УДК 621.798(088.8)

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ ФРИКЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ ВІДСІКАЮЧИХ ДИСКІВ ВІБРАЦІЙНОГО ОБ'ЄМНОГО ДОЗАТОРА

Магерус Н.І.

Національний університет «Львівська політехніка»

Розроблено конструкцію вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних сипких матеріалів, що дозволяє дозувати продукцію із високою продуктивністю та точністю. Запропоновано використання коливань чаші дозатора для повороту відсікаючих дисків мірного стакана за допомогою фрикційного механізму із собачкою, досліджено кінематику фрикційного механізму

Постановка проблеми. Значну частину ринку товарів України займають сипкі матеріали (СМ), серед яких вагома частка належить дрібнодисперсним продуктам, до яких належить борошно, крохмаль, цукор-пудра тощо. Багато дослідників вважають, що усі СМ можна умовно розділити на дві групи: ідеально сипкі, що не мають сил зчеплення між частинками матеріалу, і зв'язні, що характеризуються значними силами зчеплення [1]. Однак такий поділ є доволі умовним, оскільки одні і ті ж матеріали при різних умовах експлуатації можуть проявляти себе як ідеально сипкими так і зв'язними. При зміні умов експлуатації більшість СМ переходить від одного стану у інший, що спричинено зміною їх властивостей і текучості [2]. Дрібнодисперсний СМ належить до зв'язних матеріалів та створює чимало труднощів у процесі дозування через схильність до налипання та утворення грудок, низьку газопроникність, непрогнозованість поведінки у процесі переробки, що негативно впливає на ефективність процесу дозування. Одним із способів покращення умов витікання дрібнодисперсного сипкого продукту є використання вібрації. Дуже важливо при цьому максимально можливо використати корисну дію вібрації з метою зниження енергоємності обладнання. Вдало підібрані параметри вібрації дозволяють не лише змінювати властивості СМ, а також за необхідності здійснювати допоміжні процеси, що забезпечує як високу точність та продуктивність, так і низьку матеріало- та енергоємності вібраційних дозаторів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день питанню використання корисної дії вібрації у роботі фрикційних механізмів практично не приділено уваги. Також не встановлено вплив параметрів вібрації та рух фрикційної пари. Дослідження Ріделя Є. І [3] містять обґрунтування умов працездатності фрикційного механізму, однак не розглядається рух окремих ланок. Також дані розробки не стосуються питань кінематики механізму та впливу на неї параметрів вібрації. У працях [4, 5] запропоновано конструкції різних видів фрикційних механізмів із собачками, проте не

проведено їх дослідження.

Мета досліджень. Дослідження кінематики фрикційного механізму повороту відсікаючих дисків вібраційного об’ємного дозатора та впливу на неї геометрії ланок і параметрів вібрації.

Результати досліджень. Для формування доз дрібнодисперсної продукції величиною до 1 кг об’ємним способом пропонується конструкція вібраційного бункерного дозатора (рис. 1), основними елементами якої є завантажувальний бункер 1, оснащений вібруючим конічним днищем 8, який з’єднаний із чашею дозатора 2 [6]. Чаша дозатора 2 виконана у вигляді циліндричної ємкості з кришкою 4, яка через гнучкий рукав 10 з’єднана з перехідною лункою 11 завантажувального бункера.

