

УДК 631.363.001.5

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ДОЗАТОРА БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ ІЗ ЦИЛІНДРИЧНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Гвоздєв О.В., к.т.н.,

Барсуков С.С., магістр

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.(0619) 42-13-06

Анотація – Робота присвячена теоретичному обґрунтуванню параметрів об'ємного дозатора безперервної дії із циліндричним робочим органом та виявлення суттєвих факторів, які впливають на його конструктивно – технологічні параметри.

Ключові слова – обґрунтування, параметр, дозатор безперервної дії із циліндричним робочим органом, продуктивність, фактор.

Постановка проблеми. Велику кількість конструкцій дозаторів у сільському господарстві та переробної промисловості обумовлено різноманітними вимогами, пропонованими до процесу дозування. Головна вимога до дозаторів це забезпечення подачі в суміш, установленого по рецепту або технології, кількості компонентів. Недотримання цієї вимоги може знизити якість технологічного процесу, живильну цілісність виробництва, привести до перевитрати дорогих компонентів, що дозуються [1, 2, 3].

Проблемою будь-якого з описаних вище виробництв є правильний вибір типу дозатора, який був би простий по конструкції, мав мінімальну енергоємність, а головне забезпечував би дозування компонентів суміші з заданим ступенем точності при різній продуктивності [1].

Таким чином, вчені вживають спроби вдосконалення технологічного процесу дозування сипучих компонентів у напрямку створення машин, що використовують нові принципи й фактори, які суттєво впливають на процес дозування. При цьому висока точність та якість дозування повинна супроводжуватися скороченням енерговитрат на процес.

Аналіз останніх досліджень. Збільшення масштабів виробництва визвало необхідність застосування безперервних способів виконання технологічних процесів і поставило нові вимоги до дозаторів [1, 4, 5, 6].

На сьогодні безперервне дозування набуло широкого застосування в хімічній промисловості, в чорній і кольоровій металургії, в цементному виробництві, в будівництві, в харчовій, переробній і комбікормовій промисловості та сільському господарстві.

При обробці сипучого матеріалу (дозування, змішування) широко використовуються безперервно - діючі машини, робочим органом у яких є обертовий барабан [7].

На підставі аналізу літературних даних, теоретичних і експериментальних досліджень ряду авторів нами у якості об'єкту подальшого дослідження обрано технологічний процес об'ємного дозування з розробкою дозатора безперервної дії із циліндричним робочим органом [6].

Постановка задачі. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування основних параметрів об'ємного дозатора безперервної дії із циліндричним робочим органом та виявлення суттєвих факторів, які впливають на його конструктивно – технологічні параметри.

Основна частина. Виходячи з проведеного аналізу літературних і патентних джерел і результатів теоретичних досліджень був розроблений об'ємний дозатор безперервної дії із циліндричним робочим органом без внутрішніх пристроїв (рис.1), що відрізняється простотою конструктивного виконання й надійністю в роботі [6].

Робочим органом дозатора є сталевий обертовий циліндр (труба) 1, який встановлено на валу із приводом від мотор – редуктора 2. На входній ділянці вала усередині бункера - дозатора встановлено шнек для запобігання склепування у бункері 3. Передня стінка 4 бункера - дозатора виконана гнучкою для забезпечення зміни кута нахилу циліндра 1. Зміна кута нахилу циліндра здійснюють поворотом кронштейна 5.

Процесу дозування найбільш повно відповідає випадок, коли в поперечному перерізі робочого органа підтримується режим перекату або початкова ділянка водоспадного режиму [8], а в поздовжньому - ділянки завантаження, транспортування й вивантаження. Відомо також, що формування поздовжнього перетину матеріалу в циліндрі

відбувається з вивантажувального кінця [8], що визначає продуктивність робочого органа.

Швидкість руху часток у шарі, що скачується, визначає осьову швидкість переміщення матеріалу в циліндрі, що обертається. Отримати чіткі аналітичні рівняння, що описують рух матеріалу в площині обертання циліндра, надзвичайно важко. Тому ми застосовуємо деякі допущення, що зберігають основний фізичний зміст завдання, але математичні операції значно спрощують.

