

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

МАГЕРУС НАДІЯ ІВАНІВНА

УДК 621.929.7

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ
ВІБРАЦІЙНИХ ОБ'ЄМНИХ ДОЗАТОРІВ ДЛЯ
ДРІБНОДИСПЕРСНИХ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.02.02 – машинознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертація на правах рукопису.

Роботу виконано в Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки Україна

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Шоловій Юрій Петрович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри механіки та автоматизації
машинобудування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гавва Олександр Миколайович
Національний університет харчових технологій (м. Київ),
завідувач кафедри машин і апаратів харчових та
фармацевтичних виробництв;

кандидат технічних наук,
Зубовецька Наталя Тарасівна,
Луцький національний технічний університет,
доцент кафедри комп'ютерного проектування
верстатів та технологій машинобудування.

Захист відбудеться 28 грудня 2016 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.06 у Національному університеті «Львівська політехніка» за
адресою: 79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12, навчальний корпус 14, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці
Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів,
вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий 25 листопада 2016 р.

Т. в. о. вченого секретаря спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.06
д.т.н., доцент

В. В. Ступницький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ринок пакувальної продукції на сьогоднішній день багатий на дрібнодисперсні сипкі матеріали (СМ). До них належать продукти із умовним діаметром частинок менше 50 мкм, а саме: борошно, цукор-пудра, крохмаль, цемент, сухі будівельні суміші та інші. Дозування цих матеріалів пов'язане з певними труднощами, викликаними утворенням грудок, нестабільною насипною щільністю, налипанням на робочі поверхні, зависанням, нерівномірністю витікання продукту тощо. Тому для формування дози дрібнодисперсних продуктів використовують, в основному, вагові дозатори. Однак об'ємні дозатори мають ряд істотних переваг, а саме: високу продуктивність, простоту конструкції та, відповідно, низьку вартість. Оскільки проблеми, пов'язані з непрогнозованою поведінкою продукту дозування, обмежують використання такого типу дозаторів, то основним напрямком вдосконалення об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ є підвищення точності та ефективності процесу дозування шляхом забезпечення неперервного та рівномірного витікання продукту.

Ефективним способом досягнення цієї мети є використання впливу динамічної дії вібрації на дрібнодисперсний СМ. Вібраційні дозатори у порівнянні з іншими мають ряд переваг: це, насамперед, відсутність обертових частин, що контактують із продуктом дозування, відсутність додаткових механічних передач між двигуном і робочим органом, простота конструкції і висока надійність обладнання. Однак відсутність на сьогоднішній день чітких рекомендацій щодо вибору параметрів та режимів роботи таких дозаторів при роботі з дрібнодисперсними СМ обмежують їх використання. Тому обґрунтування параметрів вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ та встановлення оптимальних режимів їх роботи є актуальним завданням, вирішення якого дозволить підвищити точність та ефективність процесу дозування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри механіки та автоматизації машинобудування Національного університету «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та надійність механічних систем, автоматизація виробництв і технічна діагностика обладнання» та виконана в межах науково-дослідних робіт: «Теоретико-прикладні основи модернізації енергоємного технологічного обладнання» (№ держ. реєстр. 0112U001208, 01/01/12-31/12/13); «Створення імпульсного полічастотного вібраційного технологічного обладнання» (№ держ. реєстр. 0115U000433, 01/01/15-01/12/16).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності роботи вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ обґрунтуванням його основних параметрів та режимів роботи. Для досягнення поставленої мети були вирішені такі задачі:

- аналіз особливостей конструкцій вібраційних об'ємних дозаторів та моделей руху СМ у процесі дозування;
- розробка математичних моделей руху дрібнодисперсних СМ із розвантажувальної лунки дозатора при гравітаційному витіканні та вібраційному збуренні потоку;

- встановлення аналітичних залежностей для визначення параметрів розвантажувальної лунки та режимів роботи вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ;

- експериментальне дослідження ефективної в'язкості продукту дозування, продуктивності та точності вібраційного об'ємного дозатора, перевірка адекватності розроблених математичних моделей;

- удосконалення конструкції вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ та розробка методики його інженерного розрахунку.

Об'єкт дослідження – процес вібраційного дозування дрібнодисперсних СМ.

Предмет дослідження – параметри та режими роботи вібраційного дозатора для дрібнодисперсних СМ.

Методи дослідження. Теоретичні розрахунки проводились на основі дослідження напруженого стану СМ у склепінні; математичного моделювання процесу витікання продукту під дією вібрації з використанням закону Бернуллі, рівнянь Нав'є-Стокса, термодинаміки (наближення Буссінеска) та методів дослідження стійкості динамічних систем (критеріїв Ляпунова). Експериментальні дослідження проводились на основі класичних методів планування багатofакторного експерименту.

Результати аналітичних та експериментальних досліджень оброблено за допомогою пакетів програм MathCAD, Derek, Excel.

Наукова новизна отриманих результатів:

- розроблено математичні моделі руху дрібнодисперсних СМ із конічної розвантажувальної лунки дозатора при гравітаційному витіканні та вібраційному збуренні потоку;

- отримано аналітичні залежності для визначення параметрів розвантажувальної лунки та режимів роботи вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ;

- обґрунтовано параметри та встановлено оптимальні режими роботи вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ.

Практичне значення отриманих результатів. У результаті проведених досліджень розроблено методику інженерного розрахунку вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ, встановлено оптимальні режими його роботи та конструктивні особливості розвантажувальної лунки в залежності від властивостей продукту дозування, що дозволяє забезпечити рівномірне та неперервне витікання матеріалу і, тим самим, підвищити ефективність дозувального обладнання.

Результати роботи впроваджені у:

- ТЗОВ «ІнтерПЕТ», м. Львів – у вигляді конструкції вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ та методики його інженерного розрахунку;

- навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційних рівнів бакалавр напрямку 6.050502 «Інженерна механіка», спеціаліст та магістр за спеціальністю 7(8).05050206 «Машини та технологія пакування». Результати досліджень використано у курсі лекцій та під час проведення практичних занять з дисциплін «Обладнання для дозування матеріалів» та «Механіка сипких середовищ».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати та положення дисертаційної роботи одержані автором самостійно. У роботах [1, 6, 14, 17] розроблено математичну модель руху дрібнодисперсних СМ у розвантажувальній лунці дозатора при вібраційному збуренні потоку. У праці [2] здобувачем проаналізовано результати експериментальних досліджень щодо визначення точності та продуктивності вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ та подані рекомендації для підвищення ефективності його роботи. У роботах [3, 10] проведено аналіз конструкцій вібраційних об'ємних дозаторів та досліджено особливості дозування дрібнодисперсних СМ. У працях [4, 12] автором розроблено математичну модель руху дрібнодисперсних СМ у розвантажувальній лунці дозатора при гравітаційному витіканні продукту дозування; виведено аналітичні залежності, які встановлюють взаємозв'язок між конструктивними параметрами розвантажувальної лунки дозатора. У статті [7] автором досліджено та проаналізовано вплив режимів роботи вібраційного дозатора, а також особливостей його конструкції на швидкість вібротранспортування дрібнодисперсних СМ. У працях [9, 16] розроблено рекомендації стосовно удосконалення конструкції фрикційного механізму повороту відсікаючих дисків вібраційного об'ємного дозатора. У працях [11, 13, 15] автором виведено аналітичні залежності, що встановлюють вплив параметрів розвантажувальної лунки дозатора та властивостей продукту дозування на витікання дрібнодисперсного СМ. Статті [5, 8] одноосібні.

Апробація результатів дисертації. Робота в цілому та її окремі результати доповідалися та обговорювалися на ІХ, Х, ХІ, ХІІ науково-практичних конференціях молодих вчених «Новітні технології пакування» (Київ, 2013, 2014, 2015, 2016); Одинадцятому міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (Львів, 2013); ІV-ій міжнародній конференції молодих вчених ЕМТ-2013 «Інженерна механіка та транспорт» (Львів, 2013); ІІІ-ій міжнародній науково-технічній конференції ТК-2014 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів» (Луцьк, 2014); Міжнародній науковій конференції присвяченій 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти в харчовій промисловості» (Київ, 2014).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, з яких: 6 статей у фахових виданнях України (2 одноосібні), 2 статті в виданнях, що входять у наукометричну базу РІНЦ, 8 публікацій у матеріалах конференцій, 1 деклараційний патент України на корисну модель.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 125 найменувань та 7 додатків, містить 64 ілюстрації та 10 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 148 сторінок машинописного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведено аналіз особливостей конструкцій вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ та впливу режимів коливань робочих

органів дозатора на його ефективність роботи, а також досліджено математичні моделі поведінки сипкого продукту у процесі дозування.