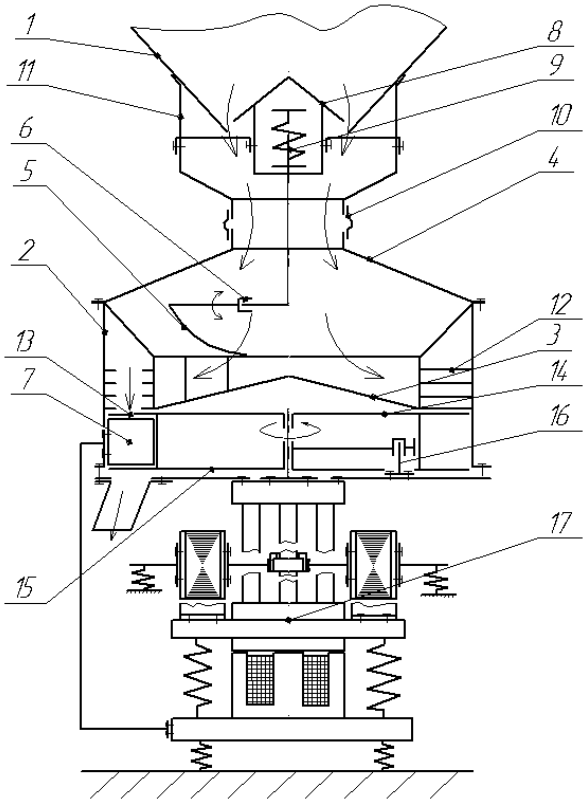

Рисунок 1 – Вібраційний бункерний дозатор для дрібнодисперсних СМ

Однією з умов забезпечення працездатності дозатора є гарантування рівномірності подачі матеріалу у чашу дозатора 2, що реалізується за допомогою вібруючого днища 8. Останній оснащений електромагнітом вертикальних коливань 9 і механізмом регулювання рівня продукту в чаші, який складається із прапорця 5 і шарнірного механізму 6.

Враховуючи фізико-механічні властивості СМ та використавши розроблену методику [7], оптимально підібрано геометрію та режими вібрації конічного днища з метою рівномірної подачі дрібнодисперсного продукту у чашу дозатора. Для рівномірного витікання сипкої продукції, наприклад, борошна завантажувальна лунка із радіусом випускного отвору $R_0 = 0{,}2$ м, висотою $h_к = 0{,}6$м та кутом нахилу лунки до вертикалі $\Theta = 40^\circ$ повинна

реалізовувати коливання із частотою $\omega = 150$ рад/с та амплітудою $a > 2 \cdot 10^{-3}$ м [8].

В чаші дозатора 2 під дією коливань сипкий продукт плавно розтікається по поверхні конічного днища 3 та через завантажувальний отвір потрапляє на транспортні доріжки 12, де під дією вібраційного транспортування переміщується на позицію наповнення мірника 7. Мірник розташований між двома відсікаючими дисками, встановленими за допомогою підшипникового вузла на вертикальній осі. Диски здійснюють плавний обертовий рух завдяки фрикційному механізму 16, який перетворює коливання чаші у обертовий рух дисків. Отвори на верхньому 14 та нижньому 15 дисках розташовані у шаховому порядку. При співпаданні отворів верхнього диску 14 з мірником 7 відбувається його наповнення, при співпаданні отворів нижнього диску 15 з мірником 7 – випорожнення. Для запобігання зависанню сипкого матеріалу в мірнику 7 та гарантування його випорожнення, останній здійснює вертикальні коливання, завдяки з'єднанню його з реактивною масою привода дозатора, що реалізує вертикальні коливання.

Приводом дозатора служать незалежні електромагнітні віброзбудники кутових та вертикальних коливань, а також пружні системи у вигляді гратчастого торсіона для кутових коливань та у вигляді плоских пружин – для вертикальних коливань. Це дозволяє забезпечити високі швидкості руху СМ у безвідривних режимах і, відповідно, високу продуктивність дозатора.

Фрикційний механізм із собачкою використано у конструкції дозатора завдяки ряду переваг, а саме: можливості використання корисної дії вібрації; простоті виготовлення тіл кочення; безшумності роботи; низькій інерційності, що дозволяє вмикати чи розмикати передачу у процесі руху; здатності до самозаклинювання в залежності від напрямку руху.