Дослідження поставленого завдання базується на методі «грузлих плинів», у якому в першому наближенні рух матеріалу приймається як плин грузлий-пластичного середовища й використовується підхід до рішення гідродинамічного завдання з подібними граничними умовами. Вихідними рівняннями є: рівняння руху (рівноваги) і рівняння, що описує реологічні властивості сипучої маси.

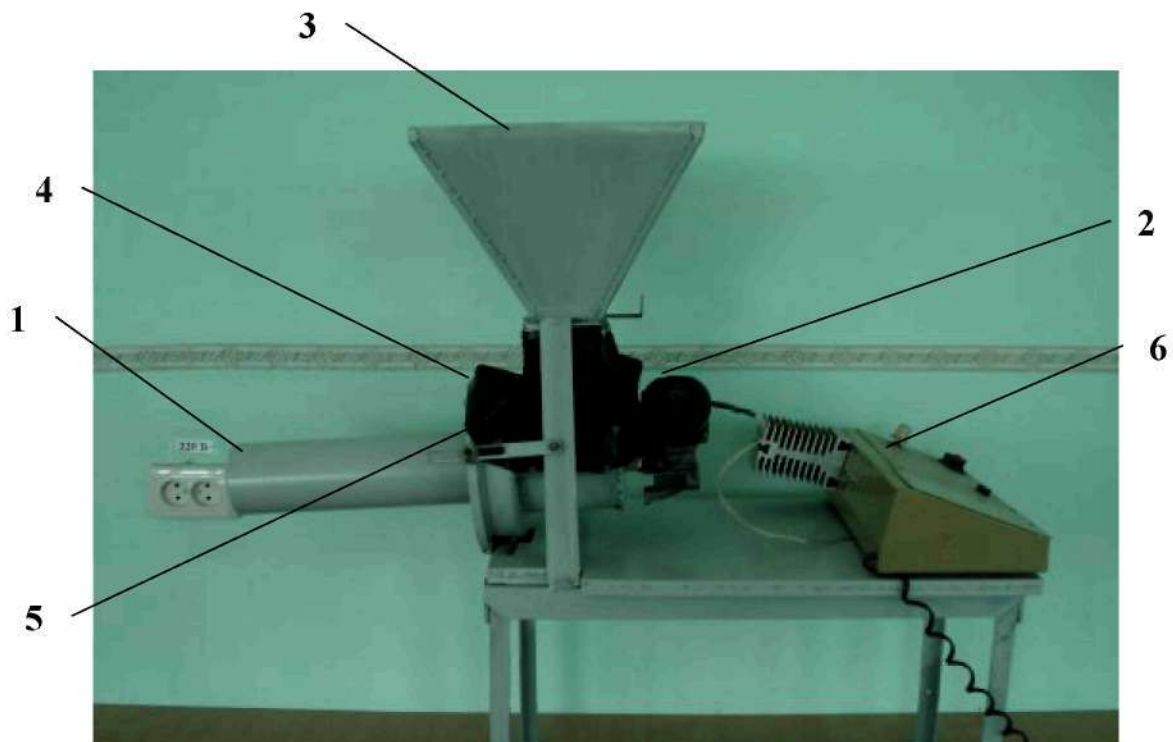


Рис. 1. Фото експериментальної установки дозатора безперервної дії із циліндричним робочим органом без внутрішніх пристроїв: 1 - обертовий циліндр; 2 - мотор – редуктор; 3 – бункер; 4 – гнучка передня стінка; 5 – кронштейн; 6 – пульт керування

При рішенні завдання приймається гіпотеза про сплошність середовища й робляться наступні допущення [7]:

1. інерційні сили часток, що рухаються, незначні через їхню

малу швидкість і не враховуються в порівнянні з масовими;

2. довжина шару, що скачується, по поверхні укусу велика в порівнянні з його товщиною, тому не враховуються кінцеві, ефекти в крайніх точках $\delta = \delta_0$ і $\delta = 0$.