Створенням конструкції вібраційних дозаторів та дослідженням витікання СМ займалися такі вчені, як Алфьоров К. В., Банніков Д. О., Зенков Р. Л., Каталимов А. В., Квапилл Р. К., Комченко Е. В., Ловейкін В. С., Лук'янов П. І., Ольшанский В. П., Ольшанский С. В., Пальчевський Б. О., Пирожков Д. Н., Платонов П. М., Повідайло В. О., Русанов С. А., Тищенко Л. М., Федоренко І. Я., Франчук В. П., Червоненко А. Г., Човнюк Ю. В. та ін. Також цими завданнями займалися закордонні вчені, зокрема німецькі, такі як: Г. Кахе, Ю. Томас.

На основі проведеного огляду літературних джерел зроблено висновок, що робота об'ємних дозаторів в значній мірі залежить від фізико-механічних характеристик продукту, особливо при дозуванні дрібнодисперсних СМ. У багатьох випадках без використання спеціальних пристроїв для покращення умов витікання процес дозування стає неможливим. Використання впливу вібрації на дрібнодисперсний СМ дозволяє змінювати його фізико-механічні характеристики, реалізовувати рух у потрібному напрямі, а також здійснювати неперервну циркуляцію матеріалу у дозаторі. Особливості поведінки продукту дозування під дією вібрації значною мірою залежать від параметрів дозатора, що і обумовило появу великої кількості їх конструкцій. Однак дія вібрації на СМ може привести і до негативних наслідків – ущільнення продукту, утворення заторів та припинення витікання. Дуже важливо для кожного дрібнодисперсного СМ встановлювати амплітуду і частоту коливань збудника, що дозволить забезпечувати неперервне та рівномірне витікання продукту дозування.

Тому на сьогоднішній день актуальним залишається дослідження впливу параметрів вібраційного дозатора та режимів його роботи на процес витікання дрібнодисперсних СМ з метою підвищення ефективності процесу дозування.

У другому розділі розроблено математичну модель руху дрібнодисперсних СМ із розвантажувальної лунки дозатора при гравітаційному витіканні. Для моделювання обрано конічну розвантажувальну лунку із кільцевим випускним отвором, що утворений стінками лунки та конічним днищем. Дослідивши силові фактори, які діють на склепіння, що формується над кільцевим отвором у розвантажувальній лунці дозатора (рис. 1), складено рівняння рівноваги сил у проекціях на вертикальну вісь:

$$dF_{aym} + dF_{C1} + dF_{C2} = dG. \quad (1)$$

де $dF_{aym} = \frac{\tau_0 \cdot l_o \cdot dh_C}{f}$ – приріст сили аутогезії; $dF_{C1} = \sigma_1' \cdot \sin(\delta_1) \cdot \cos(\delta_1) \cdot l_1 \cdot dh_C$;

$dF_{C2} = \sigma_1' \sin(\delta_2) \cdot \cos(\delta_2) \cdot l_2 \cdot dh_C$ – приріст сил протидії витіканню;

$dG = \rho_0 \cdot g \cdot b_o \cdot l_o \cdot dh_C$ – приріст сили тяжіння; τ_0 – початковий опір зсуву СМ; l_1, l_2 –

довжини кільцевого випускного отвору розвантажувальної лунки; $l_o = \frac{l_1 + l_2}{2}$ –

усереднене значення довжини кільцевого випускного отвору; dh_C – висота

елементарного об'єму склепіння; σ_1' – напруження вільного витікання; $f = tg(\Phi)$ –

коефіцієнт внутрішнього тертя СМ; Φ – кут внутрішнього тертя СМ; $\delta_1 = \Theta_1 + \Phi$;

$\delta_2 = \Theta_2 + \Phi'$; Θ_1 – кут нахилу стінок конічної розвантажувальної лунки; Θ_2 – кут нахилу стінок конічного днища розвантажувальної лунки; Φ' – кут тертя СМ до стінок розвантажувальної лунки; $f_w = \text{tg}(\Phi')$ – коефіцієнт зовнішнього тертя; ρ_0 – насипна щільність дрібнодисперсного СМ; g – пришвидження земного тяжіння; b_0 – ширина кільцевого випускного отвору.

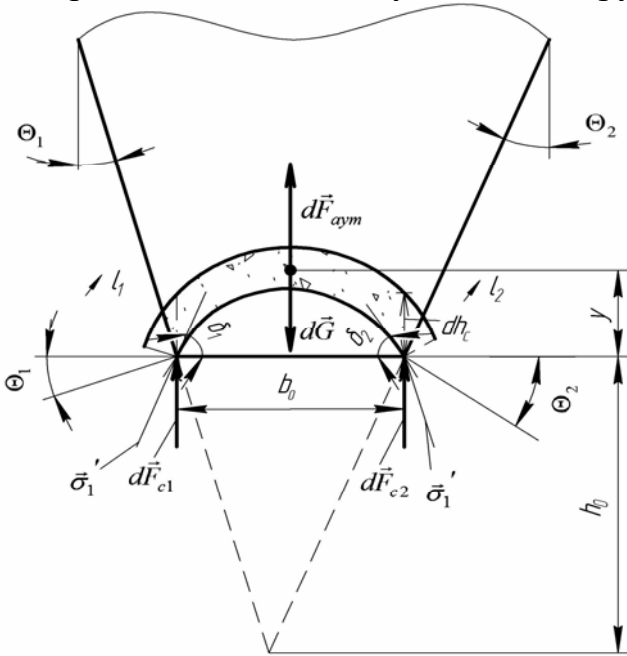


Рис. 1. Схема дії сил, що діють на елементарний об'єм склепіння, при гравітаційному витіканні дрібнодисперсного СМ із розвантажувальної лунки дозатора

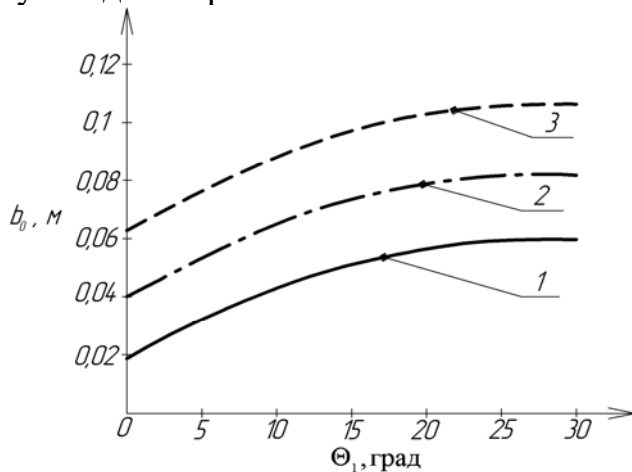


Рис. 2. Вплив кута нахилу стінок розвантажувальної лунки дозатора на розмір випускного отвору (1 – $\tau_0 = 50$ Па; 2 – $\tau_0 = 100$ Па; 3 – $\tau_0 = 150$ Па)

Із рівняння (1) встановлено граничне значення ширини кільцевого випускного отвору b_0 розвантажувальної лунки дозатора, при якій формується стійке склепіння над випускним отвором:

$$b_0 = \frac{\tau_0(l_1 + l_2) + \sigma'_1 f (\sin(2\delta_1)l_1 + \sin(2\delta_2)l_2)}{f\rho_0 g(l_1 + l_2)}. \quad (2)$$

Використавши формулу (2) та формулу для визначення напруження вільного витікання σ'_1 , встановлену Каталимовим А.В., а також наступні значення вхідних параметрів: $\Phi = 42^\circ$; $\Phi' = 30^\circ$; $\rho_0 = 0,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $l_1 = l_2 = 0,5$ м, отримано графічні залежності $b_0(\Theta_1)$, $b_0(f_w)$ (рис. 2, рис 3).

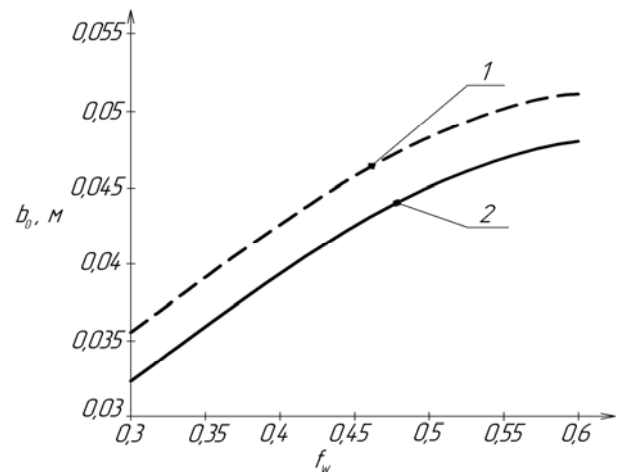


Рис. 3. Вплив коефіцієнта зовнішнього тертя на розмір випускного отвору розвантажувальної лунки дозатора (1 – $\rho_0 = 500$ кг/м³; 2 – $\rho_0 = 700$ кг/м³)

Проведені дослідження стверджують, що:

- зростаючий характер кривих $b_0(\Theta_1)$ (рис. 2) пояснюється тим, що із збільшенням кута нахилу стінок розвантажувальної лунки дозатора зростає значення

насищеної щільності СМ в області випускного отвору, яке призводить до зростання сил зчеплення між частинкам продукту;

- із зростанням коефіцієнта зовнішнього тертя СМ до стінок розвантажувальної лунки дозатора f_w зростає граничний розмір її випускного отвору b_o (рис. 3), при якому немає витікання СМ за відсутності дії вібрації. Однак при $f_w \geq 0,5$ інтенсивність зростання кривих $b_o(f_w)$ значно знижується, оскільки опір переміщенню продукту стає настільки значний, що граничний шар частинок, які контактують із стінками розвантажувальної лунки, прилипає до них, а ковзання відбувається лише між шарами матеріалу. Зниження коефіцієнта зовнішнього тертя СМ f_w покращує умови витікання продукту.

