

Лекція №25

Розділ 12. ВІБРАЦІЇ В МЕХАНІЗМАХ. ВІБРОЗАХИСТ

У високодинамічних сучасних машинах виникають механічні коливання. Джерелом цих коливань (вібрацій) є неврівноваженості мас рухомих ланок (перша група причин) і тертя в кінематичних парах (друга група причин).

Якщо вібрація не є складовою якого-небудь технологічного процесу, то вона завжди буде явищем шкідливим.

Боротьбу з вібрацією – *віброзахист* – проводять за такими напрямками.

1. *Зменшення віброактивності джерела*: зменшення динамічних реакцій шляхом зрівноважування рухомих мас для першої групи причин і використання спеціальних мастил для другої групи причин).
2. *Зміна конструкції об'єкту*. При цьому досягається:
 - зміна власних частот коливань елементів конструкцій, які пов'язані з їх геометрією, тобто усуваються резонансні явища;
 - збільшується розсіювання (*дисипація*) механічної енергії в об'єкті (*демпфірування коливань*). Це досягається підбором матеріалів з високими поглинаючими або розсіювальними властивостями (широка петля пружного гістерезису); *конструкційним демпфіруванням* (тертя в нерухомих з'єднаннях – шліцьових, різьбових, заклепкових і т.п., де присутні малі переміщення, на яких виконується робота).
3. *Динамічне гасіння коливань*. Вводиться в конструкцію *віброгасник*, який формує коливання, що знаходяться у протифазі до тих, які генеруються джерелом і, тим самим, урівноважує їх.
4. *Застосування поглиначів коливань – гасників або демпферів*.
5. *Віброізоляція*. Її дія зводиться до послаблення в'язей між джерелом і об'єктом. Але при цьому виникають деякі негативні явища, наприклад додаткові небажані переміщення об'єкту.

Тема 12.1. ДЕМПФІРУВАННЯ КОЛИВАНЬ

На рис. 12.1 і 12.2 зображені схеми гасників коливань, які широко застосовують у вимірювальних приладах. Вони мають забезпечити таку роботу приладу, щоб він чутливо реагував на малий сигнал. Але після зняття цього сигналу стрілка приладу має плавно повертатися в „нуль”. Не повинні також виникати самочинні коливання стрілки проти певної мітки на шкалі, яка відповідає вимірюваному сигналу.