Зроблені допущення дозволяють скласти рівняння руху (рівноваги) шару, що скачується, у циліндричних координатах уздовж δ осі (рис.2).

$$\frac{1}{r} \frac{d\sigma}{d\delta} + \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 \tau) \pm \rho g = 0, \quad (1)$$

де r - поточне значення радіуса робочого циліндра R_u ;

σ - нормальна напруга;

δ - кут обхвату сегмента сипучого матеріалу в циліндрі;

τ - дотичне напруження;

ρ - насипна щільність матеріалу.

При $\frac{d\sigma}{d\delta} = 0$, $\frac{r}{h} \gg 1$ і якщо τ є функція тільки δ , те рівняння

(1) можна перетворити й записати у вигляді

$$\frac{d\tau}{dr} - \rho g \cdot \sin \beta = 0, \quad (2)$$

де β - динамічний кут природного укусу.

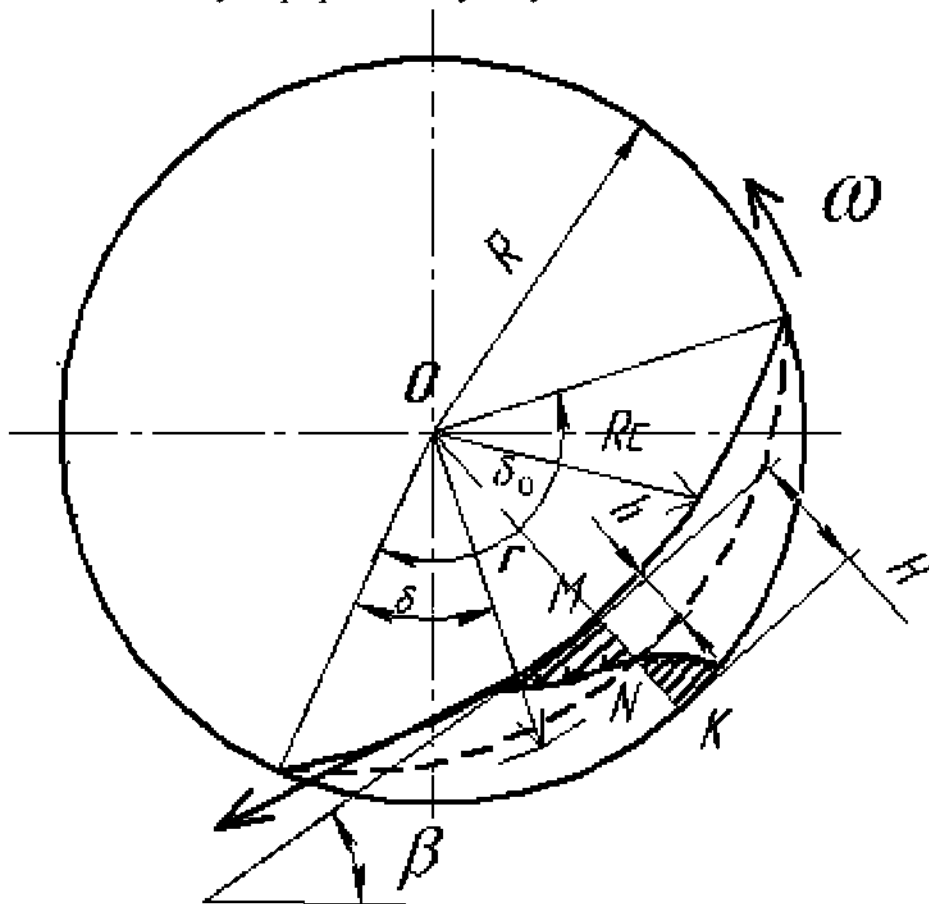


Рис. 2. Схема руху матеріалу в площині обертання циліндра

Реологічне рівняння, що зв'язує дотичне напруження зі швидкістю скоочування часток сипучого матеріалу по поверхні укусу має такий вигляд:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{d\mathcal{G}_{\text{не}}}{dr}. \quad (3)$$

Вирішуючи спільно рівняння (2) і (3), одержимо аналітичне вираження для визначення швидкості руху матеріалу по поверхні укусу.

$$\mathcal{G}_{\text{не}} = \frac{\rho g}{\eta} \sin \beta \left[\frac{(R_c - r)^2}{2} - R_n(R_c - r) \right] - \frac{\tau_0}{\eta} (R_c - r), \quad (4)$$

де τ_0 - гранична напруга зрушення;

η - коефіцієнт «внутрішнього тертя» матеріалу;

R_c - радіус шару скачування.

Кількість матеріалу в шарі, що $Q_{\text{СК}}$ скачується, минаючого через перетин MN (рис.2) в одиницю часу, визначається з виразу [7,8]

$$Q_{\text{не}} = L \int_{R_n}^{R_c} \mathcal{G}_{\text{не}} \cdot dr, \quad (5)$$

де L - довжина циліндра.

Підставляючи $\mathcal{G}_{\text{СК}}$ з (4) в (5) і інтегруючи в межах R_n - R_c , одержимо:

$$Q_{\text{не}} = L \left[\frac{\rho g}{\eta} \sin \beta \frac{(R_c - R_n)^3}{3} - \frac{\tau_0}{\eta} \frac{(R_c - R_n)^2}{2} \right]. \quad (6)$$

Тому що $R_c - R_n = h$ то

$$Q_{\text{не}} = L \left[\frac{\rho g}{3\eta} h^3 \sin \beta - \frac{\tau_0}{2\eta} h^2 \right]. \quad (7)$$

Товщина шару, що скачується, " h " перебуває з умови нерозривності потоку, тобто кількість матеріалу, що скачується, по поверхні укусу дорівнює кількості матеріалу, що піднімається разом з поверхнею циліндра

$$Q_{\text{не}} = Q_1. \quad (8)$$

Кількість матеріалу, що піднімається, перебуває з вираження:

$$Q_1 = \frac{\omega R}{r} (H - h) L. \quad (9)$$

Дорівнюючи рівняння (7) і (9) і вводячи позначення $\frac{\rho g}{3\eta} = I$,

$\frac{\tau_0}{2\eta} = N$ і $\frac{\omega R}{2} = C$ одержимо вираження для товщини шару, що скачується

$$Mh^3 - Nh^3 = C(H - h). \quad (10)$$

Товщину шару, що скачується, можна визначити графічним методом. Для цього будується графік залежностей (рис.3)