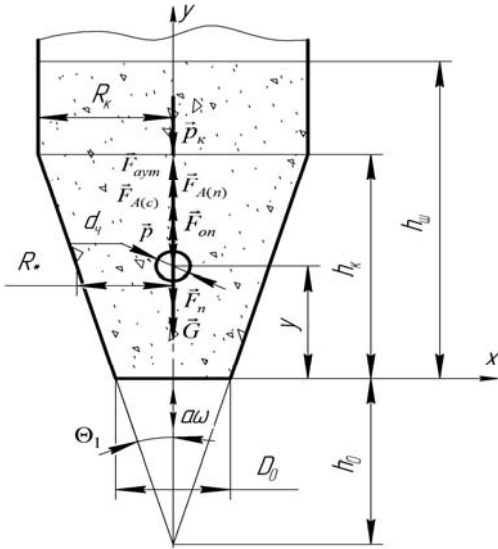


Рис. 4. Сили, що впливають на рух СМ, який знаходиться під дією вібрації

Для дослідження поведінки дрібнодисперсних СМ у розвантажувальній лунці дозатора при вібраційному збуренні потоку розроблено математичну модель, а саме модель Лоренца, що дозволяє описувати три можливі стани дрібнодисперсного СМ під дією вібрації: попереднє ущільнення, циркуляційні і хаотичні рухи продукту.

Оскільки дрібнодисперсний СМ у стані віброкипіння поводить себе аналогічно рідині, то найефективнішим способом одержання моделі Лоренца є її виведення із рівнянь Нав'є-Стокса. Для дослідження впливу режимів коливань дозатора на ефективність його роботи на основі розрахункової схеми (рис. 4) отримано рівняння Нав'є-Стокса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial V_x}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} \right) - V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} - V_y \frac{\partial V_x}{\partial y}, \\ \frac{\partial V_y}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_y}{\partial y^2} \right) - V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} - V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + g \left(\frac{\rho}{\rho_c} + \frac{\rho_n}{\rho_c} - 1 \right) + \\ + \frac{6g\rho k f (h_k - y)}{d_p \rho_c} \times \text{sign}(V_y - a\omega \cos(\omega t) e^{-\varepsilon_{3,k} y}) + \frac{3C_n \rho_n}{4d_p \rho_c} \times \\ \times |U_0 \cdot \sin(\omega t) \cdot e^{-\delta_{3,n} y} - V_y| \times \text{sign}(U_0 \cdot \sin(\omega t) \cdot e^{-\delta_{3,n} y} - V_y) + \\ + \frac{6\tau_0}{4fd_p \rho_c} \cdot \text{sign}(V_y - a\omega \cos(\omega t) e^{-\varepsilon_{3,k} y}). \end{array} \right. \quad (3)$$

де V_x, V_y – де горизонтальна і вертикальна компоненти швидкості V СМ; t – час; ρ – насипна щільність СМ, що знаходиться під дією вібрації; p – тиск СМ; $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості СМ; μ – коефіцієнт ефективною в'язкості СМ; m – маса частинки СМ; ρ_c – густина матеріалу частинки СМ; ρ_n – густина повітря; C_n –

коефіцієнт опору повітря; d_u – умовний діаметр частинки СМ; k – коефіцієнт рухливості матеріалу; y – поточна координата частинки СМ; h_k – висота конічної розвантажувальної лунки дозатора; a – амплітуда коливань днища розвантажувальної лунки дозатора; $\omega = 2\pi \cdot \nu$ – кругова частота коливань днища розвантажувальної лунки дозатора; ν – робоча частота коливань; $\varepsilon_{3,k}$ – коефіцієнт загасання коливань у СМ; U_0 – амплітудне значення швидкості руху повітря у розвантажувальній лунці дозатора; $\delta_{3,n}$ – коефіцієнт загасання швидкості повітряного потоку.

Використавши методи гідродинаміки (закон Бернуллі) та термодинаміки (наближення Буссінеска) отримано із рівнянь Нав'є Стокса модель Лоренца:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \sigma(y_1 - x_1), \\ \dot{y}_1 = r \cdot x_1 - y_1 - x_1 \cdot z_1, \\ \dot{z}_1 = x_1 \cdot y_1 - b \cdot z_1. \end{cases} \quad (4)$$

де параметри моделі Лоренца приведено до вигляду:

$$\sigma = \frac{a\omega h_k}{\nu}, \quad r = \left(E + \frac{\rho_0}{\rho_u}\right) \cdot \frac{a\omega^2}{g}, \quad b = \frac{4}{(h_k/R_0)^2 + 1}, \quad (5)$$

$$\text{де} \quad E = \frac{1}{(R_k/R)^2 + 1 - (R/R_k)^2} + \frac{2tg(\Theta_1) \cdot (R_k^2/R^3 + R/R_k^2)}{\left(\left(R_k/R\right)^2 + 1 - \left(R/R_k\right)^2\right)^2} \cdot y; \quad R_k = R_0 + h_k \cdot tg(\Theta_1);$$

$R = R_0 + y \cdot tg(\Theta_1)$; $R_0 = 0,5D_0$ – радіус випускного отвору розвантажувальної лунки дозатора; D_0 – діаметр випускного отвору розвантажувальної лунки дозатора; $a\omega^2/g = \xi$ – параметр перевантаження.

Характерним показником у моделі Лоренца, в якому поєднані параметри вібрації та геометрії розвантажувальної лунки дозатора, є параметр $r = (E + \rho_0/\rho_u) \cdot a\omega^2/g$. При $r < r^*$ та $\sigma < \sigma^*$ спостерігається ущільнення матеріалу, при $r \geq r^*$ та $\sigma \geq \sigma^*$ – розрихлення продукту і, відповідно, його безперервне та рівномірне витікання.

На основі розробленої математичної моделі отримано формулу, що дозволяє встановити залежність параметру перевантаження ξ від геометричних розмірів розвантажувальної лунки дозатора та фізико-механічних властивостей СМ:

$$\xi = \frac{r^*}{\frac{1}{(R_k/R)^2 + 1 - (R/R_k)^2} + \frac{2tg(\Theta_1) \cdot (R_k^2/R^3 + R/R_k^2)}{\left(\left(R_k/R\right)^2 + 1 - \left(R/R_k\right)^2\right)^2} \cdot y + \frac{\rho_0}{\rho_u}}. \quad (6)$$

Для отримання графічних залежностей $\xi(R_0)$ (рис. 5), $\xi(h_k)$ (рис. 6), $\xi(y)$ (рис. 7) та $\xi(\Theta_1)$ (рис. 8) обрано пшеничне борошно із наступними фізико-механічними властивостями: $\rho_0 = 0,6 \cdot 10^3$ кг/м³; $\rho_u = 0,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Оскільки розглядається поведінка дрібнодисперсного СМ, тому для моделювання було прийнято $r^* = 8$. Основні параметри, що необхідні для отримання залежностей

$\xi(R_0)$, взяті конструктивно: $y=0,05$ м; $h_k=0,6$ м. При моделюванні залежності $\xi(h_k)$ розглянуто шар матеріалу $h=h_k$. Основні геометричні розміри розвантажувальної лунки, що необхідні для отримання залежностей $\xi(h_k)$, також прийняті конструктивно: $y=0,05$ м; $\Theta_1=25^\circ$. Використавши задані вхідні параметри та рівняння (7) у програмному середовищі MathCAD отримано графічні залежності (рис. 5, рис. 6).

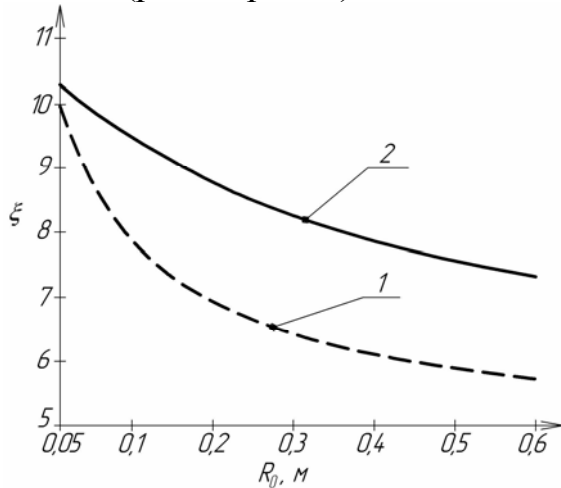


Рис. 5. Вплив радіуса випускного отвору розвантажувальної лунки дозатора на параметр перевантаження (1 – для $\Theta_1 = 10^\circ$; 2 – для $\Theta_1 = 35^\circ$)

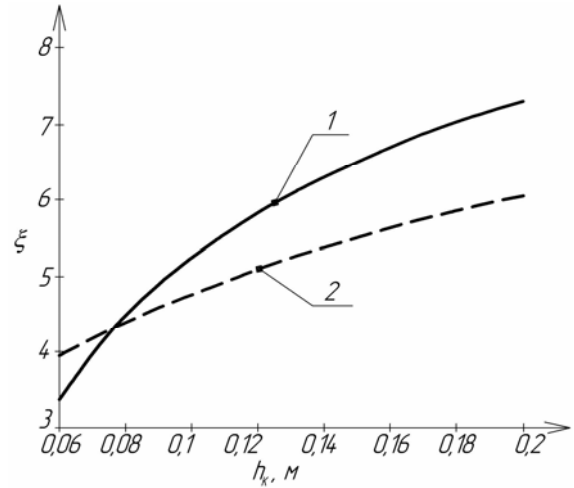


Рис. 6. Вплив висоти розвантажувальної лунки дозатора на параметр перевантаження (1 – для $R_0 = 0,05$ м; 2 – для $R_0 = 0,2$ м)

Зростання радіуса випускного отвору R_0 (рис. 5), що відповідає розміру коливного днища, призводить до збільшення площі поширення вібрації і цим самим – до зменшення параметру перевантаження ξ . Чим менший кут нахилу стінок розвантажувальної лунки Θ_1 , тим істотніше впливає радіус випускного отвору R_0 на параметр перевантаження ξ .

При збільшенні висоти лунки h_k (рис. 6) зростає інтенсивність вібрації $a\omega^2$, що необхідна для досягнення СМ стану віброкипіння. При заданих вхідних параметрах та при зростанні висоти розвантажувальної лунки h_k від 0,06 м до 0,2 м параметр перевантаження зростає від 3 до 7,3 – при $R_0 = 0,05$ м та від 4 до 6 – при $R_0 = 0,2$ м. Тому із збільшенням радіуса випускного отвору R_0 розвантажувальної лунки дозатора динамічна система стає менш чутливою до зміни висоти шару матеріалу h , оскільки збільшується площа дії вібрації.

Також параметр перевантаження ξ значною мірою залежить від значення поточної координати y (рис. 7), яка визначає положення шару СМ у розвантажувальній лунці дозатора, що знаходиться у стані віброкипіння. Для реалізації ефективної роботи вібраційного об'ємного дозатора необхідно забезпечити стан віброкипіння у місці потенційного утворення склепіння. Встановлено, що із зростанням значення координати y параметр перевантаження ξ зменшується, оскільки зменшується вага продукту, що знаходиться вище. При

збільшенні висоти h_k розвантажувальної лунки, за умови повного її завантаження продуктом, збільшується тиск СМ на нижні шари продукту за рахунок зростання ваги матеріалу.

Для графічної інтерпретації залежності $\xi(y)$ прийнято наступні значення геометричних розмірів розвантажувальної лунки дозатора: $\Theta_1 = 25^\circ$; $R_0 = 0,1$ м. На характер руху дрібнодисперсних СМ під дією вібрації також суттєво впливає кут нахилу стінок Θ_1 розвантажувальної лунки (рис. 8). Основні геометричні розміри розвантажувальної лунки, що необхідні для отримання залежностей $\xi(\Theta_1)$, також прийняті конструктивно: $y = 0,05$ м; $R_0 = 0,1$ м.

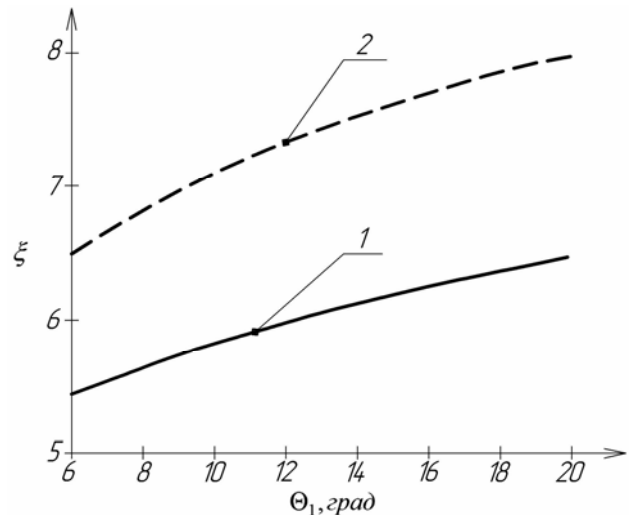
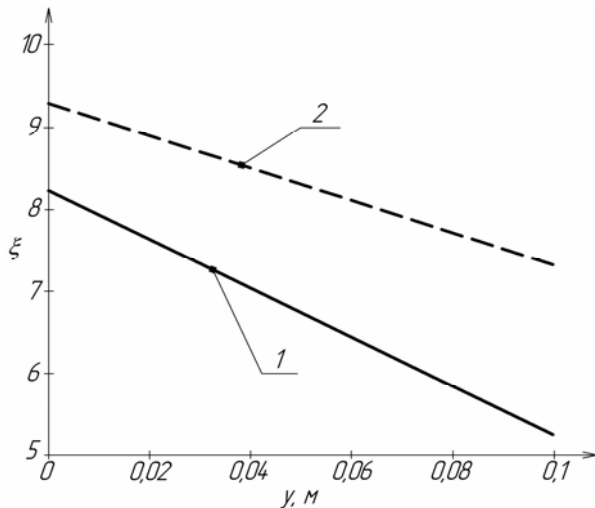


Рис. 7. Вплив положення текучої координати розвантажувальної лунки дозатора на параметр перевантаження (1 – $h_k = 0,2$ м; 2 – $h_k = 0,4$ м)

Рис. 8. Вплив кута нахилу стінок розвантажувальної лунки дозатора на параметр перевантаження (1 – $h_k = 0,2$ м; 2 – $h_k = 0,4$ м)

Результати (рис. 8) засвідчують, що із зростанням кута нахилу стінок Θ_1 лунки для досягнення бажаного результату необхідно збільшити інтенсивність вібрації $a\omega^2$, що обумовлено ущільненням матеріалу у зоні її випускного отвору.

Додатково встановлено вплив режимів вібрації дозатора на його продуктивність. Досліджено, що у випадку безперервного та рівномірного витікання дрібнодисперсного СМ, продуктивність вібраційного об'ємного дозатора лінійно залежить амплітуди a та частоти ω коливань його робочого органу:

$$Q = \rho_0 \cdot A_{e.o} \cdot 2 \cdot a \cdot \pi \cdot v \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot \varepsilon}{2}\right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{4}{\pi} \cdot Z_k \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot \varepsilon}{2}\right)\right)^2}, \quad (7)$$

де $A_{e.o}$ – площа поперечного перерізу випускного отвору розвантажувальної лунки дозатора; Z_k – параметр інтенсивності коливань; $\varepsilon = 0,834\sqrt{S_h}$ – коефіцієнт; S_h – число Струхаля.

У третьому розділі наведено програму, методику та результати експериментальних досліджень.

Експериментальний зразок вібраційного об'ємного дозатора (рис. 9) складається із конічної розвантажувальної лунки 1, на дні якої розміщене коливне конічне днище 2, що приводиться у дію ексцентриковим віброприводом 3 через

кривошипно-шатунний механізм 4. Зміну амплітуди коливань конічного днища дозатора ($0,5 \cdot 10^{-3} \leq a \leq 4 \cdot 10^{-3}$ м) здійснювали розведенням дебалансів, регулювання частоти коливань конічного днища дозатора ($10 < \nu < 30$ Гц) - перетворювачем частоти. В залежності від досліджуваного фактору відгуку експериментальний зразок дозатора (рис. 9) укомплектовувався додатковими пристроями.



