

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ В БУНКЕРАХ

Семенцов В.В.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

На основі законів механіки суцільного середовища про зберігання маси і зміни кількості руху визначений зв'язок швидкості руху сипучого корму в наддозаторному бункері від його витрат через дозуючий пристрій.

Постановка проблеми

Основною операцією при приготуванні комбікормів і кормової суміші є дозування компонентів, так як від точності роботи дозаторів залежить її якість. Неточність дозування знижує кормову і біологічну цінність корму, а надлишок компонентів, які мають велику вартість веде до збільшення собівартості продукції і порушенню балансу поживних речовин, а в деяких випадках - до захворювання тварин і птиці [1]. Для забезпечення

Процес дозування сипучих матеріалів, можна розділити на три фази: живлення або заповнення робочого органу дозатора матеріалом; формування дози або рівномірного потоку матеріалу; видача матеріалу. Основний вплив при цьому на нерівномірність дозування має фаза заповнення дозуючого пристрою сипучим матеріалом. Робота фази заповнення дозуючого пристрою сипучим матеріалом залежить від конструктивних параметрів бункерів і форми випускних отворів, які забезпечують безперерйне надходження матеріалу в зону формування дози або потоку. Приймаючи до уваги наукові розробки кафедри технічних систем і технологій тваринництва ХНТУСГ ім. Петра Василенка виникає необхідність в дослідженні руху сипучих кормів в наддозаторних бункерах при нормованому їх витіканні.

Аналіз останніх досліджень

Параметрами, які характеризують процес витікання сипучих матеріалів з бункерів, є: мінімально допустимий розмір випускного отвору; пропускна спроможність випускних отворів бункерів, об'ємна витрата сипучого матеріалу; швидкість витікання матеріалу; тиск матеріалу на різні поверхні бункера та інші. Вивченню процесів витікання сипучих матеріалів із бункерів присвячені наукові праці Алфьорова К.В. [2], Зенкова Р.Л. [3], Гячева Л.В. [4] та інших.

К.В. Алфьоров пропонує мінімально допустимий розмір випускного отвору бункеру визначати по формулі

$$A = \frac{1+m}{2m} k_1 (d_{max} + 80) \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

де $m = \frac{B}{A}$ - відношення сторін випускного отвору бункера; k_1 - емпіричний коефіцієнт $k_1=2,4-2,6$; d_{max} - максимальний розмір частинки сипучого матеріалу; φ - кут внутрішнього тертя сипучого матеріалу.

Л.В. Гячев пропонує другу формулу для визначення мінімально допустимого розміру випускного вікна

$$A = d_{max} \left[1.8 + 0.038 \left(\frac{f}{k} \right)^{18} \right], \quad (2)$$

де $f = \frac{S_u}{d_e^3}$; $k = \frac{V}{d_e^3}$; S_u - площа поверхні частинки; d_e - діаметр круга, який має таку ж площу, як і частинка; V - об'єм частинки.

В літературних джерелах є ще значна кількість робіт по визначенню мінімально допустимого розміру випускного отвору бункера, які відрізняються одна від другої. Тобто, немає єдиного рішення цієї задачі. Подібне положення спостерігається і при визначенні об'ємної витрати матеріалу (продуктивності) при їх витіканні з бункерів. Що стосується досліджень руху сипучих кормів в наддозаторних бункерах при нормованому їх витіканні, нами в літературних джерелах не зустрічалися.

Формування цілей

Метою роботи є визначення зв'язку швидкості руху сипучого корму в наддозаторному бункері і його витрат через дозуючий пристрій.

Виклад основного матеріалу

Конструкція дозатора сипучих кормів [5] складається з вертикально розташованого бункера, поперечний перетин якого має прямокутну форму і звужується в його нижній частині (рис.1).

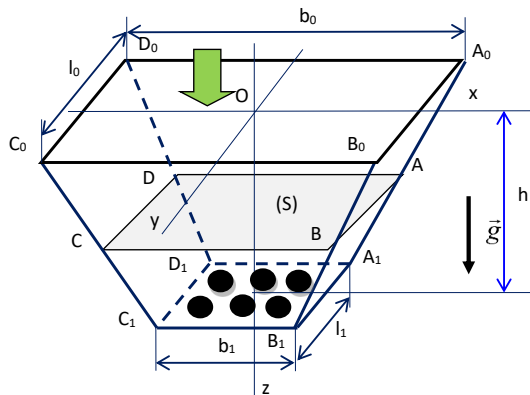


Рис.1. Принципова схема дозатора сипучих кормів

Внизу бункера розташовується днище, в якому є отвори діаметру d_0 . Сипучий корм поступає через верхній перетин $A_0B_0C_0D_0$ в бункер і під дією сили тяжіння просувається вниз. Корм, як сипуче середовище, має властивість утворювати склепіння над отвором малого діаметру [6, 7]. При цьому рух середовища через даний отвір припиняється. Для відновлення руху середовища через отвір необхідно усунути явище утворення склепінь. У запропонованій конструкції гравітаційного дозатора сипучих кормів руйнування склепінь над отворами проводиться механічним чином за допомогою ворошилки – циліндрового прутка, розташованого паралельно ребрам днища $A_1B_1C_1D_1$ на невеликій відстані від нього і що здійснює коливальні рухи з малою амплітудою в горизонтальному напрямі уздовж ребер A_1D_1, B_1C_1 . Крім механічного руйнування куполів, рухома ворошилка створює вібраційний рух середовища околу отворів – це рух з малою амплітудою і великою частотою. При цьому усереднений рух середовища тільки при дії цього вібраційного поля сил відсутній. Проте, фізичні характеристики середовища, усереднені по періоду вібраційних коливань, змінюються. Так в'язкість і коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя зменшуються. Приблизний характер такої залежності для динамічного коефіцієнта зсувної в'язкості μ від інтенсивності вібраційних навантажень, де a - амплітуда руху ворошилки, ω - частота її коливань, має вигляд $\mu = \mu_0 F(j)$. Функція $F(j)$ представлена на рис.2 [8].

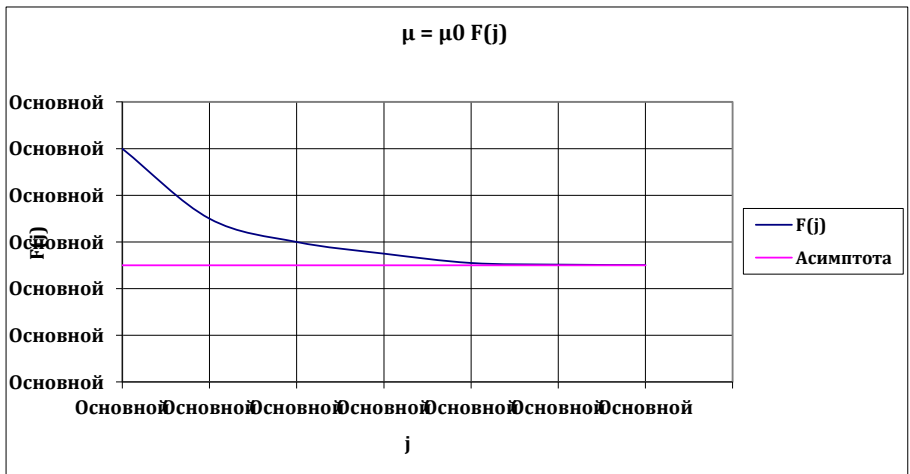


Рис.2. Графічна залежність впливу вібрації на в'язкість сипучого матеріалу

Зміна величини коефіцієнта в'язкості середовища поблизу отворів приводить до зміни величини витрати її через отвір. Дане явище лежить в основі принципу роботи пристрою. У даному пристрої при нерухомій ворошилці витрата корму повинна дорівнювати нулю. У математичній моделі цю обставину можна врахувати, прийнявши, що в'язкість середовища при $j = 0$ приймає нескінченно велике значення. Тоді на рис.2 вертикальна вісь повинна стати вертикальною асимптотою для графіка.

Математична постановка задачі. Описуваний пристрій призначений для дозування сипучих кормів, які можна розглядати як сипке середовище. Дане середовище має складну і неоднозначну реологію [9-12]. У рівновазі і при повільних рухах дане середовище описується реологією пластичного тіла. При швидких рухах і за наявності вібраційної дії середовище поводить як неньютонівська рідина, що описується нелінійними співвідношеннями реологій. Найбільш важко описуваний стан має дане середовище в області помірних рухів. Необхідно відзначити, що при будь-якому описі даного середовища потрібне залучення емпіричних співвідношень і введення феноменологічних коефіцієнтів, які визначаються експериментальним шляхом. Як показують теоретичні і експериментальні дослідження, для отримання якісних результатів буває достатньо залучення моделі лінійної ньютонівської рідини [13, 14]. В цьому випадку закони механіки суцільних середовищ про збереження маси і зміну кількості руху дають скалярне рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0, \quad (3)$$

і рівняння руху

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \vec{v} = \operatorname{div}(\hat{\sigma} - \rho \vec{v} \vec{v}) + \rho \vec{g}, \quad (4)$$

де $\hat{\sigma} = \|\sigma_{ik}\|_{i,k=1}^3$ - тензор напруги (симетричний тензор другого рангу); ρ - щільність середовища; \vec{v} - поле швидкостей; \vec{g} - щільність масових сил.

Співвідношення реологій полягають у вказівці функціональної залежності тензора напруги від кінематичних характеристик руху, зокрема, для ньютонівської рідини від тензора швидкостей деформацій середовища $\hat{V} = \|V_{ik}\|_{i,k=1}^3$, компоненти якого в декартовій системі координат (x_1, x_2, x_3) мають вигляд

$$V_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right). \quad (5)$$

Як відомо, зв'язок компонент тензора напруги з компонентами тензора швидкостей деформацій визначається законом Нав'є-Стокса [15, 16]

$$\sigma_{ik} = \left[-p + \left(\eta - \frac{2}{3} \mu \right) \operatorname{div} \vec{v} \right] \delta_{ik} + \mu \left(\frac{\partial v_k}{\partial x_i} + \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right), \quad (6)$$

де p - тиск; η - динамічний коефіцієнт об'ємної в'язкості; μ - коефіцієнт динамічної зсувної в'язкості;

Рух сипучого корму через бункер. Сипучий корм поступає в бункер зверху, повністю заповнює його, утворюючи зверху плоску вільну поверхню $A_0 B_0 C_0 D_0$

(рис.1). Внаслідок того, що витрати сипучого корму через вихідні отвори малі, можна прийняти додаткові припущення, що спрощують завдання:

- швидкості і градієнти швидкостей в об'ємі бункера малі;
- сили в'язкого тертя і інерційні сили в об'ємі малі в порівнянні з гідростатичним тиском p ;
- розподіл тиску в бункері не міняється в площині $z = \text{const}$, а, отже, тиск залежить тільки від глибини шару в бункері $p = p(z)$;

- деформації корму такі, що можна нехтувати зміною об'єму (аналог нестискання рідини).

Крім того, будемо рахувати процеси, що протікають в пристрої, є стаціонарними, а, отже частинні похідні за часом рівні нулю. Тоді формула (6) дає співвідношення

$$\sigma_{ik} = -p\delta_{ik}, \quad (7)$$

а рівняння руху переходить в рівняння рівноваги

$$0 = -\nabla p + \rho \vec{g}. \quad (8)$$

Після проектування обох частин рівняння (8) на вісь Oz отримаємо рівняння для тиску

$$\frac{dp}{dz} = \rho g, \quad (9)$$

після інтегрування рівняння (9), отримаємо вираз для визначення розподілення тиску по глибині сипучого корму в бункері

$$p = p_a + \rho g z, \quad (10)$$

де p_a - тиск поза областю бункера (атмосферний тиск).