$$Mh^3 - Nh^3 = f_1(h) \text{ і } C(H - h) = f_2(h)$$

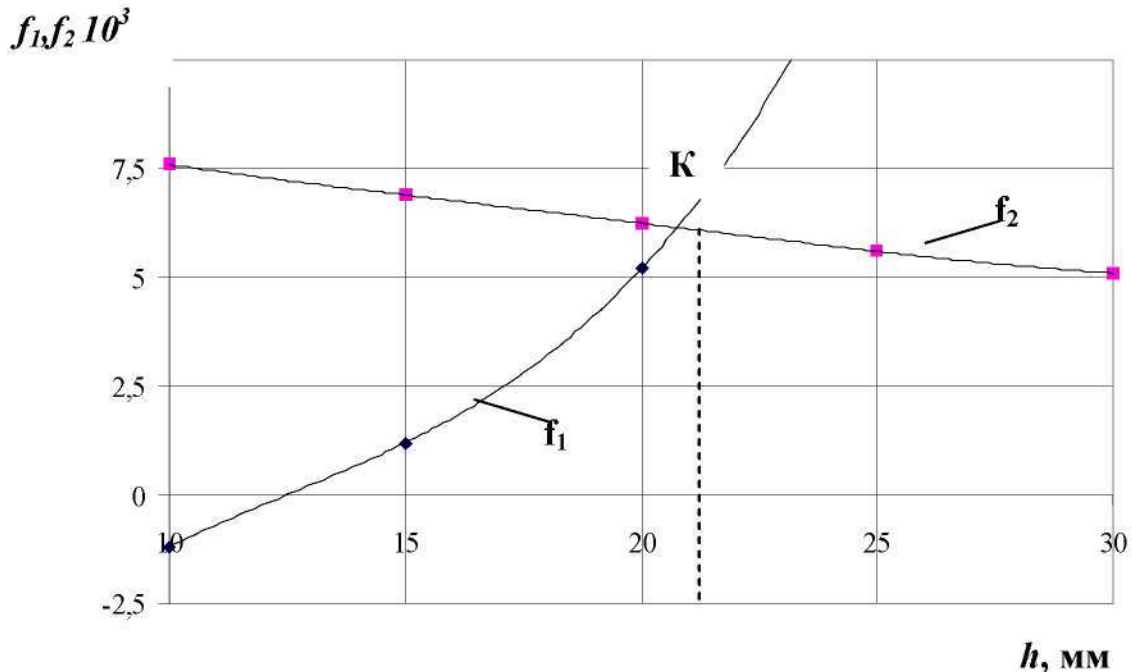


Рис.3. Графічний спосіб визначення товщини шару, що скачується

Місце перетинання кривих буде характеризувати значення товщини шару сипучого матеріалу, що скачується в обертовому циліндрі. Так при діаметрі робочого циліндру $D = 0,08$ м, частоті його обертання $n = 70$ об/хв. і куту нахилу $\alpha = 20^\circ$, товщина шару, що скачується для сипучого матеріалу, наприклад, цукру піску при $K = 0,2$ буде дорівнювати $0,021..0,022$ м.

При русі сипучої маси в робочому органі поперечний її перетин має складний вигляд [8,9], математично описати який важко. Крім того, вид граничної лінії залежить від коефіцієнта кінематичного режиму циліндра (відношення відцентрової сили до ваги часток), кута нахилу й фрикційних властивостей матеріалу.

На вихідній ділянці внаслідок кінцевого ефекту [8,9] матеріал розташовується під динамічним кутом природного укусу до обрїю, створює поверхню опадання (осип) (рис. 2). У загальному випадку ця поверхня має складний вигляд, що залежить від кінематичних і геометричних параметрів апарата й фрикційних властивостей матеріалу. При прийнятих допущеннях скривлення осипу можна зневажити й апроксимувати її площиною, що проходить під кутом динамічного укусу φ до обрїю

Час циклу для крапок, що проходять найбільший шлях,

$$t_o^{\max} = t_i^{\max} + t_{oc}^{\max}. \quad (11)$$

Тут $t_i^{\max}, t_{oc}^{\max}$ - час відповідно підйому й опадання матеріалу.

$$\text{-Очевидно, } t_i^{\max} = \frac{\delta}{\omega}.$$

Час, опадання при рівноприскореному русі матеріалу по осипі

$$t_{oc}^{\max} = \sqrt{\frac{2l}{g_c}},$$

де l - максимальний шлях скочування;

g_c - прискорення скочування,

Шлях скочування (рис. 2)

$$l = \frac{r[1 - \sin(\delta_1 + \delta_2)]}{\sin \gamma}. \quad (12)$$

На частку, що рухається по поверхні осипу, діють сили ваги частки й тертя об поверхню. Проектуючи їх на напрямок руху частки, одержуємо:

$$mg_c = F_c - F_\delta;$$

$$mg_c = mg \sin \varphi - mg \cos \varphi \cdot f_\delta;$$

$$g_c = g \cos \varphi (tg \varphi - f_\delta),$$

де f_δ - коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу;

F_c, F_m - сили відповідно скочування й тертя.

