

Congress on Sound and Vibration (ICSV-16), July 5–9, 2009, Krakow, Poland.– Paper 785. 7. Conlon S.C., Hambric S.A. Damping and induced damping of a lightweight sandwich panel with simple and complex attachments, *Journal of Sound and Vibration* 322 (2009) 901–925. 8. Thompson D.J. A continuous damped vibration absorber to reduce broad-band wave propagation in beams, *Journal of Sound and Vibration*. 311 (2008) 824–842. 9. Thamburaj P. and Sun Q. Optimization of anisotropic sandwich beams for higher sound transmission loss. *Journal of Sound and Vibration*, (2002) 254(1), 23–36. 10. Renji K. Sound transmission loss of unbounded panels in bending vibration considering transverse shear deformation, *Journal of Sound and Vibration*. 283 (2005) 478–486. 11. Melnyk M., Diveyev B., Malcolm J. Crocker Vibration damping and sound transmission of sandwich beams with micro and macro inclusions (в друкі). 12. Timoshenko S.P. (1922) On the transverse vibrations of bars of uniform cross-section. *Philosophical Magazine* 43: 125–131.

УДК 621.01

Б.М. Дівесв¹, І.С. Керницький², В.М. Лебіга³

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра транспортних технологій,

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa,

³Державний університет безпеки життєдіяльності, Львів

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ДИНАМІЧНИХ ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ РІЗНИХ ТИПІВ

© Дівесв Б.М., Керницький І.С., Лебіга В.М., 2011

Розглянуто методи розрахунку й оптимізації конструкції динамічних гасників коливань (ДГК). Подано дискретно-континуальні моделі динамічних систем: обертових машин, віброзахисних платформ, подовгастих елементів колісних машин – ДГК. Описано малопараметричні схеми аналізу вібрації та генетичних алгоритмів оптимізації. Показано приклади оптимальних конструкцій ДГК.

The paper deals with the methods of calculation and optimization of constructions with the dynamic vibration absorbers (DVA). The discrete-continue models of dynamic systems: rotating machines, vibro protection plates, wheel machines elongated elements – DVA’s are offered. Few parameters numerical schemes of vibration analysis and genetic optimization algorithms are under discussion. Examples of optimal DVA’s designs are presented.

Вступ. Важливим питанням розроблення сучасних машин та споруд є зменшення вібрації та шуму. Традиційні методи вібро- та шумоізоляції часто недостатньо ефективні, особливо для таких класів технічних об’єктів, як обприскувачі з великогабаритною штангою, пожежні машини з великогабаритною стрілою, турбіни, насоси, дисководи, мікроелектронні плати, висотні споруди, звукозахисні панелі та бар’єри. Ефективним у цьому випадку може стати застосування динамічного гасника коливань (ДГК).

Аналіз останніх досліджень. У динаміці складних конструкцій багато уваги приділяється методам конденсації систем рівнянь високого порядку, що охоплюють широкий частотний спектр [1-3]. ДГК широко застосовують в техніці [1–6]. За широкого частотного спектра зовнішніх збурень, викликаних різноманітними чинниками, можливе виникнення резонансних коливань. Тому актуальними стають дискретно-континуальні моделі [7, 8], що враховують гнучкість елементів конструкції, а особливо гнучкість великогабаритних подовгастих штанг обприскувачів, стріл пожежних машин, веж пересувних бурових установок тощо. У [9–10] наведено приклади розрахунку та оптимізації машин та оптимізації ДГК пружного, маятникового, віброударного типу,

приєднаних до подовгастих елементів для різного типу машин. У [11–13] є приклади розрахунку та оптимізації переважно пластинчастих ДГК для обертових машин, а також алгоритми уточненого розрахунку конструкції ДГК.