Однак поряд із тим фрикційні передачі мають деякі недоліки: можливість проковзування та необхідність забезпечення постійного притискання фрикційних поверхонь; передчасне зношування деталей, що призводить до зниження довговічності механізму в цілому. Тому при застосуванні фрикційних передач у різного роду пристроях важливо дослідити як кінематику руху окремих ланок, так і їх геометричні розміри з метою підвищення працездатності та довговічності механізму. Найбільш поширеними у промисловості є такі види фрикційних передач із собачкою [4] (рис. 2):

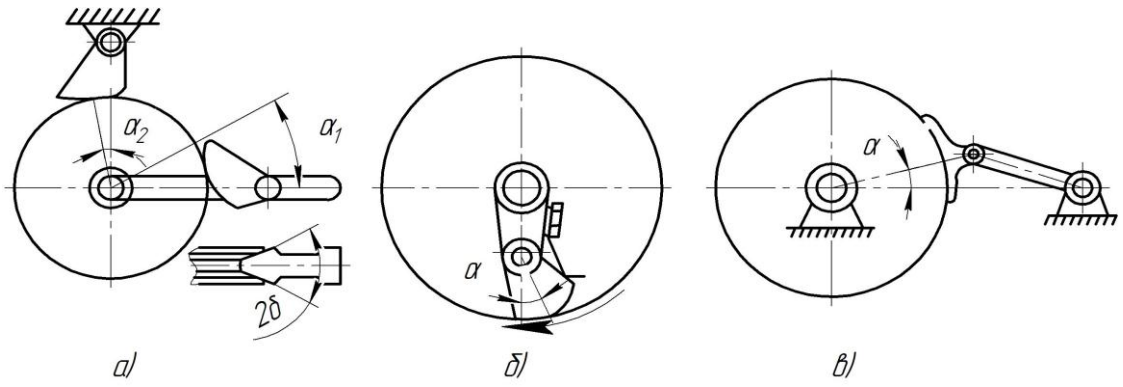

Рисунок 2 – Типові схеми фрикційних механізмів із собачками

Розрізняють собачки зовнішнього (рис. 2,а, в) та внутрішнього тертя (рис. 2, б). У фрикційних механізмах передача руху здійснюється завдяки силам тертя, тому робота цих передач плавніша і безшумніша у порівнянні із іншими, у яких рух передається через зачеплення зубців. Умови роботи фрикційної передачі можна покращити різними способами, серед яких найефективнішими є: підбір оптимального кута заклинювання; використання матеріалів для фрикційної пари із високими коефіцієнтами тертя або проточуванням канавки трапецієвидної форми на шківі і надання такого ж профілю поверхні собачки. Наприклад, якщо кут клина собачки 2δ, то тертя у порівнянні із плоскою фрикційною собачкою зростає у співвідношенні $\frac{1}{\sin\delta}$ [4]. Також для підвищення стійкості та довговічності механізму можливе використання двох собачок.

Для дослідження руху ланок фрикційного механізму повороту відсікаючих дисків дозатора розглянемо його кінематичну схему (рис. 3), де точка А – відповідає осі обертання відсікаючих дисків, точка В – точці контакту фрикційної пари (відсікаючий диск – собачка), повзун 3 – основі чаші дозатора, що здійснює коливання.

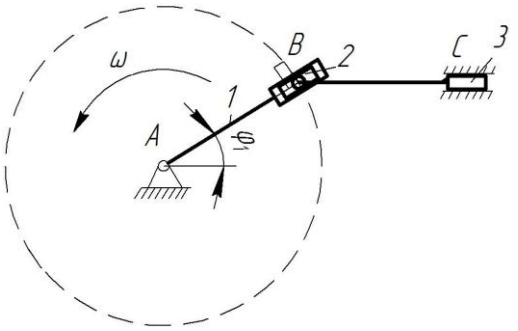

Рисунок 3 – Кінематична схема фрикційного механізму із собачкою

Існують три методи дослідження кінематики механізму: графічний, графоаналітичний та аналітичний. Перші два методи досліджень прості та наочні, однак не завжди забезпечують достатню точність розрахунків та не дозволяють здійснювати задачі оптимізації конструкції механізму. Тому для дослідження фрикційного механізму із собачкою було обрано один із аналітичних методів, а саме метод замкнутих контурів, згідно з яким будь-який механізм, що складається із замкненого кінематичного ланцюга з нижчими парами, можна зобразити у вигляді замкнутого векторного контуру, замінивши умовно ланки механізму векторами (рис. 4). За початок векторного контуру приймається нерухома точка А. Модуль вектора може бути як постійним, так і змінним. Напрямок кожного вектора визначається кутом, що відраховується проти годинникової стрілки від лінії, яка паралельна осі X обраної системи координат і проведена через початок відповідного вектора. Знак вектора приймається плюс, якщо напрям вектора збігається з напрямом обходу контуру за годинниковою стрілкою.