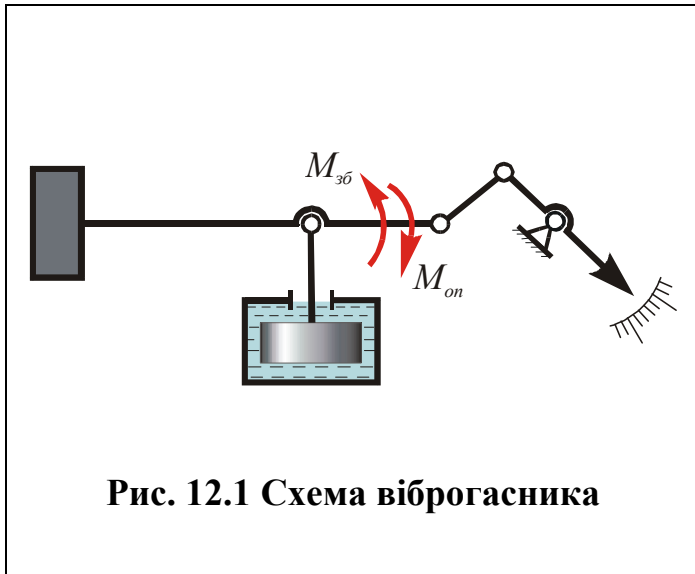


Рис. 12.1 Схема віброгасника

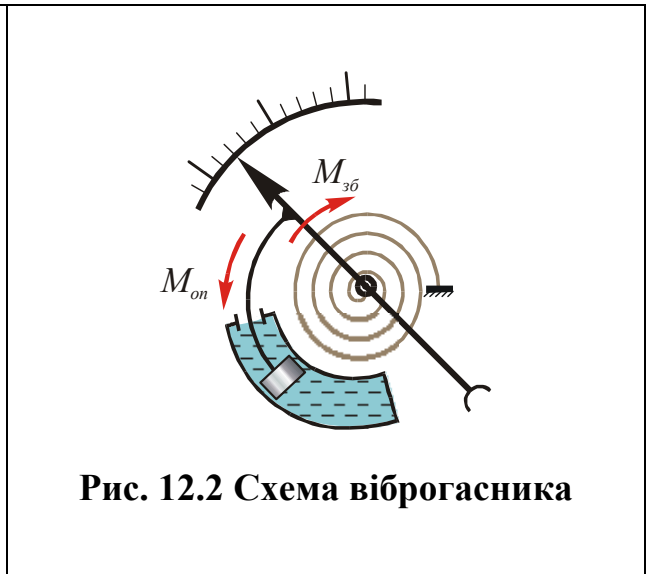


Рис. 12.2 Схема віброгасника

Тут $M_{зб}$ – момент збудження; $M_{он}$ – момент опору.

Розглянемо приклад розрахунку характеристик гасника з обертальними масами.

Опір середовища гасника приймають пропорційним швидкості (для рідинних гасників) або квадрату швидкості (для повітряних гасників) об'єкта:

Запишемо рівняння руху об'єкту з рідинним гасником:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + c \frac{d\varphi}{dt} + k\varphi + M_{он} = M_{зб}. \quad (12.1)$$

Тут J – момент інерції рухомих мас; $c \frac{d\varphi}{dt}$ – момент опору демпфера.

Диференціальне рівняння (12.1) описує коливальний процес в системі.

Розглянемо такі умови руху:

1. Демпфер в системі відсутній; відсутні і сили опору $M_{он}$. Після відхилення об'єкту (стрілки) момент збудження $M_{зб}$ був знятий. Тоді рівняння (12.1) набуває вигляду:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + k\varphi = 0. \quad (11.2)$$

Ми отримали звичайне диференціальне рівняння вільних коливань механічної системи з однією ступінню вільності. Розв'язком цього рівняння є вираз

$$\varphi = \varphi_0 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{J}}t\right), \quad (12.3)$$

де $\varphi_0 \in \varphi$ при $t=0$; $\sqrt{\frac{k}{J}} = \omega_0$ – колова частота. Період коливань $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$; частота $f = \frac{1}{T}$. Таким чином, ми маємо вільні коливання з періодом T і амплітудою φ_0 (див. рис. 12.3).

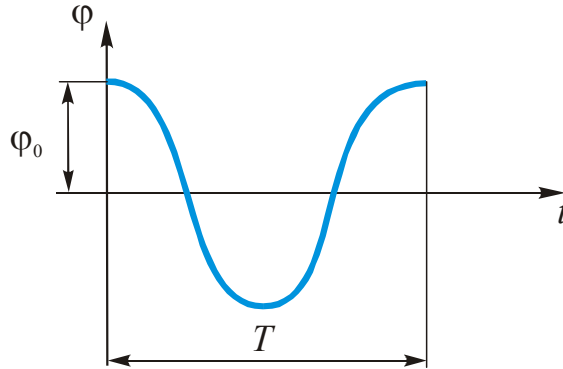


Рис. 12.3 Графік гармонійних коливань

2. Введемо в систему демпфер. Тоді рівняння (11.3) запишемо у вигляді:

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + c \frac{d\varphi}{dt} + k\varphi = 0. \quad (11.4)$$

Позначимо

$$\beta = \frac{c}{2\sqrt{JK}}. \quad (12.5)$$

Тут β — коефіцієнт демпфірування.

$$\beta\omega_0 = \frac{c}{2\sqrt{JK}} \omega_0 \quad \text{або} \quad \beta\omega_0 = \frac{c}{2\sqrt{J} \cdot \sqrt{K}} \cdot \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{J}}.$$

Звідси

$$c = 2\omega_0 J \beta. \quad (12.6)$$

Отримаємо

$$J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\omega_0 \beta J \frac{d\varphi}{dt} + k\varphi = 0. \quad (12.7)$$

При $t = 0$ $\varphi = \varphi_0$.

Розв'язком рівняння (12.7) є вираз:

$$\varphi = \varphi_0 e^{-\beta \omega_0 t} \left[\frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin(\sqrt{1-\beta^2} t) + \cos(\sqrt{1-\beta^2} t) \right]. \quad (12.8)$$

Проаналізуємо отриманий вираз. При $t \rightarrow \infty$ $\varphi \rightarrow 0$, тобто згасання відбудеться при $t \rightarrow \infty$ (рис. 12.4), що неприйнятно.

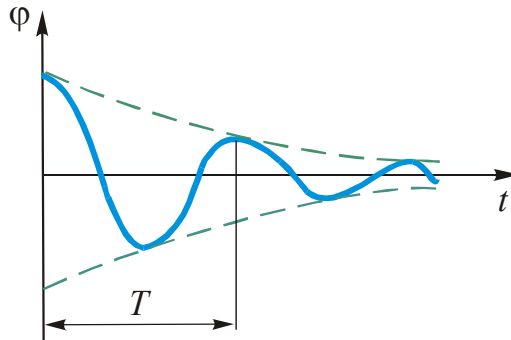


Рис. 12.4 Графік згасаючих коливань

Інтенсивність спадання амплітуди згідно (12.8) визначається величиною β (при $\beta = 0$ отримуємо незгасаючі коливання (дивитись рівняння (12.7))).

На практиці задаються деяким допуском $\Delta\varphi$ (рис. 12.5).

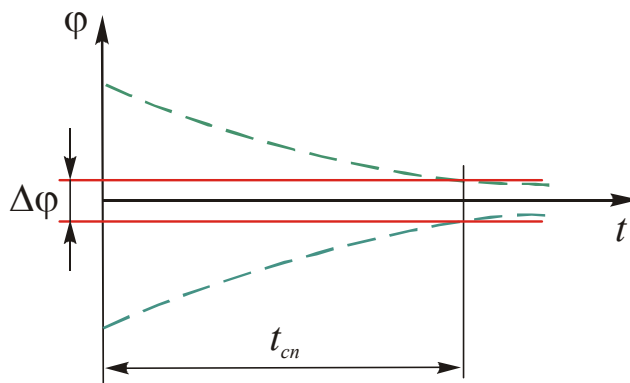


Рис. 12.4 Схема визначення допуску $\Delta\varphi$

При заданих параметрах β, J, k знаходять t_{cn} — час заспокоєння. В розрахунках, як правило, задається величиною $\beta = 0,6 \dots 0,8$.

Таким чином при розрахунках параметрів демпфера мають бути заданими (або підлягають визначенню) такі величини:

$$\beta, J, c, \lambda, t_{cn}.$$

Тут c — жорсткість пружини, якщо вона є в конструкції; $\lambda = \Delta\varphi/\varphi_0$ — допуск на відхилення.

Однією з відомих формул для визначення часу заспокоєння є *формула Арутюнова*:

$$t_{cn} = \frac{1}{\beta \omega_0} \ln \frac{1}{\lambda \sqrt{1-\beta^2}} = \sqrt{\frac{J}{k\beta^2}} \ln \frac{1}{\lambda \sqrt{1-\beta^2}}, \quad (12.9)$$

або з урахуванням, що $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$, а $\sqrt{\frac{k}{J}} = \omega_0$,

$$\frac{t_{cn}}{T} = \frac{\ln \frac{1}{\lambda \sqrt{1-\beta^2}}}{2\pi\beta}. \quad (12.10)$$

На рис. 12.6 зображений графік залежності (12.10) для допуску на відхилення $\lambda \approx 0,01$.

