

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДОЗАТОРА СИПКИХ КОРМІВ

Семенцов В.В.,

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра  
Василенка*

*На основі законів динаміки твердого тіла з нерухомою віссю обертання визначена залежність потужності ворушилки гравітаційного дозатора сипучих кормів від амплітуди і частоти її коливань.*

**Актуальність теми.** Важливою умовою високоефективного використання концентрованих кормів при виробництві продукції тваринництва є збагачення їх вітамінами, мікроелементами, амінокислотами та мінеральними речовинами у відповідності із запланованою продуктивністю. Особливого значення це набуває при промисловому утриманні тварин і птиці, коли вони ізольовані від навколишнього середовища і корм стає головною ланкою, що пов'язує тварин із навколишнім середовищем. Основною операцією при введенні домішок в комбікорми, та яка забезпечує якість комбікормів, є дозування. Неточність дозування знижує біологічну цінність корму, веде до збільшення собівартості продукції та порушення балансу поживних речовин, а в деяких випадках - до захворювання тварин. Тому виникає необхідність у створенні таких дозуючих пристроїв, які здатні працювати в широкому діапазоні змінення їх продуктивності при різних фізико-механічних властивостях компонентів, відрізняються простотою конструкції, високою технологічною надійністю, простотою налаштування на задану продуктивність, мають невисоку вартість та низьку енергоємність.

**Аналіз останніх досліджень.** Для дозування сипучих матеріалів запропоновано велику кількість дозаторів, які відрізняються численними ознаками конструктивних рішень, в тому числі і будовою робочого органу. Така різноманітність конструкцій обумовлюється в першу чергу тим, що механіко-технологічні властивості дозованих сипких матеріалів відрізняються в широких діапазонах. Зокрема, при виробництві комбікормів гранулометричний склад дозованих матеріалів коливається від порошкоподібних (крейда, діамонійфосфат, лимонна кислота і тощо) до мало кускових. Такий же вплив на вибір конструкції дозатора спричиняють вимоги до точності дозування, області і умов використання та ряд інших чинників. Щоб визначити основні напрямки удосконалення дозуючих пристроїв, на основі огляду наукової і патентної літератури проведено аналіз основних типів дозаторів сипких матеріалів, що відповідають найважливішим технологічним вимогам.

Найпростішою конструкцією дозатора сипкого матеріалу, на думку Завражного А.І. [1], є гравітаційний дозатор, що представляє в загальному вигляді бункер, в нижній частині якого розташований випускний отвір з регульованою заслінкою. Позитивом гравітаційних дозаторів є те, що висипання сипучого матеріалу в них відбувається під дією гравітаційних сил і не вимагається енергетичних витрат для їх роботи. Однак, не дивлячись на нескладну конструкцію таких дозаторів, вони пристосовані лише для дозування добре сипких матеріалів і у випадках, коли не потрібна висока точність дозування.

Для розширення функціональних можливостей гравітаційних дозаторів вони обладнуються рухомим дном, якому надаються направлені коливання і мають назву

вібраційні дозатори [2]. Такі дозатори мають широкі межі регулювання продуктивності, яку можна змінювати за рахунок зміни амплітуди і частоти коливання, а також кута нахилу лотка. Вібраційні дозатори із зворотно-поступальним рухом робочого органу відрізняються простотою конструкції і малою енергоємністю, але зворотно-поступальний рух створює пульсуючий потік матеріалу, що дозується, і спричиняє його сепарації. Найбільш поширеними конструкціями дозаторів з обертальним рухом робочих органів є дозатори виконані у вигляді циліндричного або комірчастого барабанів, що обертаються [3]. Барабанні дозатори відрізняються надійністю і простотою конструкції. Такі дозатори широко застосовуються в технологічних лініях кормоцехів і для видачі концентрованих кормів коровам.

Проте барабанні дозатори не здатні видавати неперервні дози з малою продуктивністю.

Для дозування сипких матеріалів широкого застосування набули також шнекові дозатори. Це пояснюється тим, що вони здатні поєднувати операції дозування сипучих матеріалів, їх змішування і одночасне їх транспортування на певні відстані. Але, не дивлячись на велику різноманітність шнекових дозаторів, в будь-якому дозаторі даного типу можна виділити наступні структурно-конструктивні елементи: приймальний бункер, корпус, завантажувальне вікно, шнек, вивантажувальне вікно, механізм регулювання норми видачі. При цьому найчастіше застосовуються конструктивні схеми дозаторів з горизонтальним розташуванням шнеків [4-6].

