

Гальмування вантажів аеродинамічними упорами

А.І. Соколенко, д.т.н., К.В. Васильківський, к.т.н., М.І. Юхно, к.т.н., Ю.А. Холодний, Національний університет харчових технологій, м. Київ

Рух матеріальних потоків або окремих вантажів — це наслідок їхньої взаємодії з енергетичними потоками або енергетичними імпульсами. Однією з першопричин, яка визначає характер і закономірності таких взаємодій, є те, що вони відбуваються в гравітаційному полі. До такого висновку можна дійти на основі порівнянь нашого світу і світу небесних тіл. Щодо останніх рух цілих світів програмується на сотні і тисячі років наперед, однак перебіг навіть погодних умов на дві доби на Землі далеко не завжди вдається передбачити. Проте без сумнівів слід погоджуватися з тією думкою, що рух атомів і молекул на Землі і в космічному просторі підкоряється однаковим законам. Але ж відмінності потребують пояснень. Останнє зводиться лише до одного процесу тертя в розгорнутому розумінні. У загальному уявленні тертя — це процес виділення теплоти між двома твердими поверхнями окремих тіл за їхнього відносного переміщення. Проте теплота генерується в режимах взаємодії рідинних або газових потоків із трубами, за утворення вихорів тощо. Тертям можна назвати і виділення теплоти в мережі, по якій проходить електричний струм.

Накладаючись на ідеальні процеси — абстракції, дослідження яких викладені в класичній механіці, електродинаміці, термодинаміці, тертя різко змінює картину ідеального світу.

Дійсно, у повній відповідності до закону збереження енергії, всі форми руху можуть скільки завгодно довго і без найменших втрат переходити з однієї форми в іншу. Однак якщо в ланцюг, що складається з механічних, електромагнітних, хімічних та інших елементів, включено ланку з тертям, електричним опором або теплопровідністю, то результат змінюється. Кожна з таких ланок є своєрідним вловлювачем, у якому різні форми руху перетворюються в теплоту. Але це перетворення принципово відрізняється від інших тим, що воно ніколи не може бути повністю зворотним. Саме тому існування такої ланки приводить до того, що процес у ланцюгу затухає, і тим швидше, чим більше тертя. У дійсності ідеальні елементи, у яких тертя було б відсутнім повністю, не існують, тому з певною інтенсивністю виділяється теплота і всякий процес поступово з часом затухає. Таким чином, тертя, що генерує в ланцюгу тепловий рух, робить цей процес незворотним. Саме ця незворотність визначає фундаментальний розподіл між уявним ідеальним світом, у якому всі процеси повністю зворотні і нескінченні, і реальним, у якому всі процеси більшою або меншою мірою незворотні.

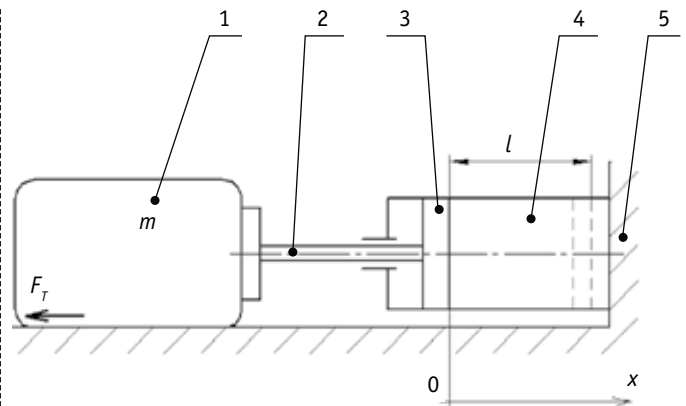


Рис. 1. Схема розрахунку системи з аеродинамічним пружним упором

Пакувальна індустрія стала невід'ємною частиною життя суспільства. А тому і процеси, і обладнання для пакування підкоряються тим самим законам фізики та філософії.

Достатньо великий клас пакувального обладнання має у своєму арсеналі вузли, що здійснюють операцію гальмування. Це характерно для обладнання групового пакування та створення збільшених вантажних одиниць і може передувати операціям переорієнтування, накопичення, формування масивів тощо. Операція гальмування може бути реалізована з використанням пружних елементів. Але така технічна система має суттєвий недолік — виникнення коливальних процесів. Тому все частіше конструктори пакувального обладнання переходять на використання гідравлічних або повітряних демпферів.