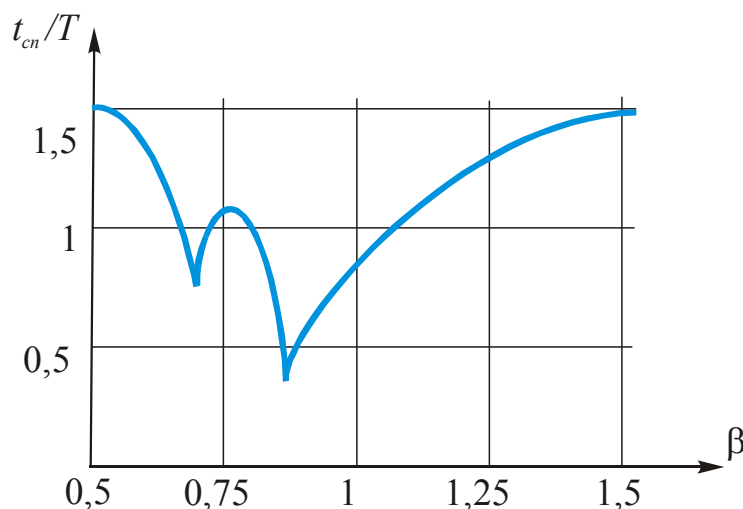


Рис. 12.6 Графік залежності (12.10) для допуску на відхилення $\lambda \approx 0,01$

Для пружинних демпферів можна скористатися *формулою Розумовського*. Згідно з цією формулою жорсткість пружини

$$c = \frac{2I}{t_y} \ln \lambda. \quad (12.11)$$

Тема 12.2. КОНСТРУКЦІЇ ГАСНИКІВ І АМОРТИЗАТОРІВ

12.2.1. Інерційні гасники

а) Коткові гасники (рис. 12.7).

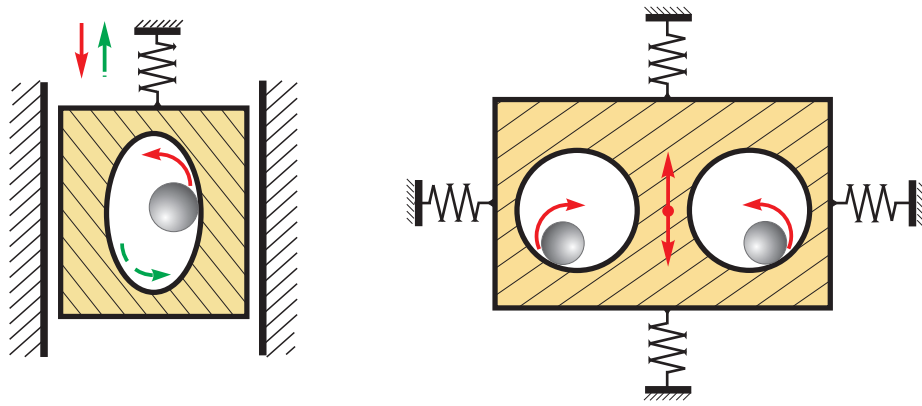


Рис. 12.6 Схеми коткових гасників

Форма отвору під коток має важливе значення. Так, якщо замість кола в перетині взяти витягнутий уздовж напрямку руху еліпс, то зростає роль вищих гармонік в спектрі реакцій гасника. Це є корисним у тих випадках, коли відповідні гармоніки присутні в коливальному процесі, який подавляється.

Конструкція гасника, представленого на правій схемі, на відміну від того, що зображений зліва, дозволяє обійтися без спрямовуючих, оскільки бічні сили у цьому випадку взаємно зрівноважуються.

б) Маятникові гасники (рис. 12.8).

