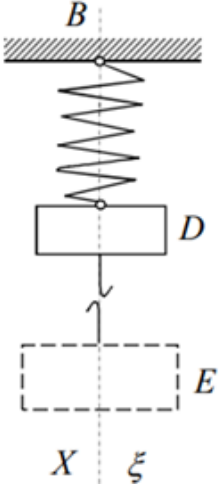
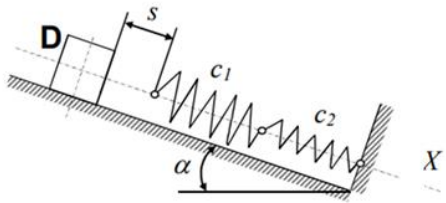
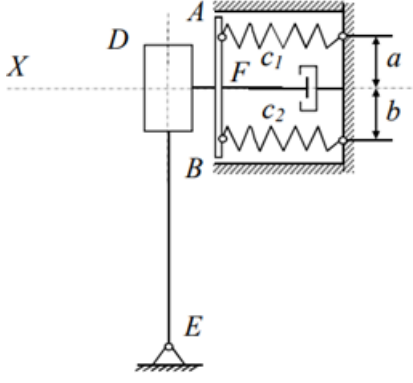
Прямолінійні коливання матеріальної точки є найпростішим випадком коливань механічних систем з зосередженими та розподіленими параметрами, однак дозволяють з'ясувати основні особливості цих рухів: поняття власної частоти коливань, амплітуди, періоду, впливу постійної сили, сил опору руху, гармонійної вимушених коливань на коливальний процес.

В даній розрахунковій роботі розглядаються вільні коливання без урахування сил опору руху, з урахуванням сил опору, пропорційних першого ступеня швидкості, вимушені коливання при дії гармонійної сили без і з урахуванням сил опору руху.

Програмою дисципліни передбачено виконання розрахунково-графічної роботи (РГР) Зміст РГР, а саме номери варіантів уточнюються викладачем під час аудиторних занять. Кожна задача супроводжується рисунками і таблицею (номери рисунка з тим самим номером, що і умова задачі в таблиці). РГР виконуються на листах формату А4. Типові звіти до РГР здійснюються відповідно до встановлених вимог: на титульній сторінці обов'язково вказуються назва кафедри, назва дисципліни, номер роботи, рік, прізвище та ініціали студента. Розв'язання задач повинно супроводжуватись коротким текстовим поясненням (які формули або теореми застосовуються, звідки отримуються ті чи інші результати та ін.), а також детальним викладом усіх розрахунків, що виконуються. Рисунки до розв'язання задач повинні бути виконані акуратно з застосуванням графічних редакторів. На них наносять позначення всіх величин, що використовуються: розміри, координатні осі, вектори сил, швидкостей, прискорень та ін. Слід звернути увагу на те, що розрахункова схема виконується строго згідно з вихідними даними свого варіанта задачі, і тоді в більшості випадків вона має бути простішою, ніж на

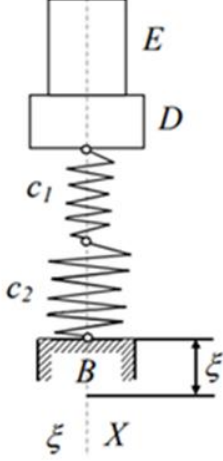
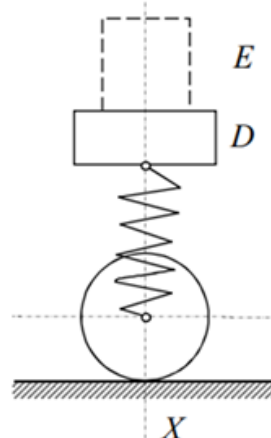
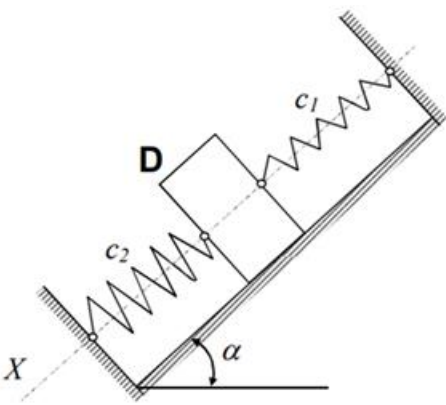
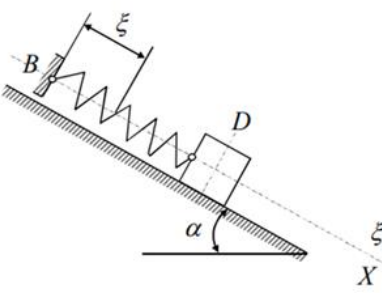
загальному рисунку. Розрахунково-графічні роботи, що не відповідають усім переліченим вимогам, рецензуватися не будуть і повертатимуться для переоформлення.

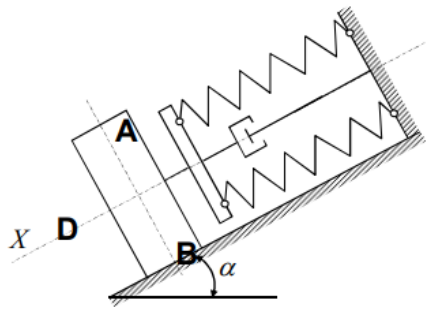
2. ЗАВДАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