Рис. 9. Експериментальний зразок вібраційного об'ємного дозатора

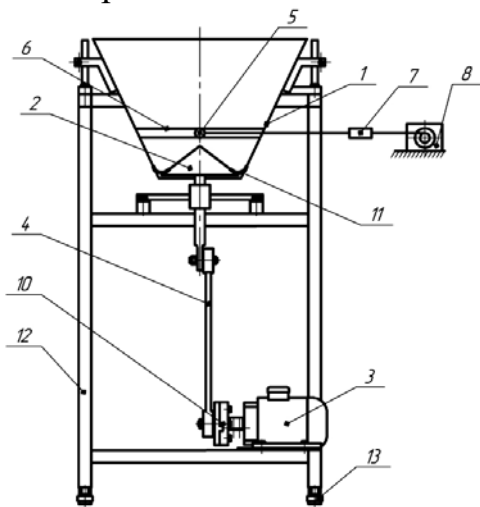


Рис. 10. Конструктивна схема вібраційного дозатора

В результаті експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, що описує залежність коефіцієнта ефективної в'язкості μ пшеничного борошна та цементу від амплітуди a , частоти коливань ν та висоти шару матеріалу h :

- для борошна:

$$\mu = 5,1 - 1477,5 \cdot a - 0,23 \cdot \nu + 133,9 \cdot h - 22,88 \cdot a \cdot \nu + 3775 \cdot a \cdot h + 0,85 \cdot \nu \cdot h, \quad (8)$$

- для цементу:

$$\mu = 15 - 4282,5 \cdot a - 0,39 \cdot \nu + 502,95 \cdot h - 2,125 \cdot a \cdot \nu - 10725 \cdot a \cdot h + 1,23 \cdot \nu \cdot h. \quad (9)$$

Проаналізувавши отримані залежності (8) та (9) можна стверджувати: при зниженні амплітуди a та частоти коливань ν робочого органу дозатора в'язкість

Оскільки числові значення r^* та σ^* , що необхідні для забезпечення ефективної роботи дозатора, залежать від фізико-механічних характеристик СМ, то було проведено експериментальне дослідження залежності коефіцієнта ефективної в'язкості продукту μ від режимів роботи дозатора та висоти шару досліджуваного матеріалу в бункері. В якості дослідного матеріалу обрано пшеничне борошно та цемент.

Принципова схема експериментальної установки вібраційного об'ємного дозатора для визначення впливу режимів роботи дозатора a , ν та висоти шару h дрібнодисперсного СМ в конічній лунці на коефіцієнт ефективної в'язкості продукту μ зображена на рис. 10.

Для визначення коефіцієнта μ , всередині розвантажувальної конічної лунки 1 було встановлено дві паралельні струни 6, що виконували функцію напрямних під час руху кульки 5. Визначення ефективної в'язкості продукту μ здійснювалось шляхом протягування кульки 5 через сипкий продукт, яким була наповнена розвантажувальна лунка 1. Рівномірне переміщення кульки 5 здійснювали механізмом 8, динамометром 7 вимірювали зусилля, необхідне на подолання опору сипкого середовища. Під час проведення експерименту кільцевий випускний отвір лунки дозатора 1 був перекритим.

СМ збільшується; із збільшенням висоти шару h дрібнодисперсного СМ значно зростає його коефіцієнт ефективної в'язкості μ , через значне ущільнення продукту у області випускного отвору, що спричинене зростанням тиску матеріалу, що знаходиться вище; чим більші сили зчеплення у дрібнодисперсному СМ, тим він менш насичений повітрям, і, відповідно, тим істотніший вплив мають режими роботи дозатора на значення його в'язкості; із зростанням насипної щільності дрібнодисперсного СМ збільшується вплив висоти шару продукту на коефіцієнт ефективної в'язкості, через збільшення ваги шару матеріалу, що знаходиться вище.

Використавши методи дослідження стійкості динамічних систем, а саме критерії Ляпунова, отримано залежність параметру σ^* моделі Лоренца від співвідношення h_k/R_0 , при $h_k = h$. Розроблено програму, що дозволяє отримувати значення амплітуди a та частоти ν коливань робочого органу дозатора в залежності від співвідношення h/R_0 (табл. 1) та фізико-механічних властивостей дрібнодисперсного СМ.

На основі даних (табл. 1) визначено параметр r^* та встановлено, що із зростанням сил зчеплення у дрібнодисперсному СМ збільшується значення параметру r^* моделі Лоренца, яке безпосередньо впливає на зростання інтенсивності вібрації $a\omega^2$ робочого органу дозатора, що необхідна для підвищення ефективності процесу дозування.

Табл. 1. Залежність режимів вібрації конічного днища від співвідношення $\frac{h}{R_0}$

$\frac{h}{R_0}$	Пшеничне борошно			Цемент		
	Амплітуда коливань, a , м	Частота коливань, ν , Гц	r^*	Амплітуда коливань, a , м	Частота коливань, ν , Гц	r^*
1	0,0015	19,2	2,23	0,0025	18,2	3,33
1,2	0,002	19,4	3,03	0,003	20	4,83
1,4	0,0025	19,6	3,86	0,0035	21,2	6,33
1,6	0,003	20,4	5,02	0,004	22,6	8,22
1,8	0,0035	21,2	6,33	0,0045	23,8	10,26
2	0,004	22	7,79	0,005	24,8	12,38

Залежність параметру r^* від співвідношення h/R_0 досліджувалась у діапазоні $1 \leq h/R_0 \leq 2$, оскільки при $h/R_0 > 2$ істотно зростає амплітуда a та частота ν коливань днища розвантажувальної лунки дозатора, що призводить до значного динамічного навантаження на його елементи конструкції.

На експериментальному зразку вібраційного дозатора (рис. 9), оснащеному розвантажувальною горловиною та відвідним жолобом було досліджено вплив режимів коливань конічного днища дозатора на його продуктивність та точність. Проведення експерименту здійснювалось наступним чином: у конічну лунку завантажувався дрібнодисперсний СМ, вмикався двигун 3, що спричиняв коливання конічного днища 2. В результаті дії вібрації на СМ відбувалось витікання продукту через розвантажувальний отвір, утворений стінкою розвантажувальної лунки дозатора 1 та конічним днищем 2.

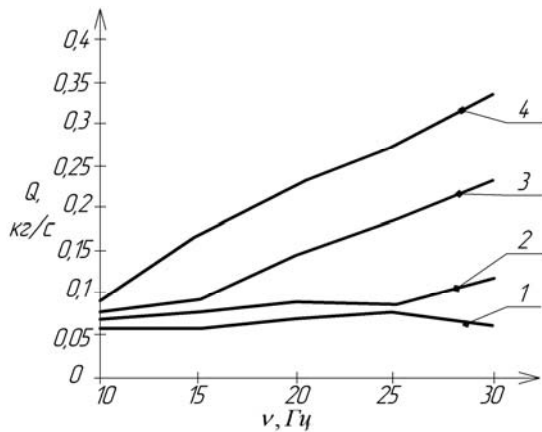


Рис. 11. Вплив частоти коливань на продуктивність дозатора для борошна ($b_o = 0,008$ м)

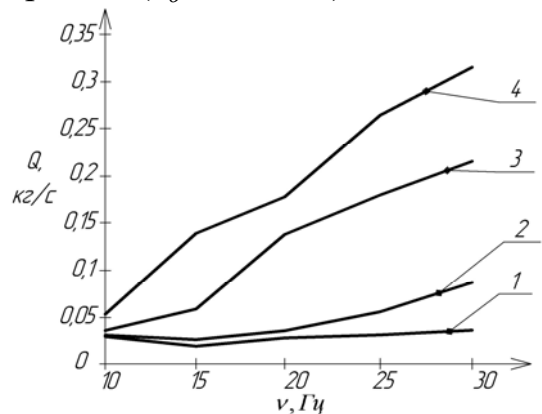


Рис. 12. Вплив частоти коливань на продуктивність дозатора для борошна ($b_o = 0,006$ м)

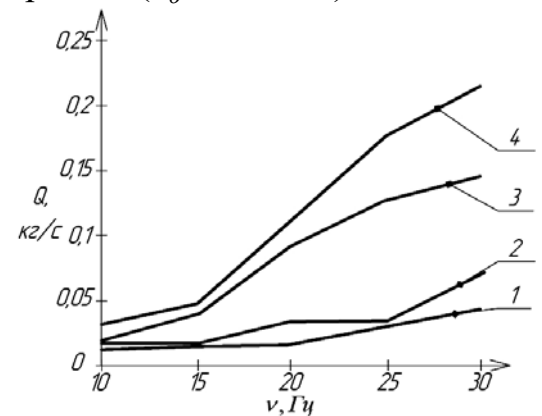


Рис. 13. Вплив частоти коливань на продуктивність дозатора для борошна ($b_o = 0,004$ м)

Встановлено вплив частоти коливань ν кінцевого днища на продуктивність Q об'ємного дозатора для пшеничного борошна при різних амплітудах коливань: 1 – $a = 0,0005$ м; 2 – $a = 0,001$ м; 3 – $a = 0,002$ м; 4 – $a = 0,003$ м для розмірів кільцевого випускного отвору $b_o = 0,008$ м (рис. 11), $b_o = 0,006$ м (рис. 12), $b_o = 0,004$ м (рис. 13).