Умову замкненості векторних контурів записуємо у вигляді:

$$\sum \vec{L}_m = 0, \tag{1}$$

де m – кількість ланок механізму.

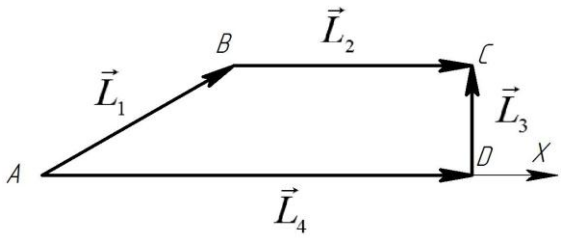

Рисунок 4 – План швидкостей фрикційного механізму із собачкою

Для фрикційного механізму (рис. 3) умова замкнутості матиме наступний вигляд:

$$\vec{L}_1 + \vec{L}_2 - \vec{L}_3 - \vec{L}_4 = 0. \tag{2}$$

Із кінематичної схеми (рис. 3) встановлено, що вектори $\vec{L}_1$ та $\vec{L}_2$ – є незмінними по величині та визначаються геометричними розмірами чаші дозатора та відсікаючих дисків, а вектори $\vec{L}_3$, $\vec{L}_4$ – визначають положення повзуна 3 відносно центру обертання точки А.

Для визначення закону переміщення повзуна 3 запишемо векторне рівняння (2) у проекціях на вісь *X*:

$$L_4 = L_1 \cdot \cos(\varphi_1) + L_2, \tag{3}$$

де φ_1 – кут повороту кривошипа 1.

Диференціюючи це рівняння за часом t отримуємо абсолютну швидкість ланки 3:

$$\frac{dL_4}{dt} = V_{C3} = -L_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin(\varphi_1), \tag{4}$$

де $\omega_1 = \dfrac{d\varphi_1}{dt}$ – кутова швидкість ланки 1.

Знак мінус в рівнянні (4) вказує на те, що вектор швидкості $\vec{V}_{C3}$ направлений протилежно вибраному напрямку осі *X*.

З іншої сторони швидкість руху ланки 3 відповідає швидкості руху стінки бункера, збуреної горизонтальними коливаннями пружної системи дозатора:

$$V_{C3} = A_\Gamma \cdot \omega \cdot \cos(\omega t), \tag{5}$$

де A_Γ – горизонтальна складова амплітуди коливань чаші дозатора, ω – кутова частота коливань чаші.

Прирівнявши рівняння (4) та (5) отримаємо:

$$L_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin(\varphi_1) = A_\Gamma \cdot \omega \cdot \cos(\omega t). \tag{6}$$

Загальний розв’язок рівняння (6) можна представити у вигляді:

$$\varphi_1(t) = \arccos\left(-\frac{A_\Gamma}{L_1}\sin(\omega t) + C \right), \tag{7}$$

де C – стала інтегрування.

Для знаходження часткового розв’язку із загального (6) використаємо початкову умову:

$$\varphi_1(0) = \alpha, \tag{8}$$

де α – кут нахилу ланки 1 у початковий момент часу $t = 0$.

Таким чином частинний розв’язок рівняння (6), що відповідає умовам руху фрикційного механізму (рис. 3), має вигляд:

$$\varphi_1(t) = \arccos\left(\cos(\alpha) - \frac{A_\Gamma}{L_1}\sin(\omega t) \right). \tag{10}$$

Як бачимо із виразу (10), на кут повороту відсікаючих дисків φ_1 істотно впливають такі параметри вібрації, як горизонтальна складова амплітуди коливань A_Γ та частота коливань ω. Також на переміщення впливає геометрія фрикційного механізму (довжина ланки L_1, та її початкове положення – кут α).