№ № варіанту	Умова завдання	Малюнок
1	Знайти рівняння руху системи вантажів D і E масами m_D і m_E відносно осі X, початок відліку сумістити з положенням спокою вантажу D чи відповідно вантажів D і E (при статичній деформації пружин). Стрижні, які з'єднують вантажі, вважати невагомими та недеформованими. Водночас з підвішуванням до вантажу D ($m_D = 1,6$ кг), який висить на пружині, що має жорсткість $c = 4$ Н/см, вантажу E ($m_E = 2,4$ кг,) точка B (верхній кінець пружини) починає здійснювати рух за законом $\xi = 2\sin 5\pi t$ (вісь ξ спрямована вертикально вниз). Примітка – положення початку відліку на осі X відповідає середньому положенню точки B ($\xi = 0$).	
2	Знайти рівняння руху вантажу D масою m_D, який рухається вздовж гладкої похилої площини, яка складає з горизонтом кут α, з моменту стикання вантажу з пружиною чи системою пружин, вважаючи, що при подальшому русі вантаж від пружин не відділяється. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку положення спокою вантажу (при статичній деформації пружин). Вантаж D ($m_D = 4$ кг), який пройшов без початкової швидкості по похилій площині ($\alpha = 30^\circ$) відстань $s = 0,1$ м, вдаряється об недеформовані, послідовно з'єднані пружини, які мають коефіцієнти жорсткості $c_1 = 48$ Н/см та $c_2 = 24$ Н/см.	
3	Вантаж D масою m_D закріплений на кінці невагомий стрижня, який може обертатися у площині креслення навколо осі E. Вантаж з'єднаний системою пружин; вертикальне положення стрижня відповідає недеформованим пружинам. Вважаючи, що вантаж D, який приймається за матеріальну точку, рухається по прямій, визначити рух цього вантажу. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку точку, яка відповідає положенню спокою вантажу (при недеформованих пружинах). Вантаж D ($m_D = 4$ кг) з'єднаний з точкою F бруска AB, який з'єднує кінці двох паралельних пружин,	

	коефіцієнти жорсткості яких $c_1=1$ Н/см та $c_2=1,4$ Н/см. Точка F знаходиться на відстані a та b від осей цих пружин: $\frac{a}{b} = \frac{c_2}{c_1}$ Вантаж D відхиляють на величину $\lambda=2$ см вліво від положення, яке відповідає вертикальному положенню стрижня, і відпускають без початкової швидкості. Опір руху вантажу пропорційний швидкості $R=6V$ Н, де V – швидкість, м/с $\alpha = 60^\circ$. Масою абсолютно жорсткого бруска АВ та масою демпфера нехтувати.	
4	Вантаж D масою m_D закріплений на кінці невагомго стрижня, який може обертатися у площині креслення навколо осі E. Вантаж з'єднаний з пружиною вертикальне положення стрижня відповідає недеформованим пружинам. Вважаючи, що вантаж D, який приймається за матеріальну точку, рухається по прямій, визначити рух цього вантажу. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку точку, яка відповідає положенню спокою вантажу (при недеформованих пружинах). У деякий момент часу вантаж D ($m_D=3$ кг), що утримується в положенні, при якому пружина стиснута на величину $\lambda = 2$ см, відпускають без початкової швидкості. Коефіцієнт жорсткості пружини $c=9$ Н/см. Водночас ($t=0$) точка B (правий кінець пружини) починає здійснювати рух за законом $\xi=1,2\sin 8t$ см (вісь ξ спрямована горизонтально вліво). Примітка – положення початку відліку на осі x відповідає середньому положенню точки B ($\xi=0$).	
5	Вантаж D масою m_D закріплений на кінці невагомго стрижня, який може обертатися у площині креслення навколо осі E. Вантаж з'єднаний з пружиною вертикальне положення стрижня відповідає недеформованим пружинам. Вважаючи, що вантаж D, який приймається за матеріальну точку, рухається по прямій, визначити рух цього вантажу. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку точку, яка відповідає положенню спокою вантажу (при недеформованих пружинах). Вантаж D ($m_D=1$ кг) прикріплений до кінця пружини, яка має коефіцієнт жорсткості $c_1=12$ Н/см і з'єднана іншим кінцем з точкою F бруска АВ. Брусок АВ зв'язує кінці двох паралельних пружин, коефіцієнт жорсткості кожної з яких	

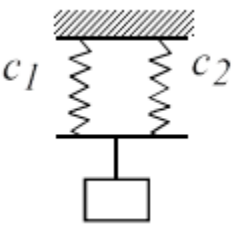
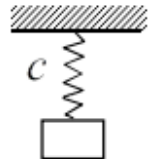
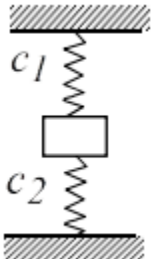
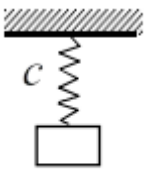
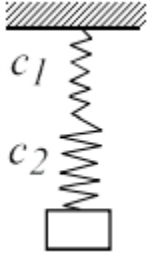
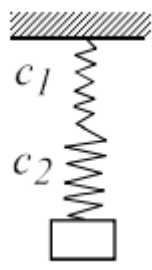
	$c = 3 \text{ Н/см}$. Точка F знаходиться на рівних відстанях від осей паралельних пружин. Вантажу при вертикальному положенні стрижня надають швидкість $V_0 = 0,5 \text{ м/с}$, яка спрямована праворуч. Опір руху вантажу пропорційний швидкості $R = 12V \text{ Н}$, де V – швидкість, м/с. Шток демпфера пропущений через отвір у невагомому бруску АВ та з'єднаний з вантажем D.	
6.	Вантаж D масою m_D закріплений на кінці невагомого стрижня, який може обертатися у площині креслення навколо осі E. Вантаж з'єднаний з пружиною вертикальне положення стрижня відповідає недеформованим пружинам. Вважаючи, що вантаж D, який приймається за матеріальну точку, рухається по прямій, визначити рух цього вантажу. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку точку, яка відповідає положенню спокою вантажу (при недеформованих пружинах). Вантаж D ($m_D = 1,5 \text{ кг}$) прикріплений однією стороною до кінця пружини, яка має жорсткість $c_1 = 4,43 \text{ Н/см}$, а другою – до кінця двох послідовно з'єднаних пружин, коефіцієнти жорсткості яких $c_2 = 2 \text{ Н/см}$ та $c_3 = 8 \text{ Н/см}$. Вантаж відхиляють на величину $\lambda = 2,5 \text{ см}$ вліво від його положення, яке відповідає вертикальному положенню стрижня, і відпускають, водночас надаючи початкову швидкість $V_0 = 4,0 \text{ м/с}$, що спрямована вправо.	
7.	Вантаж D масою m_D закріплений на кінці невагомого стрижня, який може обертатися у площині креслення навколо осі E. Вантаж з'єднаний з пружиною вертикальне положення стрижня відповідає недеформованим пружинам. Вважаючи, що вантаж D, який приймається за матеріальну точку, рухається по прямій, визначити рух цього вантажу. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку точку, яка відповідає положенню спокою вантажу (при недеформованих пружинах). Вантаж D ($m_D = 1,0 \text{ кг}$) прикріплений до кінця A послідовно з'єднаних пружин. Другий кінець пружин B рухається за законом $\xi = 1,8 \sin 12t \text{ см}$ (вісь ξ спрямована горизонтально вліво). Коефіцієнти жорсткості пружин $c_1 = 4 \text{ Н/см}$ та $c_2 = 12 \text{ Н/см}$. При $t = 0$ вантаж знаходиться в положенні спокою, яке відповідає недеформованим пружинам. Примітка – положення початку відліку на осі X відповідає середньому положенню точки B ($\xi = 0$).	

8	Знайти рівняння руху вантажу D масою m_D відносно осі X , початок відліку сумістити з положенням спокою вантажу D чи відповідно вантажів D і E (при статичній деформації пружин). Вважається, що вантажі D і E при сумісному русі не відділяються. Два вантажі D ($m_D=15$ кг) та E ($m_E=25$ кг) знаходяться в стані спокою на послідовно розташованих пружинах, які мають коефіцієнти жорсткості $c_1=250$ Н/см, $c_2=375$ Н/см. У момент часу, коли знімають вантаж E, точка B обпирання пружин починає здійснювати рух за законом $\xi=0,5 \sin 30t$ см (вісь ξ спрямована вертикально вниз). Примітка – положення початку відліку на осі X відповідає середньому положенню точки B ($\xi=0$).	
9	Знайти рівняння руху системи вантажів D і E масами m_D і m_E відносно осі X , початок відліку сумістити з положенням спокою вантажу D чи відповідно вантажів D і E (при статичній деформації пружин). Вважається, що вантажі D і E при сумісному русі не відділяються. На вантаж D, який знаходиться у стані спокою, що відповідає статичній деформації пружини, у деякий момент часу встановлюють вантаж E. Водночас системі двох вантажів надають швидкість $V_0=0,3$ м/с, яка спрямована вниз. Циклічна частота власних коливань вантажу D на пружині $\omega_D=24$ с⁻¹, відношення мас $\frac{m_E}{m_D} = 3$.	
10	Знайти рівняння руху вантажу D масою m_D , що рухається по гладкій похилій площині, яка складає з горизонтом кут α. Рух вантажу віднести до осі X , прийнявши за початок відліку положення спокою вантажу (при статичній деформації пружин). У деякий момент часу вантаж D ($m_D=2$ кг) прикріплюють до кінців недеформованих пружин, які мають коефіцієнти жорсткості $c_1=7$ Н/см, $c_2=3$ Н/см. Водночас вантажу надають швидкість $V_0=0,4$ м/с, яка спрямована вздовж похилої площини вниз ($\alpha=45^\circ$).	
11	Знайти рівняння руху вантажу D масою m_D , що рухається по гладкій похилій площині, яка складає з горизонтом кут α. Рух вантажу віднести до осі X , прийнявши за початок відліку положення спокою вантажу (при статичній деформації пружин). Вантаж D знаходиться на похилій площині ($\alpha=30^\circ$) у стані спокою, який відповідає статичній деформації пружини $f_{cm}=2$ см. У деякий момент часу ($t=0$) точка B починає здійснювати рух вздовж похилої площини за законом $\xi=0,01 \sin 10t$ м (вісь ξ спрямована вздовж похилої	

	площини вниз). Примітка – положення початку відліку на осі X відповідає середньому положенню точки B ($\xi = 0$).	
12	Знайти рівняння руху вантажу D масою m_D, що рухається по гладкій похилій площині, яка складає з горизонтом кут α. Рух вантажу віднести до осі X, прийнявши за початок відліку положення спокою вантажу (при статичній деформації пружин). Кінці двох однакових паралельних пружин з'єднані бруском AB. Статична деформація кожної з пружин під дією вантажу D ($m_D=1,5$ кг), який знаходиться на похилій площині ($\alpha = 30^\circ$), $f_{cm}=4,9$ см. У деякий момент часу вантажу D надають швидкість $V_0=0,3$ м/с, яка спрямована вздовж похилої площини вгору. Опір руху вантажу пропорційний швидкості $R = 6V$ Н, де V – швидкість, м/с. Масою абсолютно жорсткого бруска AB та масою частини демпфера, яка зв'язана з ним, нехтувати.	

Загальний план виконання роботи

1. Замінити систему пружин – однією з еквівалентною жорсткістю (c).

Розрахункова схема	Еквівалентна схема
	 $c = c_1 + c_2$
	 $c = c_1 + c_2$
	

2. За початок координат обираємо положення статичної рівноваги вантажу.

У цьому положенні $cf_{cm} = mg$

l_0 – довжина пружини в недеформованому стані;

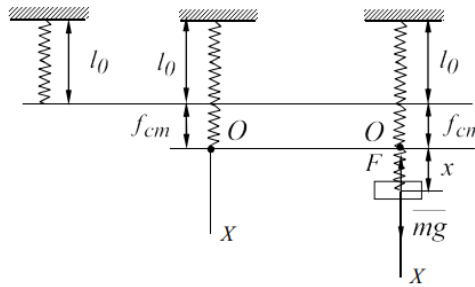
f_{ct} f_{ct} – статичне подовження;

O – початок осі OX ;

x – поточна координата;

$F_x = -c(x + f_{cm})$ – проекція відновлюючої сили на вісь OX

3. Вісь OX скеруємо в бік руху вантажу



4. Зображуємо вантаж у довільному положенні та діючі на нього сили.

5. Складаємо диференціальне рівняння руху.

6. Записуємо розв'язок відповідного рівняння коливального руху. За початковими умовами знаходимо сталі інтегрування.

7. Визначаємо параметри коливань.

8. Будуємо графік коливань.

3. ПРИКЛАД

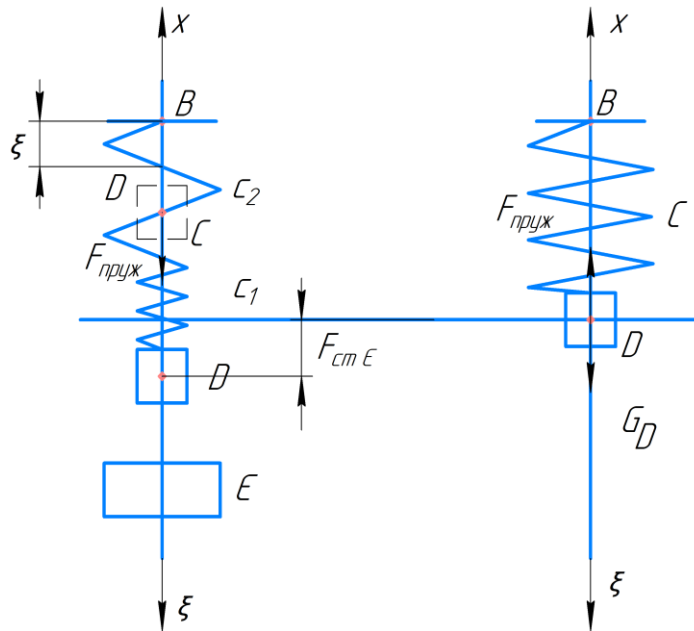
Умова:

В момент, коли стержень, який з'єднує вантажі D ($m_D = 1$ кг) і E ($m_E = 2$ кг), перерізають, точка B (верхній кінець послідовно з'єднаних пружин) починає

здійснювати рух за законом $\xi = 1,5 \sin 18t$ (см) (вісь ξ спрямована вертикально вниз). Коефіцієнти жорсткості $c_1 = 19$ н/см, $c_2 = 36$ н/см.

Дано:

$$m_D = 1 \text{ кг}, m_E = 2 \text{ кг}, c_1 = 19 \text{ н/см}, c_2 = 36 \text{ н/см}.$$



Рух:

$$\xi = 1,5 \sin 18t$$

Знайти:

Рух вантажу D, після того як стержень який з'єднує вантаж переріжуть.

Розв'язання:

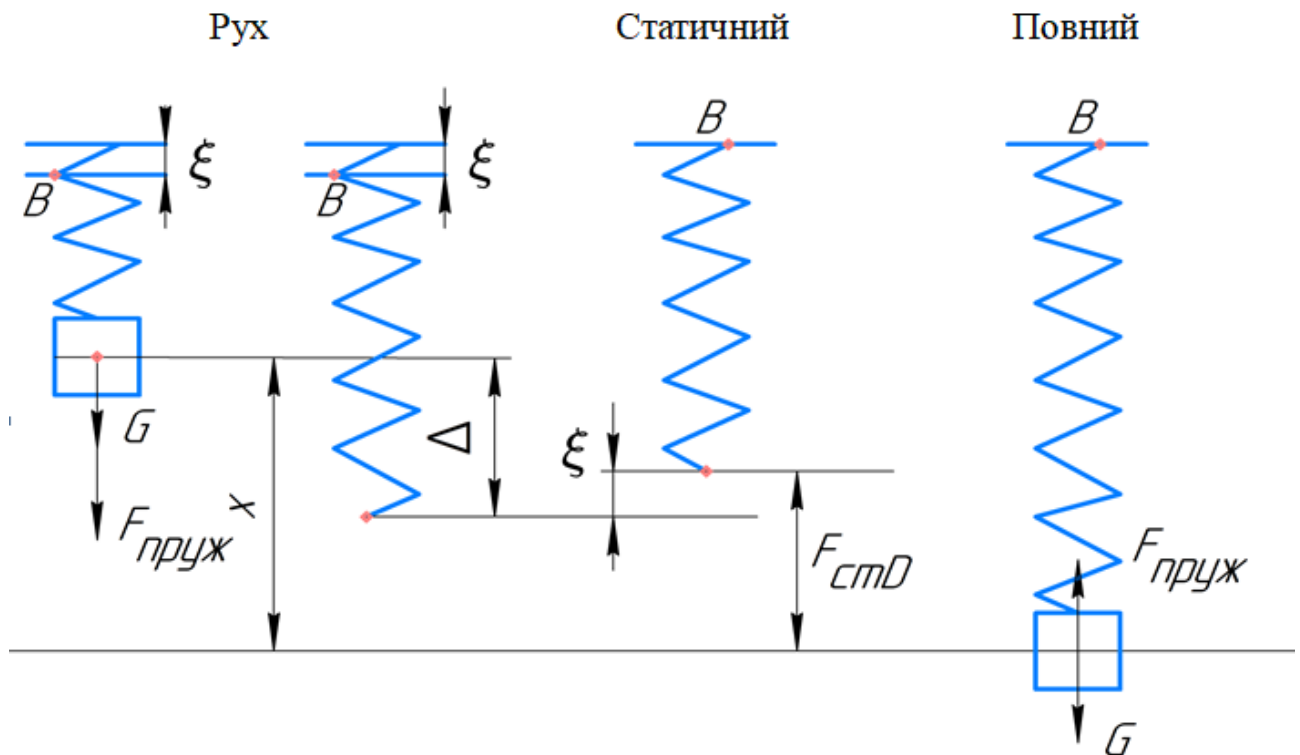
$$1) \frac{1}{c} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \Rightarrow c = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} = \frac{12 \cdot 36}{12 + 36} = 9.$$