Рівняння нерозривності (3) переходить в рівняння нестискання

$$div \vec{v} = 0. \quad (11)$$

При цьому на твердій поверхні стінки бункера виконується умова не протікання

$$v_n = 0, \quad (12)$$

- нормальна складова швидкості середовища на ній рівна нулю. Позначимо через \vec{n} зовнішню нормаль до поверхні Σ , яка обмежує об'єм V : $A_0 B_0 C_0 D_0 A_1 B_1 C_1 D_1$. Після інтегрування обох частин рівняння (12) по даному об'єму і застосував формулу Гауса-Остроградського, отримаємо

$$0 = \iiint_V div \vec{v} dV = \oint_{\Sigma} v_n d\Sigma. \quad (13)$$

Прийmemo до уваги умову (12) і те, що нормаль на поверхні $A_0 B_0 C_0 D_0$ направлена протилежно осі Oz , а на $A_1 B_1 C_1 D_1$ колінеарна, отримаємо

$$\int_{-b_1/2}^{b_1/2} \int_{-l_1/2}^{l_1/2} v_z(x, y, h) dx dy = \int_{-b_0/2}^{b_0/2} \int_{-l_0/2}^{l_0/2} v_z(x, y, 0) dx dy. \quad (14)$$

Інтеграл, які стоять в лівій і правій частинах співвідношення (14) (позначимо їх як Q_1, Q_0) представляють собою об'ємну витрату сипучого корму через відповідну поверхню - це величина об'єму суцільного середовища, яка проходить через відповідну поверхню за одиницю часу.

Введемо позначення для витрати Q корма через довільний поперечний перетин бункера площиною $z = const$
 $S(z) = \{-b(z)/2 \leq x \leq b(z)/2, -l(z)/2 \leq y \leq l(z)\} \cdot 2\delta\gamma = const$ в виде

$$Q = Q(z) = \int_{-b(z)/2}^{b(z)/2} \int_{-l(z)/2}^{l(z)/2} v_z(x, y, z) dx dy, \quad (15)$$

де

$$\begin{aligned} b(z) &= \frac{b_0 - b_1}{h} (h - z) + b_1, \\ l(z) &= \frac{l_0 - l_1}{h} (h - z) + l_1, \end{aligned} \quad (16)$$

- функції, що описують твірні стінок бункера (рис. 3).

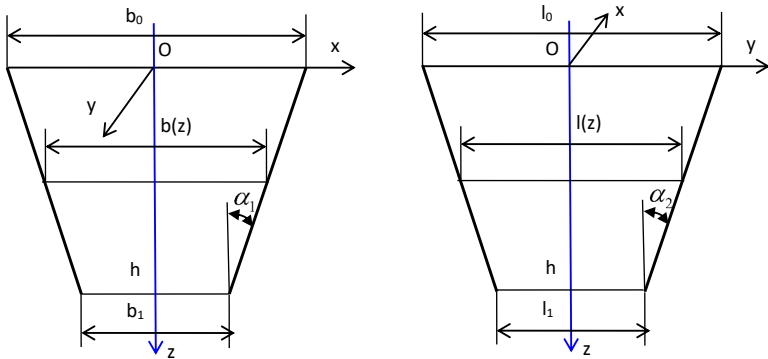


Рис. 3. Перетини бункера площинами $y=0, x=0$

Тоді $S(0), S(h)$ відповідають перетинам $A_0B_0C_0D_0$ і $A_1B_1C_1D_1$, а $Q_0 = Q(0), Q_1 = Q(h)$. Співвідношення (14) можна тоді представити в формі

$$Q_0 = Q_1. \quad (17)$$

Застосовуючи аналогічні міркування для області бункера V_z , яка відповідає значенням $(0 \leq z \leq z_{ABCD})$, отримаємо

$$Q(z) = Q_0. \quad (18)$$

Даний вираз свідчить про те, що витрати сипучого корму через поперечний переріз бункера постійний і не змінюється в залежності від z .

Тоді, середня вертикальна швидкість \bar{v}_z опускання сипучого корму буде зв'язана з його витратами співвідношенням

$$\bar{v}_z = \frac{I}{S(z)} \int_{-b(z)/2-l(z)/2}^{b(z)/2-l(z)/2} \int v_z(dx dy) = \frac{Q(z)}{S(z)}. \quad (19)$$

Отримане співвідношення (19) в подальшому буде використане при теоретичних дослідженнях процесу витікання сипучого корму через перфоровану поверхню дна гравітаційного дозатора.