Продуктивність шнекових дозаторів регулюється, в основному, зміною куткової швидкості обертання шнека. Проте збільшення куткової швидкості обертання шнека, понад деяке значення, приводить до неповного заповнення міжвиткового простору сипучим матеріалом і викликає порушення технологічного процесу дозування.

Разом з позитивними властивостями шнекових дозаторів Акчурін А.А. [7] відзначає і їх недоліки, до яких відноситься велика енергоємність процесу і висока нерівномірність дозування – до 15%.

Для дозування сипких матеріалів, які вводяться в суміші в невеликих кількостях застосовуються тарілчасті(дисккові) дозатори, наприклад, в комбікормовій промисловості для введення в комбікорми мінеральних, білково-вітамінних і інших біологічно активних кормових добавок [8]. Тарілчастий дозатор [9] складається із круглого обертового диска, який встановлений під бункером з рухомою манжетною і має скребок, який розташований над диском і служить для формування дози потоку сипкого матеріалу.

Тарілчасті дозатори забезпечують достатню точність при відносно невеликій продуктивності, прості в налагодці і обслуговуванні. Проте вони мають велику металоємність і високу чутливість до механіко-технологічних властивостей матеріалів, що дозуються.

Для дозування цілковито однорідних сипких матеріалів найбільш часто використовуються дозатори з поступальним рухом робочих органів, такі як стрічкові. Робочим органом стрічкового дозатора [10] є текстильна прогумована стрічка що огинає два барабани, розташованих на деякій відстані. Над стрічкою розміщений бункер із заслінкою, яка дозволяє регулювати продуктивність дозатора. Стрічкові дозатори призначені для дозування сипучих матеріалів різного гранулометричного складу і відрізняються простотою конструкції. Але їх значні геометричні розміри, велика металоємність і енергоємність роблять мало придатними для дозування сипучих кормів.

До конструкцій об'ємних дозуючих пристроїв безперервної дії з поступальним рухом робочого органу відносяться також скребкові, тросово-шайбові, пластинчасті і ланцюгові дозатори. Перевагою цих дозаторів є простота конструкції і герметичність, а також

можливість поєднання операції дозування з одночасним транспортуванням сипучого матеріалу на значні відстані, що дозволяє використовувати їх для роздачі кормів, наприклад, у великогабаритних пташниках.

До дозуючих пристроїв безперервної дії із зворотно-поступальним рухом робочого органу відносяться каретчаті дозатори, які відрізняються простотою конструкції і малою енергоємністю, але зворотно-поступальний рух створює пульсуючий потік матеріалу і його сепарацію.

Особливий інтерес з конструкцій дозаторів із зворотно-поступальним рухом робочого органу представляють маятникові дозатори, які залежно від виконання робочого органу поділяються на секторні і лоткові [11].

З метою підвищення продуктивності маятникового дозатора авторами [12] запропоновано вісь коливання лотка розташовувати нижче за його робочу поверхню. При такому розташуванні осі відцентрові сили, що діють на частинки сипучого матеріалу, направлені від робочої поверхні лотка, що викликає зменшення сили тертя, яка перешкоджає руху матеріалу по лотку. З цією ж метою робоча поверхня лотка направлена опуклістю вгору і в середній частині розділена перегородкою.

Маятникові дозатори, в основному, використовуються для дозування сипких матеріалів при невеликих значеннях продуктивності, а в сільськогосподарському виробництві – для дозування мікроелементів при виробництві комбікормів. Тобто, немає єдиного рішення цієї задачі.

**Мета роботи.** Метою досліджень є визначення залежності потужності ворушилки гравітаційного дозатора сипучих кормів від частоти та амплітуди її коливань.

**Виклад основного матеріалу.** Конструкція ворушилки, зображена на мал.6. Вона складається з циліндричного металевго прутка діаметру  $d_v$ , довжини  $l_1$  і двох металевих косинок  $C_1, C_2$  товщини  $t_v$  у вигляді кругових секторів з кутом біля вершини, рівним  $\alpha_v$ . Пруток своїми підставами прикріплений до металевих косинок так, що система є твердим тілом з нерухомою віссю обертання  $O_z$ .

Динаміка такого тіла описується рівнянням зміни проекції кінетичного моменту  $\vec{L}$  на вісь  $O_z$ , визначуваної виразом [13]

$$L_z = J_z \omega \quad (1)$$

де  $J_z$  - момент інерції тіла відносно осі  $O_z$ ,  $\omega$  - кутова швидкість обертання тіла. Теорема про зміну кінетичного моменту призводить до такого рівняння

$$J_z \frac{d\omega}{dt} = M_z^e \quad (2)$$

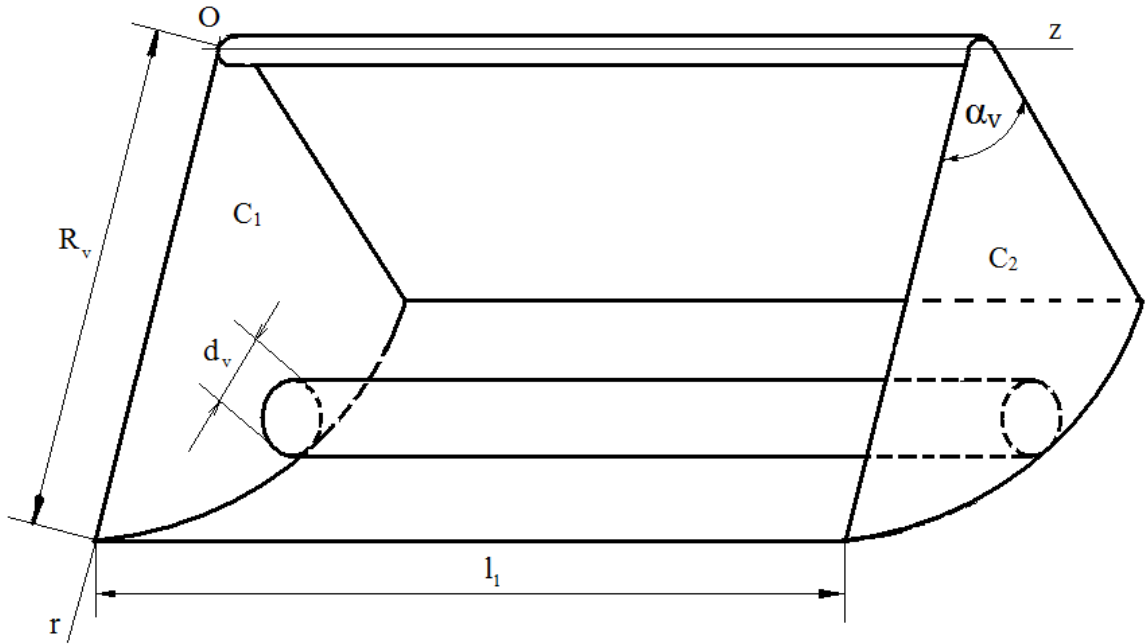


Рис.1. Конструкція ворушилки

Тут  $M_z^e$  є проекцією головного моменту зовнішніх сил на вісь  $O_z$ , тобто момент сил відносно вказаної осі.

Теорема про зміну кінетичній енергії  $T$  твердого тіла з нерухомою віссю дає рівняння

$$\frac{dT}{dt} = N \quad (3)$$

де

$$T = \frac{1}{2} J_z \omega^2 \quad (4)$$

$N^e$  - потужність сил, що діють на тіло, яке обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ . Момент інерції тіла відносно осі  $O_z$ . Момент інерції є аддитивною функцією маси (об'єму) тіла і дорівнює сумі моментів інерції прутка  $J_z^c$  і косинок  $J_z^k$ .

$$J_z = J_z^c + J_z^k \quad (5)$$

Кожен з доданків виражається у вигляді інтеграла за об'ємом відповідного тіла: прутка  $V_c$ , косинок  $V_k$

$$J_z^c = \rho_m \iiint_{V_c} r^3 dr dz \varphi, J_z^k = 2\rho_m \iiint_{V_k} r^3 dr dz \varphi \quad (6)$$