В інженерних розрахунках для аналізу таких задач звичайно застосовують метод скінченних елементів (МСК). Проте на основі цього методу отримують багатопараметричні розрахункові схеми, які важко аналізувати. У [9–13] запропоновано адаптивний метод розрахунку складних конструкцій з використанням МСК на початковому етапі для визначення форм та частот коливань елементів конструкцій, які моделюються континуальними схемами. Цей спосіб дає змогу одержати малопараметричні моделі, доступні для аналізу.

ДГК для подовгастих елементів. Розглянемо просту розрахункову схему консольного стержня змінного перерізу з ДГК (рис. 1), а саме двосекційну розрахункову модель.

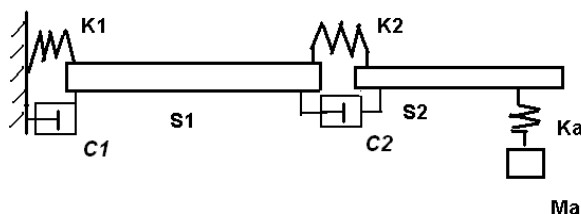


Рис.1. Розрахункова схема коливань двосекційної штанги обприскувача з ДГК:

S_i – секції, K_i – пружини, C_i – демпфери

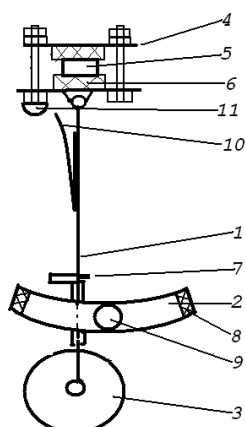


Рис.2. Конструкція ДГК комбінованого ударно-маятничового типу 1 – стержень маятника; 2 – основна вібропоглинальна маса ДГК у вигляді контейнера; 3 – колесо; 4 – вузол еластичного приєднання ДГК до основної конструкції; 5 – стержень основної конструкції; 6 – пружна обойма; 7 – пристрій регулювання висоти контейнера (додаткова регуляція ДГК); 8 – пружні торцеві вставки; 9 – ударна маса всередині контейнера; 10 – плоска пружина змінної жорсткості; 11 – упор

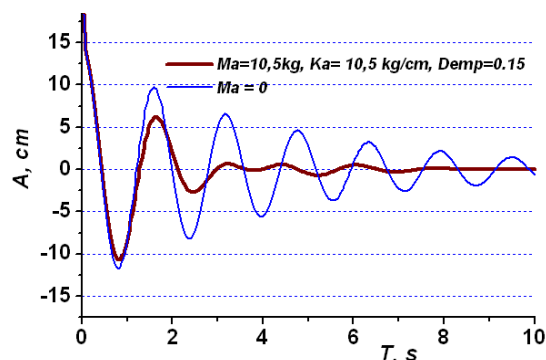


Рис.3. Характер затухання коливань з оптимальним ДГК та без ДГК ($Ma=0$)

Кінематичні гіпотези візьмемо тепер для подовгастих елементів – секцій стержня у вигляді

$$W_1 = q_1(t)Y_1(x) + U_0, W_2 = W_1 + q_2(t)Y_2(x) + U_0. \quad (1)$$

Рівняння динамічної рівноваги одержимо на основі варіаційного рівняння Гамільтона–Остроградського у вигляді системи рівнянь на q_i та переміщення ДГК [9–19].

$$M \frac{d^2 q}{dt^2} + C \frac{dq}{dt} + Kq = b, \quad (2)$$

де $q = (q_1, q_2, q_A)^T$ – вектор невідомих; M – матриця мас; C – матриця в'язкого демпфування, K – матриця жорсткості; v – вільний член. На рис. 2 показано оптимізовану конструкцію ДГК комбінованого ударно-маятникового типу, суміщену з ударозахисним механізмом для великогабаритної штанги.

На рис. 3 показано характер затухання у схемі рис. 1–2 при ударному збуренні за відсутності й за наявності ДГК.

ДГК для обертових машин. Для обертових машин усіх типів корисним є встановлення ДГК на систему опор [11–13]. У всіх випадках під час розв'язання задачі оптимального проектування ДГК виникає задача оптимізації його конструкції. Виділимо основні критерії оптимальності конструкції ДГК (рис. 4).

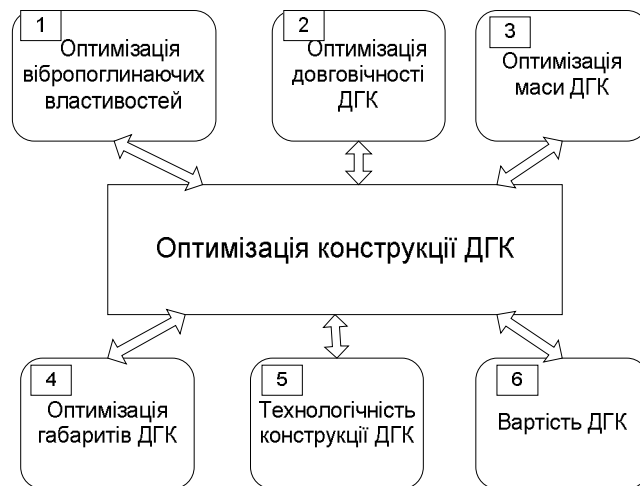


Рис.4. Схема оптимізації конструкції ДГК

Це далеко не повний перелік критеріїв оптимальності. Його, як і у випадку будь-якої конструкції, можна доповнити ще іншими, наприклад, ремонтоздатністю, естетикою дизайну тощо. На наш погляд, не останнє місце займає і такий критерій, як простота конструкції, що, своєю чергою, дає змогу на проектному етапі спрогнозувати значення конструктивних параметрів ДГК. Найважливіший критерій 1 (рис. 4). Цей критерій дуже об'ємний. Він може складатися з критерію віброзахисту в деякому вузькому робочому діапазоні частот. Але найчастіше у зв'язку з умовами експлуатації машин, коли частота, що превалює, дрейфує, на перше місце виходить здатність ДГК ефективно працювати в широкому діапазоні частот. Мало уваги дослідники звертають уваги на таке питання, як довговічність конструкції ДГК. По суті, пружні елементи ДГК для досягнення ефективного вібропоглинання повинні працювати за максимальних амплітуд коливань в зоні максимально допустимих напружень.

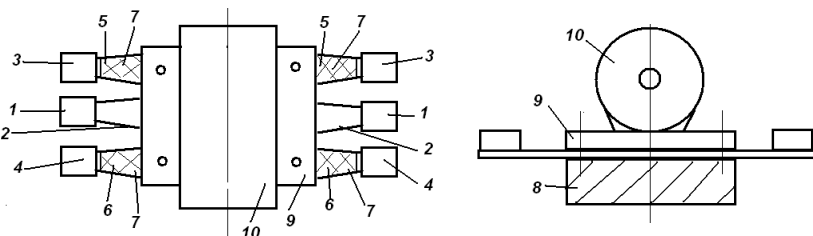


Рис. 5. Багатомасовий ДГК, приєднаний до платформи обертової машини: а – вид зверху; б – вид збоку

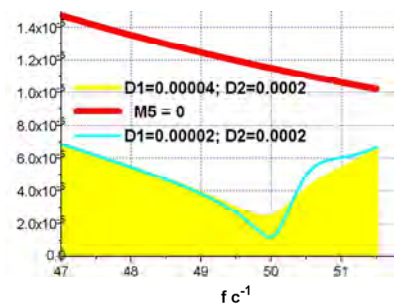


Рис.6. АЧХ за відсутності і за наявності оптимізованого ДГК

На рис. 5: 1 – основна інерційна маса вібропоглинача; 2 – пружний пластинчастий елемент; 3, 4 – інерційні маси додаткових вібропоглиначів; 5, 6 – пружні пластинчасті шаруваті елементи додаткових вібропоглиначів; 7 – спеціальне вібропоглинальне покриття додаткових пружних пластин; 8 – фундамент; 9 – фундаментна плита роторної машини; 10 – роторна машина.

На рис. 6 наведено АЧХ для оптимізованого на основі генетичних алгоритмів ДГК ([11–13]). Тут верхня товста крива – це АЧХ без ДГК. Наведені два приклади оптимізованих ДГК з різним в'язким демпфуванням D1, D2 додаткових ДГК 3,4. Оптимізовані мультимасові ДГК мають гладкіші вібропоглинальні характеристики без небезпечних білярезонансних зон підсилення коливань.

Висновок. Для зменшення рівнів вібрації машин доцільно застосовувати ДГК. Щоб вирішити завдання оптимального проектування конструкції ДГК, треба розв'язати деякі інженерні задачі: оптимізація вібропоглинальних властивостей ДГК у достатньо широкому частотному діапазоні, довговічність конструкції, габарити, вартість. Наведено приклади конструкцій ДГК, що мають перевагу над деякими широкоживаними. Ці конструкції ДГК можна застосувати і як основу конструкції адаптивних ДГК.

1. Тимошенко С.П. *Колебания в инженерном деле.* – М.: Наука, 1967. – 444 с. 2. Hurty W.C. *Dynamic Analysis of Structural System Using Component Modes* // *AIAA Journal*, Vol. 3, No.4, 1965. – P. 678–685. 3. Богомолов С.И., Журавлева А.М. *Колебания сложных механических систем.* – Харьков, 1979. – 136 с. 4. *Вибрации в технике. Т.6. Защита от вибрации и ударов.* – М.: Машиностроение. 1981. – 456 с. 5. Den Hartog, J. P. (1956), *Mechanical Vibrations (4th edition)* Mc Graw-Hill, New York. 6. Дівеєв Б.М. *Оптимізація процесів віброзахисту на основі напівавтоматичного гасника коливань* // *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні.* – 2005. – № 39. – С.71–76. 7. Гащук П., Вікович І., Дівеєв Б. *Застосування дискретно-континуальних дискретних схем для визначення вібронапружень в механічних конструкціях* // *Труди Одеського політехнічного університету.* – 1999. – Вып. 2 (8). – С. 34–41. 8. Дівеєв Б.М. *Раціональне моделювання динамічних процесів у складних конструкціях* // *Вісн. Національного університету “Львівська політехніка” “Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні”.* – Львів. – 2007. – № 41. – С.103–108. 9. Дівеєв Б.М., Грицай В.Я., Коваль Т.Б. *Взаємодія подовгастого елемента конструкції з динамічними гасниками коливань маятникового типу з ударною масою* // *Вісн. Національного університету “Львівська політехніка” “Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні”.* – Львів, 2009. – № 43. – С.66–75. 10. Diveyev B., Hrycaj V., Koval T., Teslyuk V. *Pendulum type dynamic vibration absorber applications* // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”.* – Львів, 2009. – № 651. – С. 15–79. 11. Ivan Kernytskyu, Bohdan Diveyev, Jurij J. Vybranets, Nazar Kernytskyu. *Using of dynamic vibration absorbers for regulation of vibrating compactor vibration properties.* *Acta Scientiarum Polonorum Architectura (Budownictwo)* 7 (3). – 2008. – P. 43–50. 12. Дівеєв Б.М., Керницький І.С., Смольський А.Г., Вибранець Ю.М. *Точний спосіб розрахунку консольного динамічного гасника коливань* / *Наук.-вироб.журнал.* – Львів В-во “ВМС”, 2008. – С.45–48. 13. Дівеєв Б.М., Глобчак М.В., Козут І.С., Максимович Б.Ю. *Налаштування динамічних характеристик пружних пластинчастих елементів динамічних гасників коливань* // *Вісн. Національного університету “Львівська політехніка”* // *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні.* – Львів, 2010. – № 679. – С.49–55.