Висновки

Встановлений зв'язок між параметрами витрати сипучого корму і швидкістю його руху в бункері заданих геометричних параметрів.

Список використаних джерел

1. Брагинець, Н.В. К обоснованию значимости дозирования кормов [Текст] / Н.В.Брагинець, С.Ф.Вольвак, В.В.Лангазов. // - Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ.: Видавництво ЛНАУ, 2002. - №17. – С. 29-33.
2. Алферов, К.В. Бункерные установки (Проектирование, расчет и эксплуатация) [Текст] / К.В.Алферов, Р.Л.Зенков. - М.: Машгиз, 1955. - 308 с.
3. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р.Л.Зенков. - М.: Машиностроение,-1964. - 251 с.
4. Гячев, Л.Б. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах [Текст] / Л.Б.Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 184 с.
5. Семенов, В.В. Розробка енергозберігаючої конструкції дозатора сипучих кормів [Текст] / В.В.Семенов, І.Г. Бойко, О.В. Нанка. // Вісник ТДАУ, Вип. 1, Том 3. Мелітополь: Електронне видання, 2011. - С. 61-66.
6. Дересевич, Г. А. Механика зернистой среды . В кн.: Проблемы механики [Текст] / Г.А.Дересевич - М.: Машгиз, 1961. - 375 с.
7. Фиалков, Б.С. Управление истечением сыпучих материалов [Текст] / Б.С.Фиалков, В.Т.Плицын, Е.В. Максимов. - Алма-Ата: Наука КазССР, 1981. - 148 с.
8. Цытович, Н.А. Механика грунтов [Текст] / Н.А.Цытович. - М.: Гос.издат. лит. по строительству, архитект. и стройматер., 1963. - 636 с.
9. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды [Текст] / В.В.Соколовский. - М.: Наука, 1990. - 272 с.
10. Сэвидж, С. Гравитационное течение несвязанных гранулированных материалов [Текст] / С.Сэвидж // В кн. Механика гранулированных сред: Теория быстрых движений - М.: Мир, 1985.- С. 86-146.
11. Гольдштик, М.А. Процессы переноса в зернистом слое [Текст] / М.А.Гольдштик. - Новосибирск: СО АН СССР. Ин-т теплофиз., 1984. - 163 с.
12. Заика, П.М. Динамика вибрационных очистительных машин [Текст] / П.М.Заика. - М.: Машиностроение, 1977.- 278 с.
13. Лозовецкий, В.В. Расчет движения шаровой засыпки как квазиньютоновской жидкости в бункере осесим. геометрии. [Текст] / В.В.Лозовецкий, В.М.Мордвинцев // Прикл.проблемы прочности и пластичности. Межвуз.сб. Нижегородский ун-т. Нижний Новгород: НУ, 1991. - С.111-116.

14. Голованов, Ю.В. Обзор современного состояния мех-ки быстрых движений гранулированных материалов [Текст] / Ю.В.Голованов, И.В.Ширко. // В кн. Механика гранулир. сред. Теория быстрых движений. М.: Мир, 1985. с.86-146.

15. Тарапов, И.Е. Механика сплошной среды. В 3 ч. Ч.2: Общие законы кинематики и динамики [Текст] / И.Е.Тарапов. - Харьков: Золотые страницы, 2002. - 516 с.

16. Седов, Л.И. Механика сплошных сред. Т. 1 [Текст] / Л.И.Седов. - М.: Наука, -1976. - 536 с.

Аннотация

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В БУНКЕРАХ

Семенцов В.В.

На основе законов механики сплошной среды о хранении массы и изменениях количества движения определена связь скорости движения сыпучего корма в наддозаторном бункере от его расходов через дозирующее устройство.

Abstract

THEORETICAL RESEARCH OF MOTION OF FRIABLE MATERIALS IN BUNKERS

V. Sementsov

On the basis of laws of mechanics of continuous environment on storage of mass and changes of amount of motion connection of rate of movement of friable forage is certain in a bunker from his charges through batching a device.