де  $\rho_m$  - щільність матеріалу тіла. Момент інерції однорідного циліндра відносно його осі відомий і дорівнює

$$J_z^c = \frac{m_c d_v^2}{8} = \frac{\rho_v \pi d_v^4 l_1}{32} \quad (7)$$

Застосовуючи теорему Штерна, отримуємо вираз для моменту інерції прутка ворушилки відносно осі  $O_z$  [13]

$$J_z^c = m_c R_v^2 + J_z^v = m_c R_v^2 + \frac{m_c d_v^2}{8} = \frac{\rho_v \pi d_v^4 l_1}{4} \left( R_v^2 + \frac{d_v^2}{8} \right) \quad (8)$$

Момент інерції однорідних косинок відносно осі  $O_z$  визначається інтегралом

$$J_z^k = 2\rho_v \int_0^{\alpha_v} \int_0^{t_v} \int_0^{R_v} r^3 dr dz d\varphi = \frac{1}{2} \rho_v t_v \alpha_v R_v^4 \quad (9)$$

Таким чином, сумарний момент інерції ворушилки відносно осі  $O_z$  дорівнюватиме

$$J_z = \frac{\rho_v}{2} \left[ \frac{\pi d_v^4 l_1}{2} \left( R_v^2 + \frac{d_v^2}{8} \right) + t_v \alpha_v R_v^4 \right] \quad (10)$$

Потужність сил, що діють на тіло. Осьовий момент сил, що діють на ворушилку, складається з моменту сил  $M_d$ , що прикладається двигуном, і моменту  $M_v$  диссипативних сил гідравлічного опору

$$M = M_d + M_v \quad (11)$$

де

$$M_v = F_s R_v = -C_s 6\pi\mu (d_v l_1)^{1/2} v_v R_v = -C_s 6\pi\mu (d_v l_1)^{1/2} R_v^2 \omega \quad (12)$$

а  $F_s = -C_s 6\pi\mu (d_v l_1)^{1/2} v_v$  - сила гідравлічного опору руху ворушилки [14],

$C_s$  - коефіцієнт, що враховує форму тіла,

$v_v$  - швидкість руху центру поперечного перетину прутка, що дорівнює  $v_v = R_v \omega$ .

Потужність  $N$  сил, що діють на тіло, дорівнюватиме сумі потужностей двигуна і диссипативних сил

$$N = N_d + N_v \quad (13)$$

Потужність диссипативних сил визначається множенням осьового моменту цих сил на кутову швидкість обертання тіла

$$N_v = M_v \omega = -C_s 6\pi\mu(d_v l_1)^{1/2} R_v^2 \omega^2 \quad (14)$$

Знак мінус в останньому виразі вказує на те, що робота диссипативних сил вимагає підведення енергії ззовні (в даному випадку від двигуна).

Тоді миттєва потужність, що розвивається двигуном, згідно (3), (4), (13), (14) дорівнюватиме

$$N_d = \left| \frac{dT}{dt} \right| + |N_v| = J_z \left| \omega \frac{d\omega}{dt} \right| + C_s 6\pi\mu(d_v l_1)^{1/2} R_v^2 \omega^2 \quad (15)$$

Ворушилка здійснює гармонійні коливання згідно закону

$$\varphi = \frac{a}{R_v} \sin(2\pi vt) \quad (16)$$

з періодом коливань  $T_v = 2\pi / v$ , та, відповідно, з кутовою швидкістю

$$\omega = \frac{2\pi va}{R_v} \cos(2\pi vt) \quad (17)$$

Тоді миттєва потужність двигуна дорівнюватиме

$$N_d = J_z \frac{4\pi^3 a^2 v^3}{R_v^2} \sin(4\pi vt) + 12C_s \pi^3 \mu(d_v l_1)^{1/2} a^2 [\cos(4\pi vt) + 1] \quad (18)$$

Відповідна середня потужність  $\bar{N}_d$  двигуна за чверть періоду дорівнюватиме

$$\bar{N}_d = \frac{4}{T_v} \int_0^{T_v/4} N_d(t) dt = \pi^2 a^2 v^2 \left[ J_z \frac{8v}{R_v^2} + 12\pi C_s \mu(d_v l_1)^{1/2} \right] \quad (19)$$

## Висновки

Результати аналітичних досліджень говорять про те, що із збільшенням частоти та амплітуди коливань ворушилки, а також із збільшенням значень діаметру привідного

валу ворушилки та довжини ребра косинки ворушилки споживана потужність ворушилки зростає.