Отже, фрикційна собачка передає крутний момент на відсікаючі диски за рахунок самозаклинювання поверхні тертя собачки під час її контакту із зовнішньою торцевою поверхнею відсікаючих дисків. Умова самозаклинювання забезпечується комплексною дією сил тертя в місцях контакту фрикційних поверхонь. Тому у подальшому планується провести динамічний аналіз фрикційного механізму для визначення сил, що діють у точках контакту. Таким чином це дозволить підібрати оптимальний кут заклинювання собачки та параметри пружини, що здійснюватиме функцію притискання собачки до торцевої поверхні дисків.

Висновок. Запропоновано використання коливань чаші дозатора для повороту відсікаючих дисків за допомогою фрикційного механізму. Досліджено кінематику фрикційного механізму та встановлено вплив на неї геометрії ланок та режимів вібрації чаші дозатора. Подані аналітичні залежності дозволяють визначити швидкість обертання відсікаючих дисків в залежності від амплітуди та частоти вібрації чаші дозатора. Дане дослідження дозволяє визначити оптимальні параметри конструкції та режими роботи вібраційного дозатора з метою здійснення об’ємного дозування дрібнодисперсних СМ з високою точністю та продуктивністю.

Список використаних джерел

1. Квапилл Р.К. Движение сыпучих материалов у бункерах / Р.К. Квапилл. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 80 с.
2. Каталымов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов /

А.В. Каталымов, В.А. Любартович; за ред. Ю.К. Кузнецов. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
3. Ридель Э.И. Погрузочно разгрузочные машины на железнодорожном транспорте / Э.И Ридель. – Москва : Транспорт, 1978. – 383 с.
4. http://mpg.susu.ru/_mehanizmi/index.php?page=12c856ee918de862b1b36a693caa3659.
5. Ачеркан Н.С. Справочник машиностроителя. В 6 томах. Том 4 – М., Машгиз, 1955. – 855 с.
6. Пат. 95081 Україна, МПК B65G 65/30 (2006/01). Вібраційний дозатор для сипких матеріалів / Ю.П. Шоловій, Н.І. Магерус. – № u201407044; заявл. 23.06.2014;опубл. 10.12.2014, Бюл. №23. – 4 с.
7. Шоловій Ю.П. Моделювання поведінки дрібнодисперсного сипкого матеріалу під дією вібрації у конічній лунці дозатора за допомогою системи Лоренца / Ю.П. Шоловій, Н.М. Тимошенко, Н.І. Магерус // Технологічні комплекси. 2014. – №1. - С. 109-117.
8. Магерус Н.І. Вплив параметрів вібрації та геометрії лунки на рух дрібнодисперсного сипкого матеріалу у конічній лунці дозатора / Н.І. Магерус // Вібрації в техніці та технологіях. 2014. – №2. -С. 71-78.

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ ФРИКЦИОННОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ОТСЕКАЮЩИХ ДИСКОВ ВИБРАЦИОННОГО ОБЪЕМНОГО ДОЗАТОРА

Магерус Н.И.

Разработана конструкция вибрационного объемного дозатора для мелкодисперсных сыпучих материалов, что позволяет дозировать продукцию с высокой производительностью и точностью. Предложено использование колебаний чаши дозатора для поворота отсекающих дисков мерного стакана с помощью фрикционного механизма с собачкой, исследовано кинематику фрикционного механизма

Abstract

THE KINEMATIC INVESTIGATION OF THE FRICTIONAL MECHANISM OF THE CUTTING OFF DISKS OF THE VIBRATING VOLUMETRIC FEEDER

N. Maherus

The design of the vibrating volumetric feeder for the fine granular material, allowing dosing product with high efficiency and accuracy, has been developed. Using vibrations of the feeder basin for rotating the cutting off disks of the measuring cup by dint of a friction mechanism with a dog is offered. Kinematics of the friction mechanism is investigated