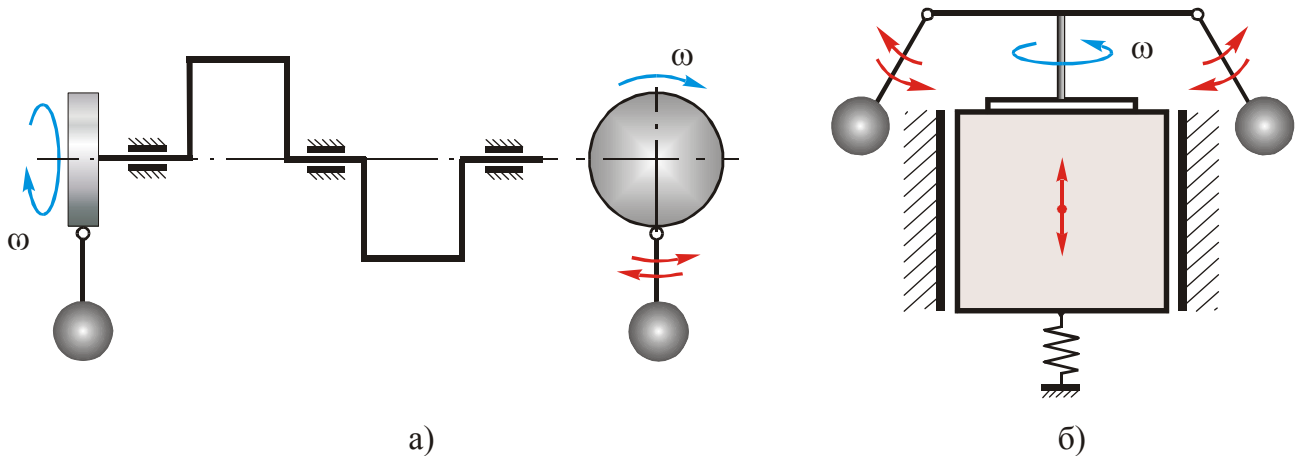


Рис. 12.8 Маятникові гасники: для гасіння крутильних (а) та поздовжніх (б) коливань

Тут наведені приклади гасників для придушення крутильних (рис. 12.8 а) і поздовжніх (рис. 12.8 б) коливань. Маятники знаходяться в полі дії відцентрових сил, пов'язаних з обертальним рухом об'єкта. Коливання швидкості обертання викликає і коливання величини і напрямку сил інерції, які, власне, і гасять небажані коливні процеси.

12.2.2. Повітряні демпфери

Демпфери такого типу використовують у вимірювальних приладах (рис. 12.9 і рис. 12.10).

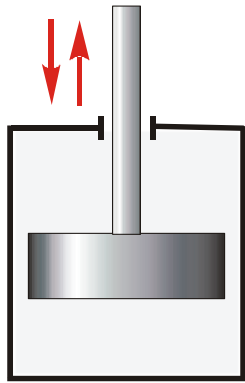


Рис. 12.9 Повітряний демпфер

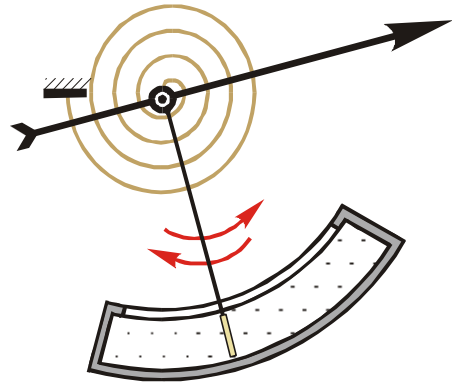


Рис. 12.10 Повітряний демпфер

12.2.3. Рідинні демпфери

На рис. 12.11 зображена конструкція демпфера, який містить регулювальний гвинт. За його допомогою змінюється величина опору перетіканню рідини по каналу і таким чином регулюється час заспокоювання.

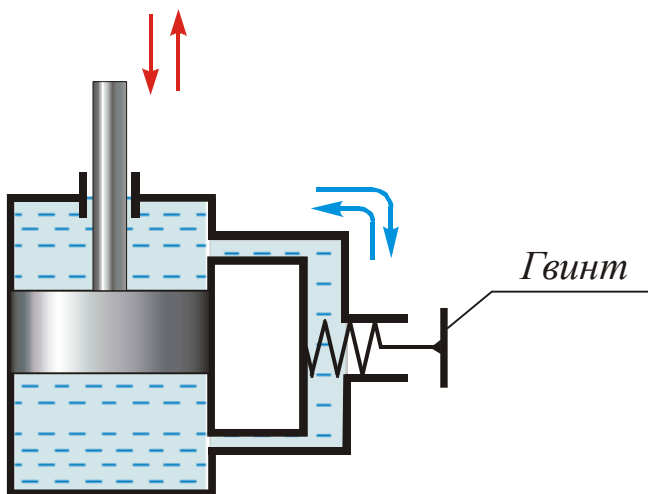


Рис. 12.11 Рідинний демпфер з регулювальним гвинтом

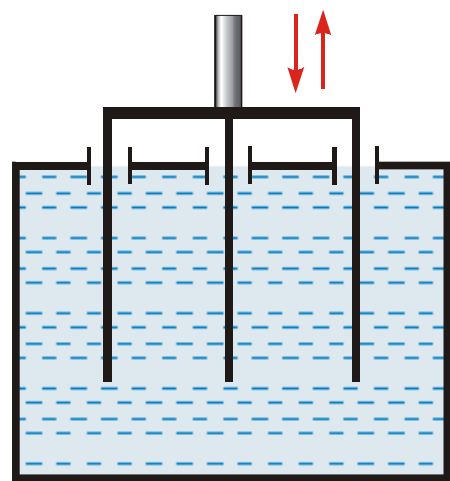


Рис. 12.12 Рідинний демпфер з пластинами

В конструкції, зображеній на рис. 12.12, гасіння відбувається за рахунок збільшення сили опору рідини при занурюванні пластин (чим більша глибина занурення, тим більшою буде поверхня контакту пластин з рідиною, а значить збільшується сила опору).

На рис. 12.13 зображена схема рідинного демпфера для гасіння крутильних коливань.

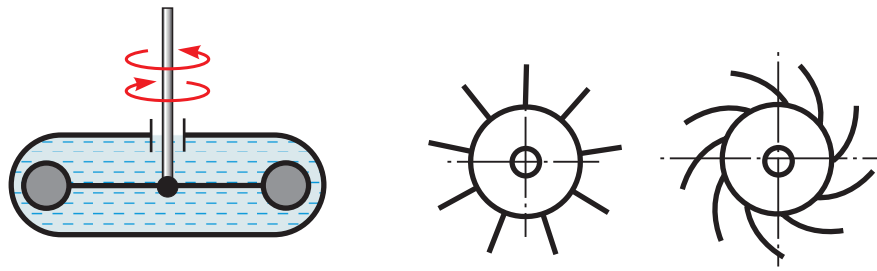


Рис. 12.13 Рідинний демпфер для гасіння крутильних коливань

Як видно з рисунка, змінюючи форму лопаток, можна регулювати силу опору переміщенню диска в рідині в залежності від напрямку його обертання в коливному процесі, а значить найоптимальніше підбирати необхідні параметри демпфера.

На рис. 12.14 зображена схема крапельного демпфера, який застосовується для заспокоєння рухомих об'єктів у дуже точних приладах, зокрема у фотопідсилювачах.

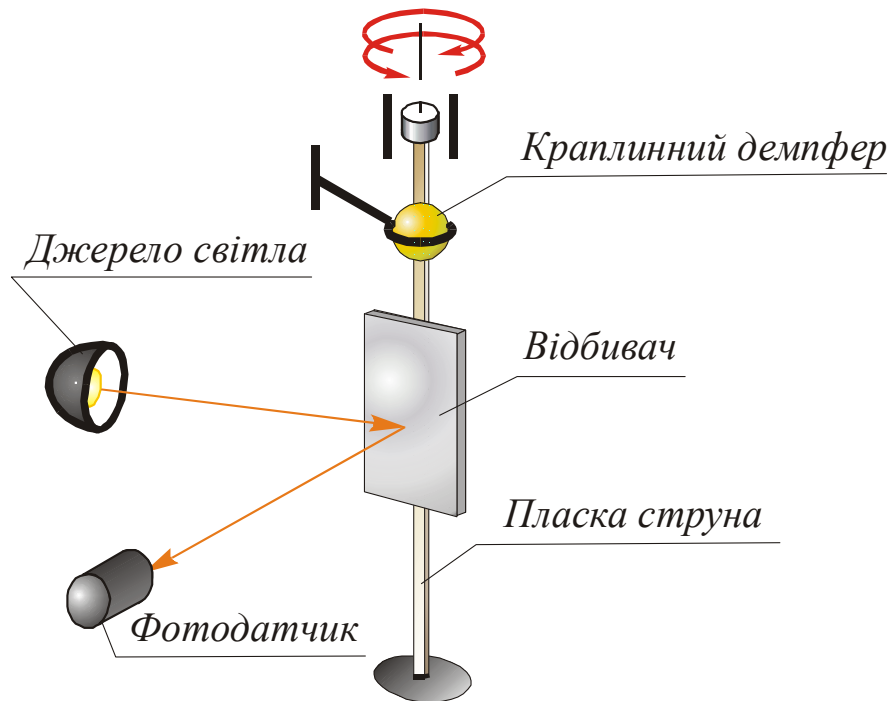


Рис. 12.14 Крапельний демпфер для гасіння крутильних коливань

12.2.4. Амортизатори

На відміну від демпферів, амортизатори призначені для гасіння великих швидкостей.