Математична формалізація в описі процесів динаміки пакувальних машин у більшості випадків поділяється на дві частини, які стосуються ідеальних уявлень і випадків незворотних процесів [1–3]. Використання ідеалізованих моделей супроводжується зростанням числа похибок, які є своєрідною «платою» за означені спрощення. Так, щодо пружних зв'язків, які входять до двомасових або кількामасових моделей, використовують такі припущення:

- вважається, що пружні елементи мають настільки обмежені маси, що ними нехтують;
- зусилля, що розвиваються у пружних елементах, пропорціональні деформаціям (закон Гука);
- відсутність урахування затухаючого характеру коливальних процесів не впливає на перші кілька пікових навантажень у пружних елементах.

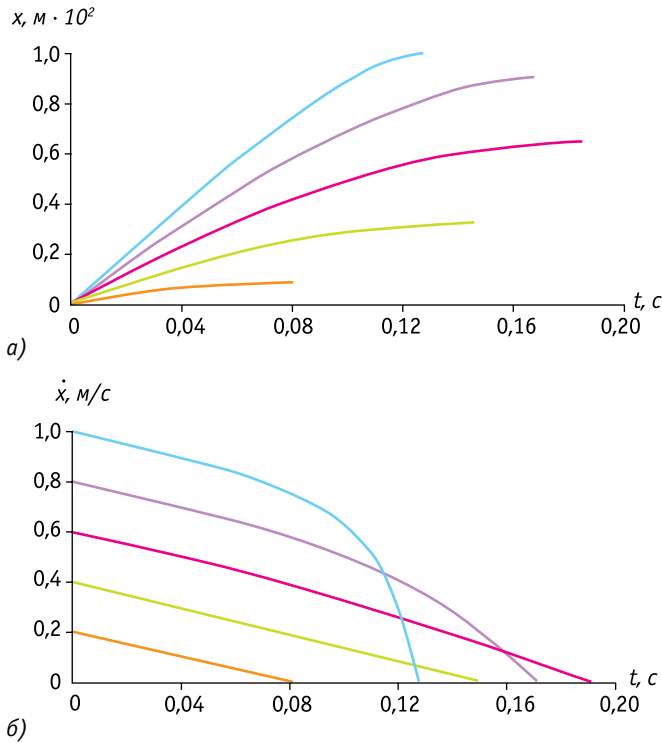


Рис. 2. Залежність переміщень (а) і швидкостей (б) вантажів у взаємодії з аеродинамічними упорами від часу за різних початкових швидкостей v , м/с: 1,0 (—), 0,8 (—), 0,6 (—), 0,4 (—), 0,2 (—)

Нааявність другого із числа названих припущень означає напрям у бік створення лінійних диференціальних рівнянь руху в математичних формалізаціях.

У цій статті наведено результати досліджень щодо вивчення динаміки пакувальних машин у процесах взаємодії мас, з'єднаних пружними елементами, які представляють повітряні демпфери.

Схема для розрахунку взаємодії рухомої маси з аеродинамічним демпфером-упором наведена на рис. 1. Відповідно до неї, вантаж 1 масою m входить у контакт з упором 2, що з'єднаний з поршнем 3 пневмоциліндра 4. Останній жорстко з'єднаний із стояком 5. Внутрішній об'єм пневмоциліндра 4 виконано герметизованим.

Повний об'єм газової фази у пневмоциліндрі позначимо як V_0 , і при цьому:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} l, \quad (1)$$

де d — внутрішній діаметр пневмоциліндра, м;
 l — довжина пневмоциліндра, м.

Переміщення маси m збільшує тиск у пневмоциліндрі. Знайдемо залежність між тисками і координатами переміщення поршня. Вважаючи процес стискання адіабатним, запишемо:

$$\frac{P_i}{P_0} = \left(\frac{V_0}{V_i} \right)^k, \quad (2)$$

де P_i — поточний тиск у системі, Па;
 P_0 — початковий тиск у демпфері, Па;
 V_0 — об'єм демпфера на початку процесу, м³;

V_i — поточний об'єм стиснутого повітря демпфера, м³;
 k — константа адіабати.