2) Поєднаємо початок координат системи з положенням спокою вантажу D, відповідно статичній деформації пружини $F_{ст D}$. Вісь x направлена вгору за рухом вантажу D після того, як стержень перерізали.

3) Рух вантажу D визначається диференціальним рівнянням.

$$m_D \ddot{x} = \sum x:$$

$$m_D \ddot{x} = -G_D - F_{\text{пруж.}}, \text{ де } F_{\text{пруж.}} = c \cdot \Delta$$



4) Знайдемо $F_{\text{смD}}$ з рівняння відповідно стану спокою вантажу D

$$\sum x_i = 0$$

$$F_{\text{пруж}} - G_D = 0$$

$$c \cdot F_{\text{смD}} = G_D$$

$$F_{\text{смD}} = \frac{G_D}{c}$$

5) Диференціальне рівняння буде виглядати:

$$m_D \ddot{x} = -G_D - c(x - \frac{G_D}{c} + \xi)$$

$$m_D \ddot{x} = -G_D - cx + G_D - c\xi$$

$$m_D \ddot{x} + cx = -c \cdot 1.5 \sin 18t, m_D = 1$$

$$\ddot{x} + 9x = -13.5 \sin 18t$$

$$x = x_{00} + x_2$$

$$x_2 = \frac{h}{k^2 - p^2} \cdot \sin pt$$

$$x_2 = \frac{3}{70} \cdot \sin 18t$$

$$x = c_1 \cdot \cos 3t + c_2 \cdot \sin 3t + \frac{3}{70} \cdot \sin 18t$$

$$\dot{x} = -c \cdot 3 \sin 3t + c_2 \cdot 3 \cos 3t + \frac{3 \cdot 18}{70} \cdot \cos 18t$$

$$\text{при } t=0 \quad x_0 = -F_{cm}, \quad \dot{x}_0 = 0.$$

$$F_{cm} = \frac{G_{\epsilon}}{c} = \frac{9,8 \cdot 2}{9} \approx 2,2 \Rightarrow x_0 = -2,2 \text{ [cm]}$$

$$-2,2 = c_1 + c_2 \cdot 0 + 0 \Rightarrow c_1 = -2,2$$

$$0 = 3c_2 + \frac{3 \cdot 18}{70} \Rightarrow c_2 = -\frac{3 \cdot 18}{70 \cdot 3} \approx -0,26$$

$$\text{Відповідь: } x = -2,2 \cos 3t - 0,26 \sin 3t + 0,04 \sin 18t \text{ [cm]}.$$

4. ЗМІСТ ТА ОФОРМЛЕННЯ РГР

ЗМІСТ

Вступ

Умова завдання

Розв'язання

Висновок

Список літератури

ОФОРМЛЕННЯ

Кожен студент виконує свій особистий варіант завдань, який встановлює викладач. Оформлення завдань – згідно з діючими вимогами до текстових документів конструкторської документації.

Виконане завдання повинне містити наступні обов'язкові компоненти.

1. Назва завдання.
2. Текстова умова задачі, рисунок, коротка умова (що дано, що треба визначити). Рисунки виконуються з урахуванням конкретного варіанта (з позначенням кутів, сил, тіл і т.д., що відповідають даному варіантові, зайві компоненти – не показувати).
3. Слово «Розв'язування», після чого викладається розв'язок задачі з використанням усіх необхідних креслень і математичних розрахунків. Креслення повинні бути акуратними і зрозумілими. Обов'язковими є короткі текстові пояснення й посилання на теореми, які були використані при розв'язуванні.
4. Слово «Висновок», після чого додаються чисельні значення знайдених величин та необхідний коментар.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Про вищу освіту: Закон України № 1556-VII від 25.09.2020 підстава - 849-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 10.11.2020)
2. Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» для першого бакалаврського рівня вищої освіти: Закон України від 16.06.2020 р. № 806. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/standarty/2020/06/17/133%20Haluzeve%20mashynobuduvannya%20bakalavr.pdf> (дата звернення 01.04.2021)
3. Положення про організацію освітнього процесу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». <https://kpi.ua/index.php/regulations>
4. Мельник В.М., Карачун В.В. Шуми і вібрація. Збурюючі чинники та їх характеристики / Навч. посібник . – К.: Техніка, 2008. – 352 с.; іл. – Бібліогр. : с. 350.
5. Дидковский В.С., Карачун В.В., Заборов В.И. Проектирование ограждающих конструкций с оптимальными звуко – и вибропоглощающими свойствами. – К.: Будивэльнык, 1991. – 120 с.
6. Ишлинский А.Ю. Механика относительного движения и силы инерции. – М.: Наука, 1981. – 191 с.
7. Карачун В.В., Касьянов В.О. Теоретична механіка в прикладах і задачах: Учебное видання. – К.: КМУЦА, 1999. – 252 с.
8. Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.
9. «Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике» Под общей редакцией проф. А. А. Яблонского, издание второе, 2008. – С. 320 – 345, 182 – 187: іл.

Додатки

Зміст

Вступ.....	3
Умова завдання.....	5
Розв'язання	5
Висновок	10
Список літератури.....	11

[illegible]

Вступ

Проблема виникнення шумів і вібрації в приладах і обладнанні містить в собі безліч різноманітних питань. В той же час, питання боротьби з шумом і вібрацією досягли такого рівня вузької спеціалізації, що дійсна картина явища стала суттєво заплутаною.

Боротьба з шумом може здійснюватися або в місці його виникнення, або на шляху поширення чи на самому об'єкті, який підлягає ізоляції.

Залежно від фізичної природи шуму, його джерела поділяються на механічні, аеродинамічні, електромагнітні та гідродинамічні. Зниження їх рівнів реалізується головним чином удосконаленням звукоізолюючих властивостей огорожувальних захисних засобів.

Шумопороджуючі механізми генерують в конструкції інтенсивні звукові вібрації, які розповсюджуючись, призводять до виникнення звукових коливань середовища не тільки в найближчому оточенні, але навіть в досить віддалених місцях. Під дією вібрації в окремих елементах, або вузлах, можуть виникати локальні особливості резонансного типу з наступним проявом явищ стомлення матеріалу у вигляді не обернених деформацій з поступовим їх руйнуванням. Дати раду цьому можна двома шляхами – вібропоглинанням, або віброізоляцією.

Моделі оболонкових фрагментів прийняті в найбільш загальній постановці – з довільною геометрією лінії меридіану, а також спеціальній – опуклі і угнуті (катеноїд) при узагальненому описі зовнішніх збурень. Аналітичний механізм дозволяє отримати координатні функції класичного колового циліндра.

Значна більшість зовнішніх механічних збурюючих впливів, що діють на обладнання та апаратуру, породжені переміщеннями їх місця установки. Ці переміщення являють собою в загальному вигляді сукупність шести рухів – поступального переміщення центру мас об'єкта уздовж трьох осей та трьох обертальних рухів навколо них. [1]

Повороти корпусу і поступальне переміщення його центру мас породжені наявністю прискорень руху, а також роботою двигунів та хвилястістю середовища (повітря, рідини). За натурних умов вони постають випадковими функціями часу, отже конче необхідно знати їх ймовірнісні характеристики.

Під силовим впливом розуміють вібрацію, тобто коливальні процеси в елементах конструкції. До основних джерел коливань механічного походження можна віднести: удари тіл в кінематичних парах, невірноваженість мас (дебаланс), що обертаються, нерівно жорсткість конструкції, тертя кочення, тертя ковзання та багато інших.

З'ясовано, що найбільш небезпечними для апаратури та обладнання постають вібраційні навантаження з боку місця установки, де змонтована апаратура або ж з боку транспортного засобу.

Таким чином, у самому загальному випадку механічна розрахункова модель конструкції обладнання може бути побудована у вигляді складної

коливальної системи. При вивченні систем із зосередженими параметрами апаратуру та обладнання умовно поділяють на прості еквівалентні коливальні системи з однією чи двома ступенями вільності у вигляді точкових мас на пружній чи в'язко-пружній в'язі. Аналізуючи ступінь впливу вібрації, доцільно спочатку обрахувати коливальну систему починаючи з вузлів, які надто чутливі до вібрації, а вже потім – вивчати менш чутливі до вібрації елементи.

Структура вібрації та міра її дії на апаратуру залежить як від параметрів власне коливальної системи, тобто від конструкторських і схемних характеристик, які закладаються проектувальником, так і від збурюючих чинників та місць їх зосередження і шляхів розповсюдження.

Конструкторські параметри, наприклад, масо-габаритні характеристики блока чи вузла, жорсткість кріплення, особливості установки, орієнтація та місце компоновки на носії повинні вибиратися таким чином, щоб насамперед забезпечувати:

- віброміцність апаратури (тобто не повинно бути явищ стомлення в матеріалі конструкції);
- вібростійкість (тобто апаратура повинна нормально функціонувати відповідно до її паспортних характеристик);
- відсутність проявів резонансного типу.

Прямолінійні коливання матеріальної точки є найпростішим випадком коливань механічних систем з зосередженими та розподіленими параметрами, однак дозволяють з'ясувати основні особливості цих рухів: поняття власної частоти коливань, амплітуди, періоду, впливу постійної сили, сил опору руху, гармонійної вимушених коливань на коливальний процес. [2]

В даній розрахунковій роботі розглядаються вільні коливання без урахування сил опору руху, з урахуванням сил опору, пропорційних першого ступеня швидкості, вимушені коливання при дії гармонійної змушує сили без і з урахуванням сил опору руху.

Умова завдання

Пройшовши без початкової швидкості по гладкій похилій площині ($\alpha = 30^\circ$) відстань $s = 0,1$ м, вантаж D масою $m = 4$ кг, вдаряється об недеформовані послідовно з'єднані пружини, що мають коефіцієнти жорсткості $c_1 = 48$ Н/см і $c_2 = 24$ Н/см. Знайти рівняння руху вантажу D з моменту дотику вантажу з системою пружин,

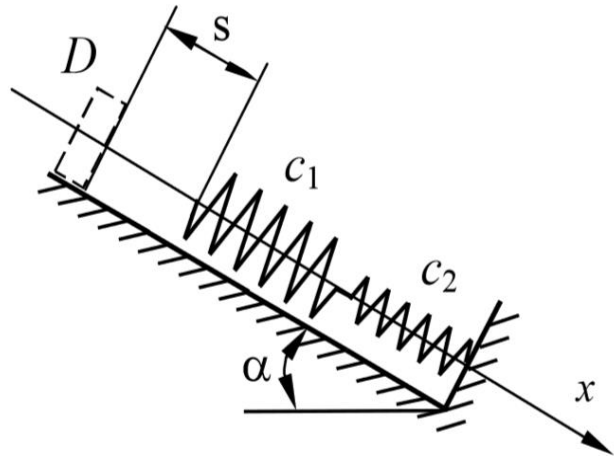


Рис. 1.1

припускаючи, що при подальшому русі вантаж

від пружин не відділяється. Рух вантажу віднести до осі x , прийнявши за початок відліку положення спокою вантажу (положення статичної деформації пружин). Умовно схема задачі представлена на рис.1.1.

