УДК 621.867

В. О. Малащенко*, П. С. Коруняк, І. І. Ніщенко*****
*Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра деталей машин;
**Львівський національний аграрний університет,
кафедра машинобудування;
***Національний університет України "Київський політехнічний інститут",
кафедра математичних методів захисту інформації

ДИНАМІКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПІДІЙМАННЯ ШТУЧНИХ ВАНТАЖІВ

© Малащенко В. О., Коруняк П. С., Ніщенко І. І., 2016

Розглянуто закономірності та умови вертикального підіймання штучних вантажів за рахунок створення коливних процесів ворсу, що закріплений у середині спеціального трубопроводу. Установлено математичні залежності, що описують вертикальний рух штучних вантажів.

Ключові слова: вертикальний підйом, коливні процеси ворсу трубопровода.

The regularities and conditions for vertical lifting unit loads by creating oscillating processes pile that is fixed in the middle of a special pipeline. Established mathematical dependences describing the vertical movement of unit loads.

Key words: vertical lifting, oscillating processes pile of a special pipeline.

Постановка завдання. Сучасна промисловість характеризується високим рівнем автоматизації виконання технологічних операцій у виробництві будь-якої продукції. Однією із найважливіших таких операцій є переміщення як сипких матеріалів, так і окремо взятих виробів або їх деталей не лише у горизонтальному, але і в інших напрямках, зокрема і вертикальному.

Відомі транспортні пристрої, де вантажний потік може рухатись як горизонтально, під кутом до горизонту, так і вертикально. Вони призначені для переміщення штучних виробів (деталей, складальних одиниць або заготовок) для подачі їх до технологічного або складального обладнання [1]. Транспортування у вертикальній площині може здійснюватись завдяки робочому елементу (стрічки, каната, ланцюга, комбінованого елемента, шнека, труби) або середовища (повітря, вода) чи явища (електромагнітного поля, вібрації) [2–4].

Підвищення ефективності виробничих процесів та виконання конкретних технічних завдань ставить перед інженерно-конструкторським колективом завдання, розв'язок яких приводить до появи нових конструкцій машин. Не винятком у цьому випадку є засоби переміщення матеріалів і вантажів. Як показує досвід, вибір засобів переміщення вантажів, зокрема у вертикальній площині, залежить насамперед від його виду, технологічного призначення, техніко-економічних показників виробництва.

На основі проведеного аналізу їх конструкцій та патентного пошуку можна зробити висновки, що робочий процес переміщення вантажів у вертикальній площині у зв'язку з його широким розмаїттям вибору конструктивного рішення, є предметом наукових досліджень, а скерованість конструкторів на модернізацію цих засобів переміщення, насамперед з метою підвищення ефективності використання енергетичного коефіцієнта корисної дії та зменшення матеріаломісткості обладнання, завжди залишається актуальним завданням машинобудування. Усе це говорить про необхідність займатися цим питанням, тому що навіть незначне покращання цих показників дає значний економічний ефект.

Мета роботи – покращання процесу транспортування штучних матеріалів у вертикальній площині з використанням коливних явищ пружних елементів ворсу з потрібними динамічними характеристиками.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Виклад основного матеріалу. Оскільки у цій роботі розглядаються штучні вантажі (вироби, деталі, заготовки) та засоби для завантаження технологічного обладнання (металооброблювальні верстати, складальне обладнання, контрольно-вимірювальні пристрої тощо), тут основну увагу приділяють вертикальним підйомникам [1, 4]. Тому, як **об'єкт дослідження,** прийняті вібраційні підйомники як пристрої, що відрізняються від інших простотою конструкції та ефективністю їхньої роботи. Принцип переміщення виробів у вібраційних підйомниках аналогічний до звичайного вібротранспортування [5]. Проте на стадії проектування вимагають від конструкторів точності розрахунків.

У запропонованому пристрої як вантажонесучий орган підйомника прийнята вертикальна трубка, внутрішня поверхня якої покрита консольними пружними елементами (рис. 1). Пружні властивості цих елементів і тертя, що виникає між ними та поверхнями рухомого вантажу, створюють умови для вертикального транспортування вантажу догори. Ці елементи можуть виготовлятися як із пружної сталі, так і з неметалів у вигляді ворсу. Необхідно зауважити, що крок закріплення пружних елементів у вертикальному напрямку повинен бути співрозмірним з амплітудою коливань вертикальної трубки, і для покращання цих умов необхідно, щоб ці елементи були розташовані під потрібним кутом до вертикалі.