Із рис. 11 – рис. 13 видно, що продуктивність Q дозатора для пшеничного борошна зростає із збільшенням частоти ν та амплітуди a коливань кінцевого днища. Збільшення розміру випускного отвору розвантажувальної лунки від $b_o = 0,004$ м до $b_o = 0,008$ м призводить до зростання продуктивності Q дозатора більше ніж на 50%. Аналіз експериментальних даних показав, що при амплітуді $a \geq 0,002$ м та частоті коливань $\nu \geq 20$ Гц ($a\omega^2 \geq 31$ м/с²) відхилення від середнього значення продуктивності для кожного дослідження становить $\delta \leq 4\%$. Однак, при $a\omega^2 < 31$ м/с² відхилення продуктивності дозатора від її середнього значення коливається в межах $8\% \leq \delta \leq 42\%$, що вказує на випадковий та непрогнозований характер руху дрібнодисперсного СМ при низькій інтенсивності вібрації.

Визначено відносну похибку δ експериментальних значень продуктивності \bar{Q} від теоретичних Q_i при інтенсивності вібрації $a\omega^2 > 31$ м/с² та встановлено, що експериментальні дослідження виконані із похибкою $6\% \leq \delta \leq 15\%$, що є в межах допустимого.

Використання даних щодо відхилення продуктивності від її середнього значення як критерію оцінки точності дозатора є некоректним, оскільки для отримання достовірних результатів число паралельних дослідів повинне бути не меншим 20. Тому наступним етапом проведення експериментальних досліджень було встановлення впливу режимів коливань кінцевого днища дозатора на його точність. Для цього було розглянуто три режими роботи дозатора для борошна: $a\omega^2 < 31$ м/с²; $a\omega^2 \approx 31$ м/с²; $a\omega^2 \gg 31$ м/с². З цією метою було проведено ряд дослідів для визначення впливу режимів коливань кінцевого днища

розвантажувальної лунки на витрати дозатора при роботі з пшеничним борошном, що витікає через кільцевий випускний отвір шириною $b_0 = 0,008$ м за час $t = 20$ с. Контроль точності дозування проводився ваговим способом. З метою зменшення впливу випадкової похибки на результати експерименту, досліди виконувались із двадцятикратною повторюваністю $n = 20$.

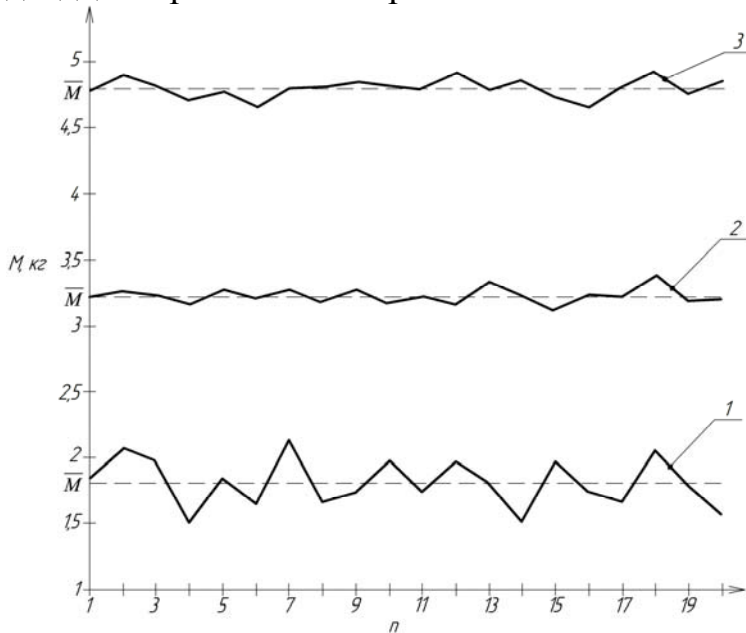


Рис. 14. Показники точності дозатора для пшеничного борошна (1 – при $a\omega^2 = 17,7$ м/с²; 2 – $a\omega^2 = 31,6$ м/с²; 3 – $a\omega^2 = 71$ м/с²) що вказує низький коефіцієнт варіації точності дозування $\delta_m \leq 2\%$.

Аналогічно проведено експериментальні дослідження впливу режимів роботи дозатора на його продуктивність при дозуванні цементу. Встановлено, що продуктивність Q дозатора для цементу також зростає із збільшенням частоти ν та амплітуди a коливань робочого органу. Характер кривих, при дозуванні цементу, аналогічний як і для пшеничного борошна, та відрізняється лише кількісними показниками, а саме: встановлено, що вібраційний об'ємний дозатор для цементу забезпечує високу точність дозування при інтенсивності вібрації $a\omega^2 > 47$ м/с².

Отже, на основі даних експериментальних досліджень можна зробити висновки: визначальним фактором, що впливає на точність дозатора, є інтенсивність вібрації $a\omega^2$ кінцевого днища, яка залежить від властивостей продукту дозування та геометрії розвантажувальної лунки; застосування низьких частот ν та амплітуд a коливань робочого органу дозатора при роботі із дрібнодисперсним СМ призводить до непрогнозованої поведінки продукту та зниження точності процесу дозування; продуктивність Q вібраційного об'ємного дозатора лінійно залежить від частоти ν та амплітуди a коливань робочого органу лише при досягненні продуктом стану ламінарних циркуляції; зростання насипної щільності ρ_0 дрібнодисперсного СМ та розміру кільцевого випускного отвору b_0 дозатора суттєво збільшує його продуктивність Q .

Експериментальне дослідження точності дозатора проводилось при інтенсивності вібрації $a\omega^2 = 17,7$ м/с² ($a = 0,002$ м, $\nu = 15$ Гц); $a\omega^2 = 31,6$ м/с² ($a = 0,002$ м, $\nu = 20$ Гц); $a\omega^2 = 71$ м/с² ($a = 0,002$ м, $\nu = 30$ Гц). Для візуальної оцінки точності дозування пшеничного борошна на основі отриманих експериментальних даних представлено відхилення відібраних проб СМ M_i від середнього значення \bar{M} для різних значень $a\omega^2$ (рис. 14).

Встановлено, що при інтенсивності вібрації $a\omega^2 > 31$ м/с² (криві 2 та 3) вібраційний об'ємний дозатор забезпечує високу точність дозування пшеничного борошна, на

Бункер із розвантажувальною лункою може працювати як автономний часовий дозатор з визначенням кількості продукту дозування за одиницю часу (як у випадку експериментального зразка), так і завантажувальний пристрій технологічних позицій формування дози об'ємних та вагових дозаторів для дрібнодисперсних СМ.

У четвертому розділі запропоновано конструкцію вібраційного об'ємного дозатора (рис. 15) та методику його інженерного розрахунку.

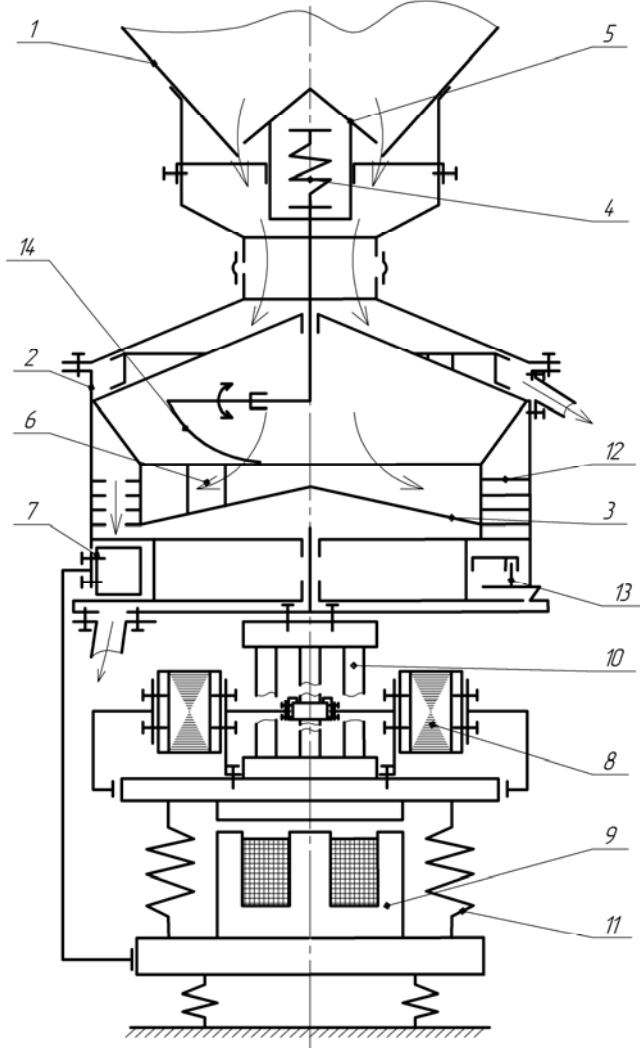


Рис. 15. Принципова схема вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ

Давач контролю рівня СМ 14 в чаші 2 керує роботою віброзбудника 4. Для покращення умов випорожнення мірника 7 останній, за допомогою кронштейна, з'єднаний з реактивною масою, яка здійснює вертикальні коливання.