Розв'язання

1. Складаємо розрахункову схему з однією еквівалентною пружиною і визначаємо її жорсткість:

$$c_e = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} = \frac{2400 \cdot 4800}{2400 + 4800} = 1600 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

де c_1 та c_2 – жорсткість першої і другої пружини відповідно.

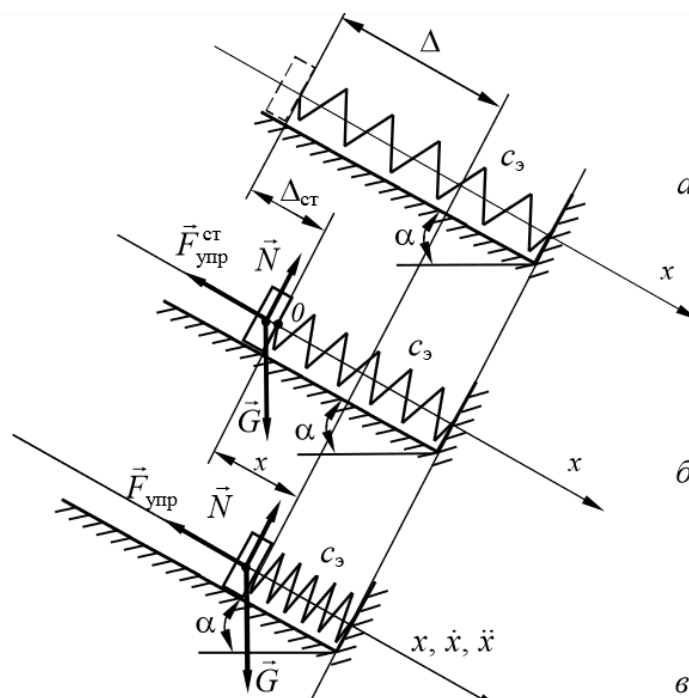


Рис. 1.2

2. Представимо розрахункову схему в трьох малюнках :
 - а. - пружина у вільному стані (рис. 1.2, а),
 - б. - вантаж в положенні статичної рівноваги (рис. 1.2, б),
 - в. - вантаж в проміжному положенні під час руху (рис. 1.2 , в).
3. Розглянемо положення, коли пружина не деформована в положенні статичної рівноваги вантажу. При зміщенні вантажу по гладкій поверхні виникатиме сила пружності пружини, завжди спрямована в бік, протилежний зміщенню. Виходячи з умови статичної рівноваги (рис. 1.9, б) маємо:

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0; G \sin \alpha - F_{\text{пр}}^{\text{ст}} = 0,$$

де G -вага груза, при цьому $F_{\text{пр}}^{\text{ст}} = c_e \Delta_{\text{ст}}$, де $\Delta_{\text{ст}}$ - статична деформація пружини. Звідси:

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{G \sin \alpha}{c_e}.$$

4. Рівняння руху вантажу (рис. 1.9, в) має вигляд:

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^n F_{ix},$$

де

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = G \sin \alpha - F_{\text{пр}},$$

де

$$\begin{aligned} F_{\text{пр}} &= c_e \Delta_{\text{ст}} = c_e (\Delta_{\text{ст}} + x); \\ m\ddot{x} &= G \sin \alpha - c_e (\Delta_{\text{ст}} + x); \\ m\ddot{x} + c_e x &= 0; \\ \ddot{x} + \frac{c_e}{m} x &= 0. \end{aligned}$$

Позначимо $k^2 = \frac{c_e}{m}$, тоді канонічний вигляд рівняння:

$$\ddot{x} + k^2 x = 0.$$

5. Сформулюємо початкові умови задачі: при $t = 0$

- $x = -\Delta_{\text{ст}};$
- $\dot{x} = v_0.$

6. Обчислимо $\Delta_{\text{ст}}$ з умови статичної рівноваги:

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{G \sin \alpha}{c_e} = \frac{4 \cdot 9.81 \cdot 0.5}{1600} = 0.0123 \text{ м.}$$

7. Побудуємо допоміжну задачу (рис 1.3) для знаходження v_0 .

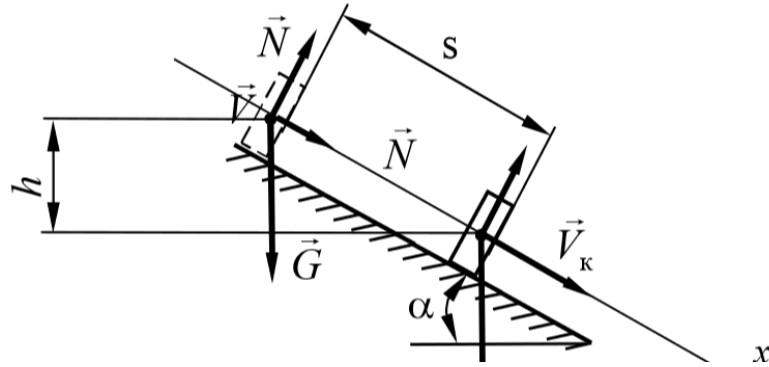


Рис. 1.3

8. Розглянемо ковзання тіла по гладкій похилій площині на ділянці довжиною s при $v_0 = 0$. Кінцева швидкість v_k на цій ділянці буде початковою для завдання про коливання вантажу на пружині. За теоремою про зміну кінетичної енергії:

$$T_k - T_0 = \sum_{k=1}^n A_k;$$

$$\frac{mv_k^2}{2} - 0 = Gh;$$

$$\frac{mv_k^2}{2} = mgs \sin \alpha;$$

$$v_k = \sqrt{2gs \sin \alpha} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.1 \cdot 0.5} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Рішення отриманого диференціального рівняння знаходимо у вигляді:

$$x = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt,$$

Продиференціювавши рівняння по змінній t отримаємо рівняння швидкості грузу:

$$\dot{x} = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt.$$

9. Використовуємо початкові умови задачі:

- $x = -\Delta_{\text{ст}} = -0.0123 \text{ м.}$

$$-\Delta_{\text{ст}} = C_1 \cdot 1 + C_2 \cdot 0, \text{ звідси } C_1 = -\Delta_{\text{ст}} = -0.0123 \text{ м.}$$

- $\dot{x} = v_0 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

$$v_0 = -C_1 k \cdot 0 + C_1 k \cdot 1, \text{ звідки } C_2 = \frac{v_0}{k} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1600}{4}}} = 0.05 \text{ м.}$$

Тоді рівняння коливального руху запишемо у вигляді:

$$x = -\Delta_{\text{ст}} \cos kt + \frac{v_0}{k} \sin kt.$$

10. Підставивши знайдені чисельні значення коефіцієнтів, остаточно отримаємо:

$$x = -0.0123 \cos 20t + 0.05 \sin 20t \text{ м.}$$

Графік отриманої функції (а), графік зміни швидкості (б) і фазовий портрет коливального рух (в) зображено на малюнку 1.4.

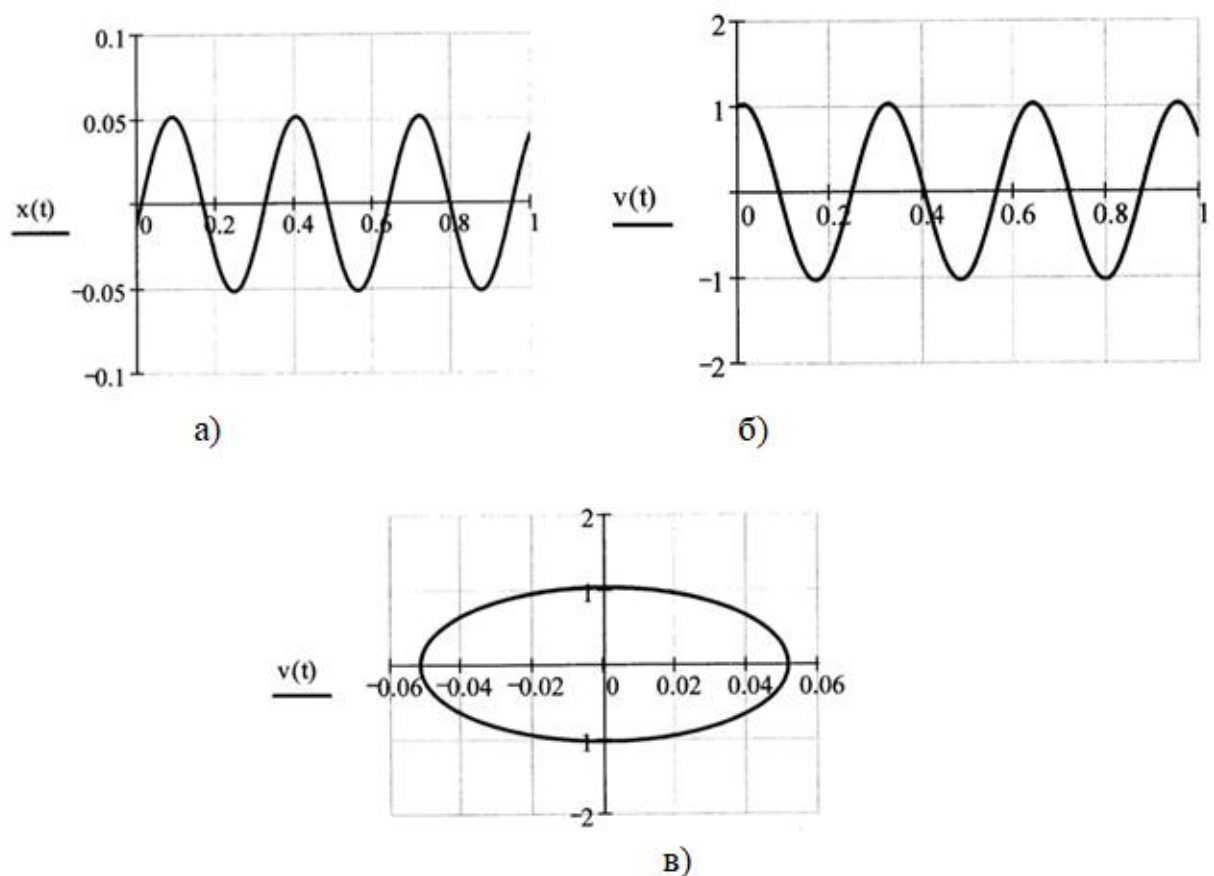


Рис.1.4

Відповідь: $-0.0123 \cos 20t + 0.05 \sin 20t$ м.

Висновок

Для знаходження рівняння руху вантажу D з моменту дотику вантажу з системою пружин, припускаючи, що при подальшому русі вантаж

від пружин не відділяється розрахункова схема максимально спрощується і комплект пружин замінюється однією пружиною еквівалентної жорсткості.

Знайдене рівняння руху має вигляд $x = -0.0123 \cos 20t + 0.05 \sin 20t$ м., а отже задана система буде здійснювати вільні гармонічні коливання.

					РГР БІ61.006.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		