Оскільки:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} l \text{ і } V_i = \frac{\pi \cdot d^2}{4} (l - x), \quad (3)$$

де x — поточна координата, м, маємо поточний тиск у системі, Па:

$$P_i = P_0 \left(\frac{V_0}{V_i} \right)^k = P_0 \left(\frac{l}{l - x} \right)^k. \quad (4)$$

Тоді за створюваних тисків P_i опір переміщенню упора становитиме, Н:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} P_i = \frac{\pi \cdot d^2}{4} P_0 \left(\frac{l}{l - x} \right)^k, \quad (5)$$

а рівняння руху маси m записуємо у формі:

$$m\ddot{x} = -fmg - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot P_0 \left(\frac{l}{l - x} \right)^k. \quad (6)$$

Одержана умова є нелінійним диференціальним рівнянням, аналіз якого виконаємо на основі числових методів розв'язання.

Початкові умови рівняння (6) враховують ту обставину, що маса m на початку взаємодії з упором має такий рівень кінетичної енергії, Дж:

$$E_k = \frac{m\dot{x}^2}{2},$$

де $\dot{x} = v$ — швидкість переміщення вантажу, с.

Звідси маємо: $t_{(n)} = 0$; $x_{(n)} = 0$; $\dot{x}_{(n)} = v$.

В умові (6) складова сили опору $-fmg$ записана для випадку, коли опорна площа є нерухомою.

Оскільки завданням дослідження обрано визначення властивостей аеродинамічних упорів, то повернемося до аналізу рівняння (6). Його розв'язання виконаємо за таких даних:

$$d = 0,025 \text{ м}; k = 1,4; l = 0,1 \text{ м}; g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$P_0 = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Па}; f = 0,1; m = 100 \text{ кг};$$

$$v = (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0) \text{ м/с}.$$

Розв'язання представлено у формі графіків залежностей $x = x(t)$ та $\dot{x} = \dot{x}(t)$ (рис. 2). З їхнього аналізу витікає, що на ефект гальмування впливає значення співвідношення між силою тертя і силовою дією з боку упора. Завершеною взаємодії відповідає значення швидкості $\dot{x}_{(k)} = 0$, та із збільшенням початкової швидкості вантажу роль упора як гальмівного елемента зростає.

До такого висновку доходимо на основі оцінки часу завершення процесу, який із збільшенням початкової швидкості v від 0,1 до 0,6 м/с зростає, але за подальшого зростання швидкості контактування вантажу з упором до 0,8–1,0 м/с час вибігу зменшується, однак величина самого вибігу зростає в усьому діапазоні збільшення швидкості v .

За значень $v = 0,2, 0,4$ та $0,6$ м/с швидкість вибігу відображається практично лінійними залежностями, але із зростанням швидкостей контактування вони стають суттєво нелінійними. Це означає, що у першому випадку переважає

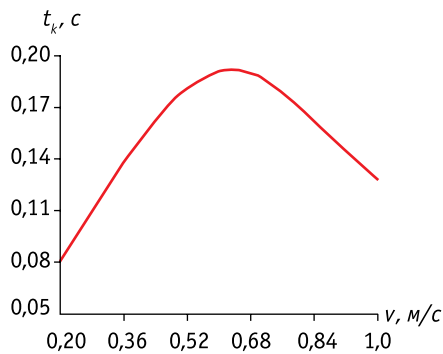


Рис. 3. Залежність часу вибігу від початкової швидкості контактування вантажу з упором

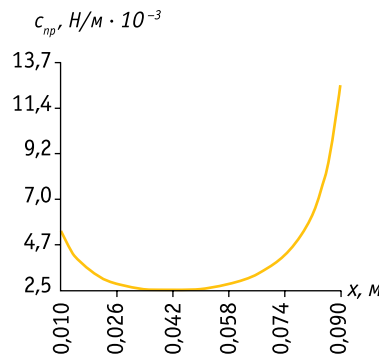


Рис. 4. Графічна залежність $c_{np} = c_{np}(x)$

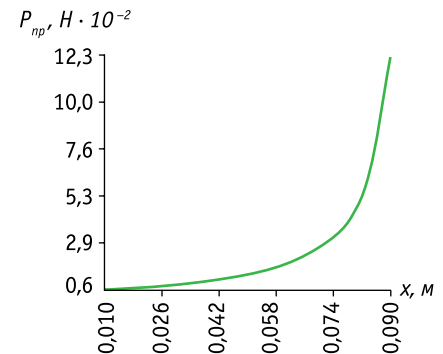


Рис. 5. Графічна залежність $P_{np} = P_{np}(x)$

вплив сили тертя, але із зростанням величини вибігу перевага впливу переходить на бік демпфера. На рис. 3 наведено залежність часу вибігу вантажу від початкової швидкості їхнього контактування з упором.