В методиці інженерного розрахунку, використавши результати розроблених математичних моделей, приведено аналітичні залежності амплітуди та частоти коливань днища бункера та геометричних розмірів його розвантажувальної лунки від фізико-механічних властивостей дрібнодисперсних СМ. Оскільки такого типу вібраційні дозатори працюють у білярезонансних режимах коливань, то задавшись бажаними показниками робочої частоти ω_p , можна отримати оптимальні значення амплітуди a_{opt} коливань конічного днища завантажувального бункера:

Дозатор з електромагнітним приводом побудований за тримасною схемою з незалежним збудженням кутових та вертикальних коливань. Робочим органом дозатора є чаша 2, де відбувається процес формування дози СМ. Працює дозатор наступним чином. При включенні приводу 4 конічного днища 5 СМ через кільцевий випускний отвір завантажувального бункера 1, утворений стінкою конічної лунки і днищем 5, переміщується в чашу дозатора 2. Рух СМ в чаші 2 відбувається під дією процесу вібро-транспортування. Матеріал з конічного днища 3 через вікно 6 потрапляє на транспортні доріжки 12, де переміщується на позицію завантаження мірника 7. Наповнення та випорожнення мірника реалізується внаслідок обертання двох відсікаючих дисків, що приводяться у рух за допомогою фрикційного механізму 13, який перетворює кутові коливання чаші 2 у плавний обертний рух дисків.

Приводом кутових коливань дозатора є два електромагніти 8 та комбінована пружна система 10, приводом вертикальних коливань – електромагніт 9 та система плоских пружин 11.

$$a_{onm} = \frac{r^* \cdot g}{\left(\frac{1}{(R_k/R)^2 + 1 - (R/R_k)^2} + \frac{2tg(\Theta_1) \cdot (R_k^2/R^3 + R/R_k^2)}{\left((R_k/R)^2 + 1 - (R/R_k)^2 \right)^2} \cdot y + \frac{\rho_0}{\rho_4} \right) \cdot \omega_p^2}. \quad (10)$$

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень визначено шляхи підвищення ефективності роботи вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ. Для підвищення продуктивності дозатора, конструкція якого запропонована вище, експериментально досліджено вплив режимів коливань його робочого органу на швидкість вібротранспортування дрібнодисперсного СМ в чаші дозатора. Підтверджено ефективність використання в якості приводу дозатора незалежних віброзбудників та пружних систем кутових та вертикальних коливань, які дозволяють забезпечувати еліптичні траєкторії руху чаші дозатора і, відповідно, підвищувати швидкість вібраційного транспортування дрібнодисперсних СМ, що позитивно позначається на його продуктивності. Встановлено аналітичні залежності для визначення геометричних розмірів та кінематичних параметрів фрикційного механізму відсікаючих дисків мірника.

Оскільки дрібнодисперсні СМ налипають до робочих органів дозатора, тому було змодельовано та теоретично досліджено параметри вібрації, необхідні для забезпечення відриву налиплого шару СМ. Результати підтвердили неможливість реалізації таких режимів коливань за допомогою наявного приводу дозатора. Тому очищення дозатора від налиплого шару дрібнодисперсного СМ необхідно проводити з певною періодичністю під час профілактичних зупинок обладнання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів та режимів роботи вібраційних об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Аналіз літературних джерел засвідчив відсутність математичних моделей витікання дрібнодисперсних СМ з вихідних каналів ємкостей, що унеможлиблює встановлення параметрів дозатора при роботі з такими продуктами дозування, а також відсутність методики розрахунку та проектування об'ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ, що ускладнює процес їх створення.

2. Розроблено математичну модель витікання дрібнодисперсних СМ із розвантажувальної лунки дозатора при гравітаційному витіканні, що дозволяє встановити розмір випускного отвору, при якому формується стійке склепіння продукту при відсутності дії вібрації, в залежності від фізико-механічних властивостей СМ, кута нахилу стінок та висоти розвантажувальної лунки. Встановлено, що значення коефіцієнта зовнішнього тертя $f_w \geq 0,55$ та кути нахилу стінок розвантажувальної лунки дозатора $\Theta_1 \geq 20^\circ$ практично не впливають на розмір випускного отвору.

3. Розроблено математичну модель витікання дрібнодисперсних СМ із розвантажувальної лунки дозатора при вібраційному збуренні потоку (модель Лоренца), що дозволяє прогнозувати поведінку дрібнодисперсного СМ (ущільнення, циркуляційні рухи, хаотичні руху продукту) в залежності від амплітуди та частоти

коливань робочого органу, а також геометрії розвантажувальної лунки дозатора. Ефективна робота вібраційного дозатора забезпечується при циркуляційних рухах СМ. Встановлено, що із збільшенням кута нахилу стінок Θ_1 та висоти наповнення розвантажувальної лунки h дозатора зростає інтенсивність вібрації, необхідна для рівномірного витікання дрібнодисперсних СМ:

– при збільшенні кута нахилу стінок розвантажувальної лунки від 5° до 20° та $D_0 = 0,2$ м – параметр перевантаження ξ зростає на 23 % при висоті шару СМ 0,4 м та на 18 % – при висоті шару СМ 0,2 м;

– при збільшенні висоти шару СМ від 0,2 м до 0,5 м та $\Theta_1 = 25^\circ$ – параметр перевантаження ξ зростає приблизно на 29 % при діаметрі випускного отвору 0,1 м та на 32 % – при діаметрі випускного отвору 0,4 м.

Однак збільшення діаметру випускного отвору розвантажувальної лунки дозатора, навпаки, покращує показники текучості дрібнодисперсного СМ:

– при збільшенні діаметру випускного отвору від 0,1 до 0,4 м та $h = 0,6$ м – параметр ξ зменшується на 30 % при куті нахилу стінок розвантажувальної лунки 10° та на 13 % – при куті нахилу стінок розвантажувальної лунки 35° .

4. Експериментально встановлено значення коефіцієнтів ефективної в'язкості пшеничного борошна та цементу, що дозволяють конкретизувати математичну модель Лоренца, а саме визначити значення параметра r^* моделі Лоренца, який дозволяє встановити раціональні режими роботи дозатора, що підвищать його ефективність. Встановлено, що значення параметра r^* моделі Лоренца при зростанні співвідношення $\frac{h}{R_0}$ від 1 до 2 змінюється у межах $2,25 \leq r^* \leq 7,82$ – для борошна і $3,34 \leq r^* \leq 12,39$ – для цементу.

5. Експериментально досліджено продуктивність роботи вібраційного об'ємного дозатора та точність процесу дозування. Зокрема при ширині кільцевого випускного отвору $b_0 = 0,006$ м та амплітуді коливань $a = 0,003$ м продуктивність витікання борошна при зростанні частоти коливань кінцевого днища від 20 до 30 Гц збільшується від 0,18 кг/с до 0,32 кг/с (на 78 %), а продуктивність витікання цементу – від 0,31 кг/с до 0,44 кг/с (на 42 %). Зростання амплітуди коливань кінцевого днища також призводить до збільшення продуктивності дозатора. Таким чином експериментальні дослідження підтвердили можливість регулювання продуктивності дозатора зміною його режимів роботи. Похибка об'ємного дозування становить менше 2 %, а відхилення експериментального значення продуктивності від теоретичного – в межах 6...15% при інтенсивності вібрації $a\omega^2 > 31$ м/с² – для пшеничного борошна та $a\omega^2 > 47$ м/с² – для цементу.

6. Встановлено основні параметри фрикційного механізму, який приводить в рух відсікаючі диски дозатора, що забезпечують формування дози продукту: довжину його робочої частини та кругову частоту обертання дисків.

7. Удосконалено конструкцію вібраційного об'ємного дозатора для дрібнодисперсних СМ та розроблено методику його інженерного розрахунку, яка

дозволяє встановити режими роботи та основні параметри дозатора, що забезпечують підвищення його ефективності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. 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.

2. Шоловій Ю. П. Вплив параметрів вібрації на ефективність роботи об'ємного дозатора для дрібнодисперсних сипких матеріалів // Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // Молодий вчений. – 2016. – №2. – С. 137 – 142.

3. Шоловій Ю. П. Міцність зварних швів полімерних пакетів / Ю. П. Шоловій, Н. І. Прокопець // Упаковка. – 2012. – №4. – С. 27 – 31.

4. Шоловій Ю. П. Обґрунтування конструктивних параметрів лунки дозатора для дрібнодисперсних сипких матеріалів / Ю. П. Шоловій, Н. І. Прокопець // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: В-во НУ «Львівська політехніка». – 2013. – Вип. 47. – С. 45 – 50.

5. 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.

6. Sholoviy Y. P. The development of the mathematical model of the fine disperse material behavior under vibration in the conical hole of the dispenser / Y. P. Sholoviy, N. I. Maherus // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2014. – № 786. – С. 24 – 29.