У цьому випадку

$$t_{oc}^{\max} = \sqrt{\frac{2r[1 - \sin(\delta_1 + \delta_2)]}{g \sin \gamma \cdot \cos \varphi (tg \varphi - f_m)}}. \quad (13)$$

Максимальний час

$$t_o^{\max} = \frac{\delta_1}{\omega} + \sqrt{\frac{2r[1 - \sin(\delta_1 + \delta_2)]}{g \sin \gamma \cdot \cos \varphi (tg \varphi - f_m)}}. \quad (14)$$

Тому що час циклу визначений для частки, що проходить найбільший шлях, то, мабуть, у формулу продуктивності необхідно ввести середній час циклу, який дорівнює приблизно половині максимального. Тому, маємо

$$Q = \frac{2r^3 \omega}{tg(\varphi - \alpha) (A + A\sqrt{E})}. \quad (15)$$

Тут $K = \frac{\pi^2 n^2 D}{1800g}$ - коефіцієнт кінематичного режиму;

$$A = \frac{\delta_1}{\hat{O}};$$

$$\hat{A} = \frac{1}{\hat{O}} \sqrt{\frac{1 - \sin(\delta_1 + \delta_2)}{\sin(\varphi - \alpha) \cos \varphi (tg \varphi - f_m)}}.$$

Масова продуктивність

$$Q_m = \frac{2r^3 \omega \rho}{\operatorname{tg}(\varphi - \alpha)(A + B\sqrt{K})}, \quad (16)$$

де ρ - насипна щільність матеріалу.

Після перетворень маємо

$$Q = \frac{30\pi D^3 n \rho}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)(A + B\sqrt{K})}, \quad (17)$$

де D – діаметр циліндра;

n – частота обертання циліндра.

На рис. 4 показана залежність годинної продуктивності Q від коефіцієнта кінематичного режиму K ($D = 0,08$ мм) при α : 1 - 20°; 2 - 15°; 3 - 10°, обчислена по формулі 17.

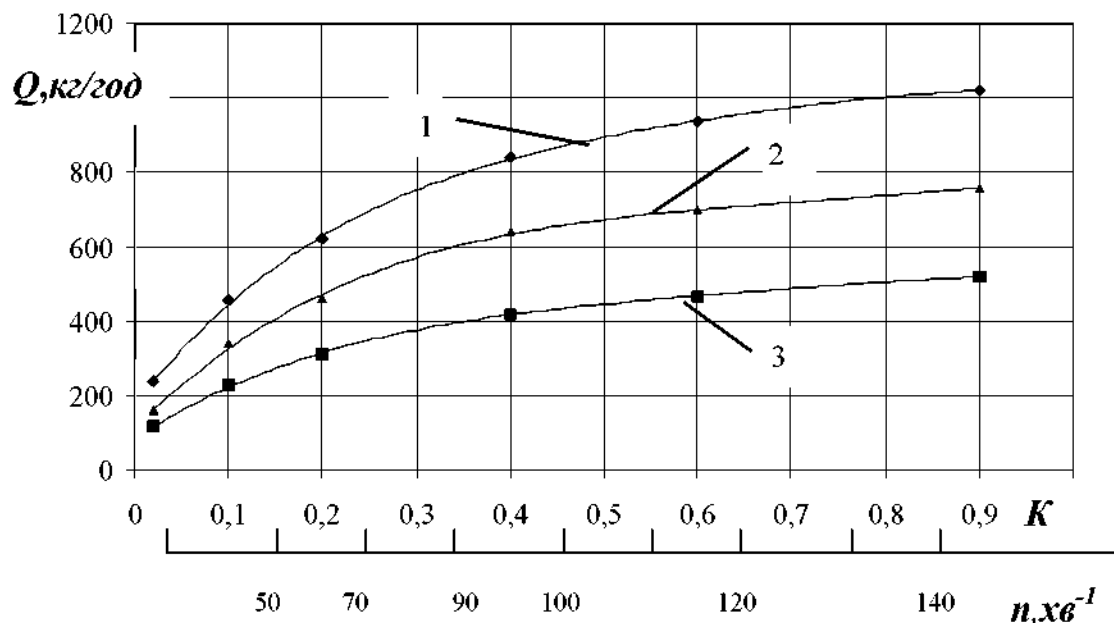


Рис. 4. Залежність годинної продуктивності Q від коефіцієнта кінематичного режиму K ($D = 0,08$ мм) та частоти обертання робочого циліндру n при α : 1 - 20°; 2 - 15°; 3 - 10°

Аналіз рис.4 показує, з ростом коефіцієнта кінематичного режиму більше 0,5 продуктивність дозатора зростає повільно, тому обираємо наступний режим роботи дозатора (особливо для мікродозування при продуктивності до 400 кг/год): коефіцієнт кінематичного режиму $0 < K < 0,4$; частота обертання робочого циліндру до 100 об/хв.; діаметр циліндра до 0,08 м.