#### Список використаних джерел

1. Завражнов А.И. Механизация приготовления и хранения кормов. / Завражнов А.И., Николаев Д.И. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.
2. Спиваковский А.О. Вибрационные питатели и вспомогательные устройства. / Спиваковский А.О. // – Машиностроение, 1972, – 225 с.
3. А. с. 716547 СССР, МКИ А 01 К 5/02 Раздатчик сыпучего корма для животных и птицы: / Бабанских И.С., Бойко И.Г. (СССР) – №2501347/30-15; заявл. 20.06.77; опубл. 25.02.80, Бюл. №7. – С. 48.
4. А.с. 378723 СССР, МКИ G 01 F 13/00 Винтовое дозирующее устройство: / Блехер И.Г., Гофман М.С., Байсбен М.М. (СССР) - 2354679; заявл. 17.04.71; опубл. 25.06.73, Бюл. №19. – С. 43.
5. А.с. 292070 . СССР, МКИ G 01 F 13/00 Дозатор для порошкообразных материалов: / Цветков А.В., Лебедев М.Н., Аршанский М.М. (СССР) - 1945679; заявл. 06.07.69; опубл. 05.11.71, Бюл. №4. – С. 37.
6. А.с. 449246 А.с. СССР, МКИ G 01 F 11/00 Шнековый дозатор: / Максимов Д.А., Дунин М.С. (СССР) – 1456087; заявл. 06.08.72; опубл. 23.09.74, Бюл. №41. – С. 33.
7. Акчурин А.А. Закономерности варьирования физико-механических и геометрических характеристик дозируемых сыпучих тел / Акчурин А.А. // Сб. трудов Казачского НТУ. Алма-Ата. 1997. – С. 30-33.
8. Миончинский П.Н. Производство комбикормов. / Миончинский П.Н., Кожарова Л.С. – М.: Колос, 1981. – 200 с.
9. А.с. 391404 СССР, МКИ G 01 F 11/00 Дозатор непрерывного действия: Мишкин А.Д., Акимов Е.Ф., Устинкин Г.Г. (СССР) – 1256743; заявл. 14.06.71; опубл. 09.12.73, Бюл. №31. – С. 23.
10. А.с. 391404 СССР, МКИ G 01 F 11/00 Дозатор непрерывного действия: Мишкин А.Д., Акимов Е.Ф., Устинкин Г.Г. (СССР) – 1547286; заявл. 12.07.71; опубл. 18.09.73, Бюл. №31. – С. 23.
11. Гордеев А.А. Классификация дозирующих устройств / Актуальные проблемы исследований в области зоотехнии: / Гордеев А.А // Сб. науч. трудов ЧСХИ. Чебоксары: ЧСХИ, 2000. – С. 155-157.
12. А.с 859820 СССР, МКИ G 01 F 11/00 Дозатор сыпучих материалов: / Троянов Н.Н., Бойко И.Г., Бабанских И.С. (СССР) – №2896672; заявл. 30.01.80; опубл. 10.0-9.81, Бюл. №32. – С. 27.
13. Кильчевський н.а. Курс теоретичної механіки. Т.1. М.: Наука.-1972. - 530 с.
14. Соу С. Гідродинаміка багатофазних систем. М.: Світ, 1971.- 536 с.

## **Аннотация**

### **ОБОСНОВАНИЕ МОЩНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ КОРМОВ**

**Семенцов В.В.**

*На основе законов динамики твердого тела с неподвижной осью вращения определена зависимость мощности ворошилки гравитационного дозатора сыпучих кормов от амплитуды и частоты ее колебаний.*

## **Abstract**

### **GROUNDING OF POWER OF WORKING ORGAN OF METERING DEVICE OF FRIABLE FORAGES**

**V. Sementsov**

*On the basis of laws of dynamics of solid body with the immovable axes of rotation dependence of power of agitator of gravity metering device of friable forage on amplitude and frequency of its vibrations is determined.*