Амортизатори бувають гумові, пружинні (рис. 12.15), гумово-металічні, гумово-пружинні, пневматичні та ін.

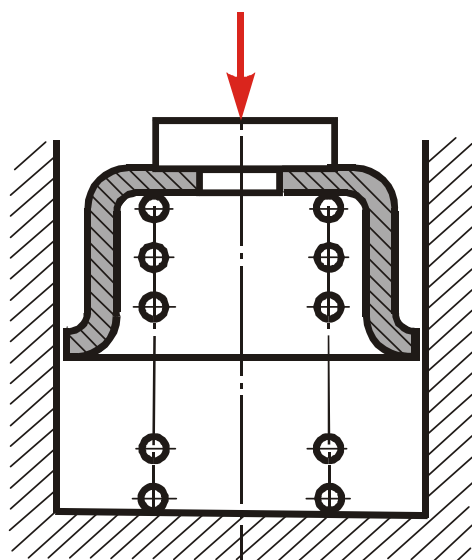


Рис. 12.15 Схема амортизатора

Література

1. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов.– 4-е изд., перераб. и доп.– М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.– 640 с.
2. Теория механизмов и механика машин / *Фролов К. В., Попов С.А., Мусатов А. и др.* – Учеб. для вузов: 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 496 с.: ил.
3. *Левитская О.Н., Левитский Н.И.* Курс теории механизмов и машин: Учебн. Пособие для мех. спец. вузов. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 279 с.: ил.
4. *Попов С.А.* Курсовое проектирование по теории механизмов и механике машин: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1986. – 295 с.: ил.
5. Профілювання циліндричного евольвентного зачеплення з використанням персональних ЕОМ. Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Теорія механізмів і машин» / Уклад.: О.П. Заховайко, Овсієнко О.Б., Протащук О.М., Грабовський А.П.. – К.: НТУУ «КПІ», 2000. – 40 с.
6. Теорія механізмів і машин/ А.С.Кореняко; Під ред. М.К.Афанасьєва.-К.: Вища шк. Головне вид-во, 1987.- 206с.

Додаткова література

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни „Теорія механізмів і машин” для студентів технічних спеціальностей усіх форм навчання / Уклад.: О.П.Заховайко, О.І. Дубинець. – К.: ІВЦ „Видавництво „Політехніка”, 2002. – 76 с.
2. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Кореняко А.С. и др.- "Вища школа", 1970, 332 с.
3. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин :Учебное пособие для вузов. – 2 – е изд. перераб. и доп. – М. :Наука. Гл. ред. физ. –мат. лит. ,1990. – 592 с.
4. Сборник задач по теории механизмов и машин / И.И. Артоболевский, Б.В. Эдельштейн, Главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука", 1975. – 256 стр.
5. Курсове проектування з теорії механізмів і машин: учбовий посібник / Є.І.Крижанівський, Б.Д.Малько, В.М.Сенчікаш та ін.- Івано-Франківськ: 1996.- 357с.
6. Kinematic design of machines and mechanisms / Homer D. Eckhardt. – New York etc.: McGraw-Hill, 1998. – 621 p.
7. Forming of Involute Gearing: Instructions on term project hpreparation on the discipline “Theory of Mechanisms and Machines” for international students of

engineering specialities / Уклад.: О.П. Заховайко. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 48 с.

8. Theory of Mechanisms and Machines: Instructions on laboratory works procedure for international students of engineering specialities /Уклад.: О.П. Заховайко, О.І. Дубинець, Ю.М. Сидоренко. – К.:НТУУ «КПІ», 2006. – 88 с.