Для оцінки рівня нелінійності «жорсткості» упора звернемося до поняття жорсткості, яке використовується в механіці. Це відношення силової дії до деформації пружного елемента, яка нею викликається. На основі такого визначення можемо записати вираз, який у нашому випадку відповідає поняттю жорсткості, Н/м:

$$c_{np} = \frac{\pi \cdot d^2}{4x} P_0 \left(\frac{l}{l-x} \right)^k$$

Результати розрахунків залежності $c_{np} = c_{np}(x)$ наведені на рис. 4.

З наведених залежностей видно, що «жорсткість» аеродинамічних упорів визначається їхніми геометричними параметрами і тиском P_0 . Це означає можливість значного діапазону варіацій c_{np} і перспектив використання аеродинамічних пружних упорів.

На рис. 5 відображені розрахунки з визначення силової взаємодії між вантажем і упором $P_{np} = P_{np}(x)$.

Висновки

Аналіз одержаних математичних моделей і виконані розрахунки дають можливість відмітити таке:

- аеродинамічні пружні упори характеризуються жорсткостями, які є нелінійними і залежними від величини вибігу вантажів за інших рівних умов;
- за вибігу вантажів по нерухомих опорних площинах і контактування з аеродинамічними упорами існує два етапи, яким відповідає нерівність між складовими fmg і реакцією з боку упора;
- порівняння параметрів вибігу за аеродинамічних і пружних упорів показує можливість розширення діапазонів перших за часом вибігу і силовими проявами за рахунок варіацій геометричних параметрів. Зростаючий характер жорсткості аеродинамічного упора дає можливість реалізувати різні закони руху в режимах вибігу вантажів;

- змінні значення об'ємів повітряних камер аеродинамічних упорів означають можливість розширення реалізації різних законів руху в режимах вибігу і забезпечення точності позиціонування виробів.

Література

1. Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А. та ін. Моделювання процесів пакування. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 272 с.
2. Бондаренко А.А., Дубінін О.О., Переяславцев О.М. Теоретична механіка. — Частина 2. Динаміка. — К.: Знання, 2004. — 590 с.
3. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах. — К.: Наук. думка, 1986. — 288 с. *Ж*

Торможение грузов аэродинамическими упорами

А.И. Соколенко, д.т.н., К.В. Васильковский, к.т.н., М.И. Южно, к.т.н., Ю.А. Холодный

Режимы выбега происходят в механических системах машин-автоматов, их рабочих органов или отдельных грузов. Организация таких процессов осуществляется на основе сил или моментов сил трения с диссипативным рассеиванием при преобразовании кинетической энергии в тепловую. Одним из направлений совершенствования процессов выбега является использование аэродинамических упоров с переменными параметрами жесткости. Авторами разработаны математические модели систем взаимодействия грузов с аэродинамическими упорами, выполнен анализ процессов с определением кинематических и динамических параметров. Выполнено сравнение систем с аэродинамическими упорами и систем с линейными упругими упорами.

Ключевые слова: упор; давление; система; энергия; теплота; перемещение; параметр.

Inhibition of transport aerodynamic stops

A.I. Sokolenko, Dr., K.V. Vasilkovsky, Ph.D., M.I. Yuhno, Ph.D., Y.A. Holodny

Braking modes occur in mechanical systems of automatic machines, their working groups or individual loads. The organization of such processes is based on the friction with a dissipative scattering when converting kinetic energy into heat. One of the areas of process improvement is the use of run-on aerodynamic stops with variable stiffness parameters. Developed mathematical models systems of interaction with aerodynamic stops, the analysis process with the definition of the kinematic and dynamic parameters. Implemented comparison of the systems with the aerodynamic stops and systems with linear elastic stops.

Key words: stop; pressure; system; energy; warmth; moving; parameter.