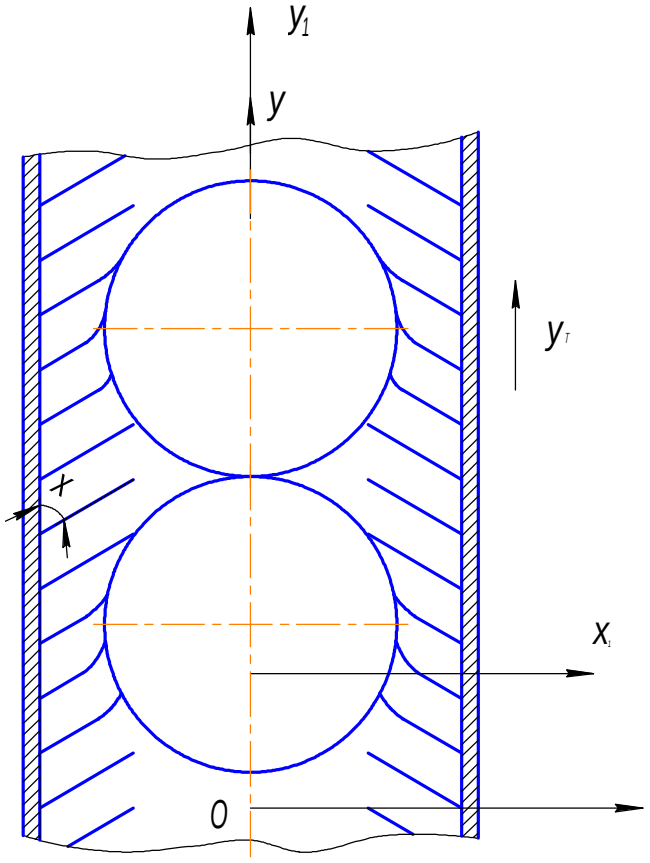


Рис. 1. Розрахункова схема руху тіла у вібруючій трубці

Розглянемо рух тіла у вигляді кульки всередині трубки з ворсом у вібруючому полі [6]. Нехай трубка з ворсинками здійснює коливальний рух згідно з законом, який загалом можна записати так:

$$y_T = a\sin(wt), \tag{1}$$

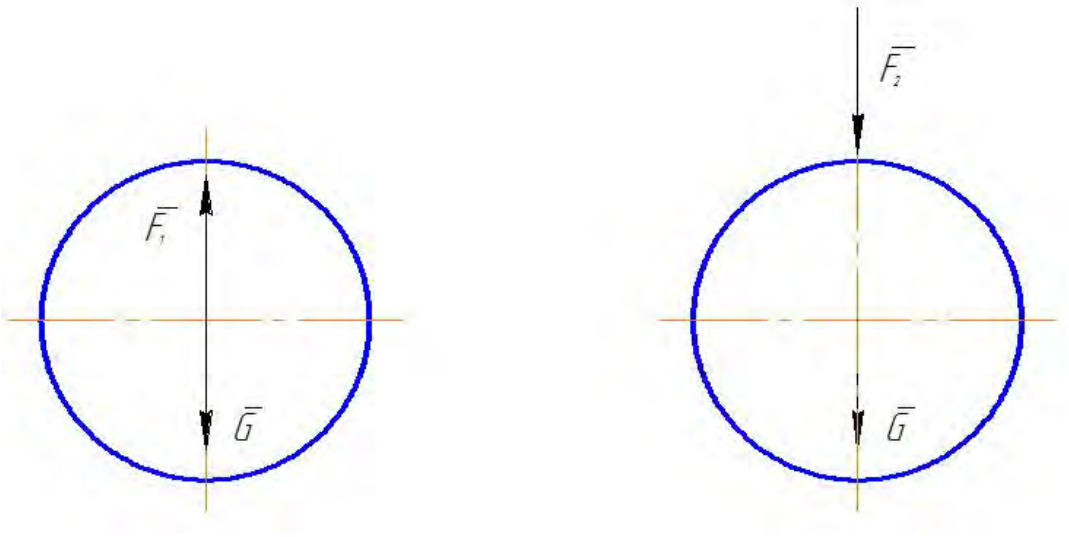
де a – амплітуда коливань; ω – кругова частота коливань.

Тоді швидкість кульки у довільний момент часу дорівнюватиме

$$V_T = aw\cos(wt). \tag{2}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Кулька перебуває у складному русі. Вона має абсолютну швидкість $V_K = \frac{dy}{dt}$ щодо нерухомої системи відліку x0y (рис. 1) і відносну швидкість U щодо системи відліку $x_1 0_1 y_1$, яка жорстко пов'язана з трубкою. Якщо відносна швидкість $U < 0$, то на кульку діє сила ваги $G = mg$ та сила F_1 – рівнодійна сил з боку ворсинок (рис. 2, *а*). Якщо ж $U > 0$, то на кульку крім сили ваги, діє ще сила F_2 – рівнодійна сил з боку ворсинок (рис. 2, *б*). Причому $F_1 > F_2$ (якщо ворсинки напрямлені так, як це показано на рис. 1).