Висновки. Проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Швидкість руху часток у шарі, що скачується, визначає осьову швидкість переміщення матеріалу в циліндрі, що обертається. Одержано аналітичні рівняння, що описують рух матеріалу в площині

обертання циліндра: це швидкість руху часток у шарі, що скачується (формула 4) та товщини шару, що скачується (формула 10).

2. Основними факторами, що впливають на продуктивність дозатора безперервної дії із циліндричним робочим органом, є фізико-механічні властивості матеріалу, що дозується, в першу чергу насипна щільність матеріалу ρ , коефіцієнт тертя f , а також конструктивні параметри (довжина циліндру L , його діаметр D та кут нахилу α) і режими роботи (частота обертання циліндру n та коефіцієнт кінематичного режиму K).

3. Теоретично обґрунтовано режим роботи дозатора (особливо для мікродозування при продуктивності до 400 кг/год):

- коефіцієнт кінематичного режиму $0 < K < 0,4$;
- частота обертання робочого циліндру до 100 об/хв.;
- діаметр циліндру до 0,08 м;
- кут нахилу робочого циліндру $\alpha = 10 \dots 20^\circ$;
- товщина шару, що скачується при $K = 0,2$ дорівнює $h = 0,021 \dots 0,022$ м.

Література

1. Семенов В.И. Сокращение энергозатрат при приготовлении комбикормов для птицы с прогнозируемой точностью дозирования компонентов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / Семенов В.И. - Оренбург, 1998 – 20с.
2. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна./ Соколов А.Я - М.: Колос, 1975. – 496с.
3. Сыроватка В.И. Научно-технические основы и методы технологического расчета производственных линий приготовления комбикормов в колхозах и совхозах. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук./ Сыроватка В.И. - М.: 1976. – 40с.
4. Бутковский В.А. Технология зерноперерабатывающих производств / Бутковский В.А., Мерко А.И., Мельников Е.М. – М.: Интерграф. сервис, – 1999 – 472с.
5. Гвоздєв О.В. Теоретичне обґрунтування параметрів швидкохідних гвинтових дозаторів сипучих матеріалів. / Гвоздєв О.В., Мамонов Д.О., Гвоздєва Т.О. -Праці ТДАТА. Вип. 25. Мелітополь: 2005. С. 87 – 91.
6. Гвоздєв О.В. Проектування об'ємного дозатора безперервної дії із циліндричним робочим органом./ Гвоздєв О.В., Ялпачик

Е.В., Барсуков С.С. - Праці ТДАТУ. Вип. 8., том. 7. Мелітополь: 2008. С. 33 – 39.

7. Трофимов А.В. Исследование движения сыпучих материалов в машинах барабанного типа без внутренних устройств. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. / А.В. Трофимов - Москва, 1973 – 16с.

8. Коротич В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов. / Коротич В.И. – М.: Металургія, 1966. – 216 с.

9. Гусев Ю.И. Движение материала в грануляторах барабанного типа. Химическое и нефтяное машиностроение, 1966, №11. С. 32 – 34.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОЗАТОРА БЕСПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Гвоздев О.В., Барсуков С.С.

Аннотация - Работа посвящена теоретическому обоснованию параметров объемного дозатора непрерывного действия с цилиндрическим рабочим органом и выявления существенных факторов, которые влияют на него конструктивно - технологические параметры

THEORETICAL MOTIVATION OF PARAMETERS OF CONTINUOUS ACTION DOZING UNIT WITH CYLINDRICAL DRIVEN ELEMENT

O. Gvozdev, S. Barsukov

Summary

The work deals with the motivation of parameters of continuous action dozing unit with cylindrical driven element and revealing the factors that influence upon its design and process-dependent parameters.