7. Шоловій Ю. П. Особливості вібраційного транспортування дрібнодисперсної сипкої продукції / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // Упаковка. – 2014. – №1. – С. 55 – 58.

8. Магерус Н. І. Дослідження кінематики фрикційного механізму повороту відсікаючих дисків вібраційного об'ємного дозатора / Н. І. Магерус // Технічні науки «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка: 2015. – Випуск 156. – С. 446 – 452.

9. Патент № 95081 У України, В65G65/30. Вібраційний дозатор для сипких матеріалів / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус. – № 201407044; Заявл. 23.06.2014 ; Опубл. 10.12.2014. Бюл. № 23. – 6 с.

10. Шоловій Ю. П. Особливості дозування дрібнодисперсних матеріалів / Ю. П. Шоловій, Н. І. Прокопець // Новітні технології пакування: ІХ наук.-практ. конф. молодих вчених: матеріали доповідей. Київ, 12 квітня 2013 р. – Упаковка. – 2013. – №3. – С. 27 – 29.

11. Шоловій Ю. П. Дослідження впливу вібрації на поведінку дрібнодисперсного сипкого матеріалу при витіканні з ємностей / Ю. П. Шоловій, Н. І. Прокопець // XI-ий міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у

Львові, 15–17 травня 2013 р.: тези доповідей. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2013. – С. 98 – 99.

12. Шоловій Ю. П. Моделювання поведінки дрібнодисперсного матеріалу при його витіканні із конічної лунки дозатора / Ю. П. Шоловій, Н. І. Прокопець // Інженерна механіка та транспорт: IV-а Міжнародна конференція молодих вчених ЕМТ–2013, 21 – 23 листопада 2013р., матеріали конф. – Львів: В-во НУ“Львівська політехніка”, 2013.– С. 42 – 43.

13. Шоловій Ю. П. Вплив геометрії лунки дозатора на швидкість витікання сипкого матеріалу / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // X-а науково-практична конференція молодих вчених «Новітні технології пакування»: матеріали доповідей. Київ, 9 – 11 квітня 2014 р. – Упаковка. – 2014. – №3. – С. 40 – 42.

14. Шоловій Ю. П. Модель поведінки дрібнодисперсного сипкого матеріалу під дією вібрації у конічній лунці дозатора / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // III-я Міжнародна науково-технічна конференція ТК-2014 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів»: збірник наукових праць. Луцьк, 28-30 травня 2014. – Видавництво Луцького національного технічного університету. – 2014. – С. 79 – 81.

15. Шоловій Ю. П. Вплив вологості дрібнодисперсного сипкого матеріалу на витікання з конічної лунки дозатора під дією вібрації / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // Міжнародна наукова конференція присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти в харчовій промисловості»: матеріали доповідей. – Київ, 13 – 17 жовтня 2014р. – НУХТ. – 2014. – С. 467.

16. Шоловій Ю. П. Вібраційний об’ємний дозатор для дрібнодисперсних сипких матеріалів / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // XI-а Науково-практична конференція молодих вчених «Новітні технології пакування»: матеріали доповідей. Київ, 03 квітня 2015 р. – Упаковка. – 2015. – С. 58 – 60.

17. Шоловій Ю. П. Оптимізація режимів роботи вібраційного об’ємного дозатора для дрібнодисперсних сипких матеріалів / Ю. П. Шоловій, Н. І. Магерус // XII-а науково-практична конференція молодих вчених «Новітні технології пакування»: матеріали доповідей. Київ, 14 квітня 2016р. – Упаковка. – 2016. – №3. – С. 40 – 42.

АНОТАЦІЯ

Магерус Н. І. Обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційних об’ємних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 – машинознавство. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів 2016.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання машинознавства – обґрунтуванню параметрів та режимів роботи вібраційних об’ємних дозаторів для дрібнодисперсних СМ, яке дозволить підвищити ефективність їх проектування та експлуатації. Використання впливу вібрації на сипкі матеріали зі складними фізико-механічними характеристиками дозволяє мінімізувати негативні явища, що виникають у процесі дозування таких

продуктів, забезпечити керованість процесу, підвищити його продуктивність та точність. Для вирішення поставленого завдання розроблено математичні моделі руху дрібнодисперсних СМ із конічної розвантажувальної лунки дозатора при гравітаційному витіканні та вібраційному збуренні потоку. Результати математичного моделювання, розроблений алгоритм розрахунку та підбору раціональних параметрів та режимів роботи вібраційних об'ємних дозаторів дозволяє прогнозувати поведінку сипкого матеріалу під дією вібрації, що є визначальним фактором ефективності роботи такого обладнання. Запропонована методика інженерного розрахунку дає змогу підвищити ефективність процесу створення вібраційних дозаторів для дрібнодисперсних сипких матеріалів.

Ключові слова: вібраційний об'ємних дозатор, дрібнодисперсний сипкий матеріал, параметр перевантаження, інтенсивність вібрації, модель Лоренца.

АННОТАЦИЯ

Магерус Н. И. Обоснование параметров и режимов работы вибрационных объемных дозаторов для мелкодисперсных сыпучих материалов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение. – Национальный университет «Львовская политехника», Львов 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи машиноведения – обоснованию параметров и режимов работы вибрационных объемных дозаторов для мелкодисперсных СМ, что позволит повысить эффективность их проектирования и эксплуатации. Проведен анализ особенностей конструкций вибрационных объемных дозаторов для мелкодисперсных СМ и исследованы математические модели поведения сыпучего продукта в процессе дозирования, а также установлено влияние режимов колебаний рабочих органов дозатора на его эффективность работы. Доказано, что использование влияния вибрации на сыпучие материалы со сложными физико-механическими характеристиками позволяет минимизировать негативные явления, возникающие в процессе дозирования таких продуктов, обеспечить управляемость процесса, повысить его производительность и точность.

Для решения поставленной задачи разработана математическая модель движения мелкодисперсных СМ в разгрузочной воронке дозатора при гравитационном истечении продукта. Установлено, что для обеспечения эффективной работы объемного дозатора необходимо знать влияние основных геометрических параметров разгрузочной воронки и физико-механических характеристик продукта дозирования на его поведение в процессе истечения. За результатами исследований установлена аналитическая зависимость для определения предельного значения ширины кольцевого выпускного отверстия разгрузочной воронки дозатора, при котором формируется устойчивый свод над выпускным отверстием.

Разработана математическая модель поведения мелкодисперсных СМ в конической разгрузочной воронке дозатора при вибрационном возбуждении потока, исследовано влияние параметров разгрузочной воронки на режимы работы

вибрационного объемного дозатора для мелкодисперсных СМ, обеспечивающие повышение его эффективность работы. Установлено, что при непрерывном и равномерном истечении мелкодисперсного СМ, чему способствует его ламинарная циркуляция или хаотические движения в конической воронке, производительность объемного дозатора линейно зависит от амплитуды и частоты колебаний его рабочего органа.

Разработан экспериментальный образец вибрационного объемного дозатора на котором определены коэффициент эффективной вязкости продукта дозирования, производительность и точность вибрационного объемного дозатора, проверена адекватность разработанных математических моделей.

Результаты математического моделирования, разработанный алгоритм расчета и подбора оптимальных параметров и режимов работы вибрационных объемных дозаторов позволяет прогнозировать поведение сыпучего материала под действием вибрации, что является определяющим фактором повышения эффективности работы такого оборудования. Предложенная методика инженерного расчета позволяет повысить эффективность процесса проектирования вибрационных дозаторов для мелкодисперсных сыпучих материалов.

Ключевые слова: вибрационный объемный дозатор, мелкодисперсный сыпучий материал, параметр перегрузки, интенсивность вибрации, модель Лоренца.

SUMMARY

Maherus N. I. Justification of the parameters and work modes of the vibration volumetric dispensers for the fine-granular unstable materials. – Manuscript.

Thesis for Candidate of Technical Sciences Degree in speciality 05.02.02 – science of mechanics. – Lviv Polytechnic National University, Lviv 2016.

The thesis is devoted to the solution of the actual applied scientific task of science of mechanics – substantiation of work parameters and modes of vibration dispensers for the fine-granular materials, that will increase the efficiency of their design and operation. The use of vibration impact on the fine-granular unstable materials with complex physical-mechanical characteristics allows to minimize negative effects, resulting in dispensing of such products, provide process control, increase its productivity and accuracy. Mathematical models of motion of fine-granular materials from the conical discharge hole during gravitational flux and vibration flow disturbance have been developed to solve the task. The results of mathematical modeling, developed algorithm of calculation and selecting rational parameters and work modes of the volumetric vibration dispensers allow to predict behavior of the fine-granular material under the vibration influence, that is a determining factor in the efficiency of such equipment. The proposed technique of engineering calculation allows to increase the efficiency of process creation of vibration dispensers for the fine-granular materials.

Keywords: vibration volumetric dispenser, fine-granular unstable material, overload parameter, vibration intensity, Lorentz model.