а *б*

Рис. 2. Схема дії сил на кульку: а – за U < 0; б – за U > 0

Сили F_1 і F_2 легко визначити на основі експерименту. Далі для зручності виразимо сили F_1 і F_2 у частках ваги кульки, а саме:

$$F_1 = amg\,; \quad F_2 = bmg\,; \quad (\alpha > \beta). \tag{3}$$

Запишемо диференціальні рівняння абсолютного руху кульки;

$$\begin{aligned} m\frac{d^2y}{dt^2} &= F_1 - mg, \quad U < 0, \quad \left(\frac{dy}{dt} - V_T\right) < 0; \\ m\frac{d^2y}{dt^2} &= -F_2 - mg, \; U > 0, \left(\frac{dy}{dt} - V_T\right) > 0. \end{aligned} \; ; \tag{4}$$

Або враховуючи (3), ці рівняння матимуть такий вигляд:

$$\begin{aligned} m\frac{d^2y}{dt^2} &= (\alpha - 1)g, \; U < 0; \\ m\frac{d^2y}{dt^2} &= -(\beta + 1)g, \; U > 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Припустимо, що на деякому проміжку часу $t_{i-1} \le t \le t_i$ відносна швидкість U від'ємна, тоді, розв'язавши перше з рівнянь (5), одержимо

$$y(t) = y_{i-1} + V_{i-1}(t - t_{i-1}) + \frac{(a-1)g(t - t_{i-1})^2}{2}, \tag{6}$$

де y_{i-1} – ордината центра кульки; V_{i-1} – швидкість кульки у момент часу t_{i-1} .

З рівняння руху (6) знаходимо

$$\begin{aligned} y_i &= y_{i-1} + V_{i-1}(t_i - t_{i-1}) + \frac{(\alpha - 1)g(t_i - t_{i-1})^2}{2}; \\ V_i &= V_{i-1} + (\alpha - 1)g(t_i - t_{i-1}). \end{aligned} \tag{7}$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Момент часу t_i визначаємо з умови $V(t_i) = 0$, тобто

$$V_{i-1} + (a-1)g(t_i - t_{i-1}) - aw\cos(wt_i) = 0. \quad (8)$$

На наступному проміжку часу $t_i \le t \le t_{i+1}$ відносна швидкість U додатна, і розв'язавши друге з рівнянь (5), матимемо

$$y(t) = y_i + V_i(t - t_i) + \frac{(b+1)g(t - t_{i-1})^2}{2}. \quad (9)$$

У момент часу $t = t_{i+1}$ отримаємо:

$$y_{i+1} = y_1 + V_1(t_{i+1} - t_i) + \frac{(\beta+1)g(t_{i+1} - t_i)^2}{2}; \quad (10)$$

$$V_{i+i} = V_i + (\beta+1)g(t_{i+1} - t_i).$$

Далі цей процес повторюється до того часу, поки ордината y не досягне деякого, наперед заданого значення y_{max}. Зокрема, на першому етапі

$$t_o = 0,\ y = y_o,\ V_o = 0,\ U = -a\omega < 0.$$

Тоді, поки $0 \le t \le t_1$

$$y(t) = y_o + \frac{(\alpha-1)gt^2}{2}; \quad (11)$$

$$V = (\alpha-1)gt.$$

Момент часу $t = t_1$ визначаємо з рівняння

$$(a-1)gt_1 - aw\cos(wt_1) = 0. \quad (12)$$

Висновки: 1. Одержані залежності можна використати для дослідження процесу руху кульки за різних параметрів переносного руху та жорсткості ворсу.

2. Знаючи вагу кульки та співвідношення сил F_1 і F_2 за заданої амплітуди коливань трубки, можна знайти її швидкість транспортування та забезпечення технологічного процесу.

1. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с. 2. Зенков Р. П. и др.Машины непрерывного транспорта. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с. 3. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с. 4. Иванов И. И. Проектирование систем автоматического манипулирования миниатюрными изделиями. – М.: Машиностроение, 1981. – 271с. 5. Вибрации в технике: справочник: в 6-ти т. / ред. сов.: В. Н. Челомей (пред.) – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4: Вибрационные процессы и машины / под ред. Э. Э. Лавендала. – 1981. – 509 с. 6. Стражинский В. М. Теоретическая механика. – М.: Наука, 1980. – 464 с. 7. Яблонский А. А. Курс теории колебаний / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – М.: Высш. шк., 1975. – 248 с.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua