УДК 631.363.2

Р.В. Кісільов, здобувач, К.Д. Матвєєв, доц., канд. техн. наук, П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, М.В. Свищ, магістрант
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження бітерних штифтових барабанних дозаторів грубих і соковитих кормів

Досліджено і проаналізовано технологічний процес дозування кормів бітерними барабанними дозаторами з радіальними і похилими пальцями та планетарним дозатором. Отримані рівняння для визначення режимів роботи і експериментальні дані якості роботи та витрат потужності.
дозатор, корми, кормороздавач, радіальні пальці, кормоприготування, дозування, ротаційний бітер

Для дозованої подачі стеблових в'язких матеріалів, грубих і соковитих кормів в технологічних лініях кормоприготування і роздавання їх мобільними кормороздавачами широко використовуються бункерні дозуючі технологічні засоби з застосуванням бітерних штифтових дозаторів різної конструкції: радіальні і похилі пальці гребінок з постійним і змінним кутом входження в моноліт корму [1]. Технологічний процес дозованої подачі кормів в бункерному дозаторі відбувається з використанням одно- або двоступеневої системи дозування.

Розглянемо робочий процес бітерного дозатора, який складається з вала, дисків і гребінок з радіальними пальцями з постійним кутом входження в моноліт (рис. 1). Технологічний процес відбувається в 4-х квадрантах руху гребінок з пальцями. Представлена кінематика процесу відокремлення корму і взаємодії радіальних пальців бітера з монолітом за один цикл забезпечує стискання і початок руйнування структури в граничній зоні моноліту корму, що визначається кутом α_0 стикання пальців з монолітом і кутом $\alpha_{кр}$ обертання їх до початку руйнування структури моноліту корму; руйнування структури його, відокремлення маси корму від моноліту пальцями і формування на кінці їх тіла волочіння, що обмежується кутом α_1 формування тіла волочіння корму; рух тіла волочіння в контакті з неущільненим середовищем, відокремлення додаткової порції кормової маси, вільне переміщення матеріалу вздовж пальця, що відбувається до кінця 1-го квадранта і обмежується кутом обертання $\alpha_1 \le \pi$; розвантаження пальців бітера від маси корму, який знаходиться у 2-му квадранті і вивантаження на поперечний транспортер.

З розглянутої схеми дії сил бітерного дозатора видно, що відокремлення дозованої порції корму від моноліту відбувається під дією колового зусилля пальців гребінки $P_к$. Горизонтальна складова $P_{кх}$ в 1-му квадранті направлена по ходу бурта корму і при стисканні його відокремлює частки, які взаємодіють з пальцем по ширині перерізу, а потім перекидає їх на вивантажувальний транспортер. В 4-му квадранті ця складова направлена проти поступальної швидкості подаючого транспортера і не відокремлює частки від моноліту, а навпаки втискає їх в граничну зону, гальмуючи переміщення корму в бункері. Втиснуті частки корму протягуються пальцями в кормовому моноліті, при цьому витрачається додаткова (безкорисна) робота, яка не зв'язана з процесом відокремлення і дозуванням корму, збільшуючи енергомісткість

© Р.В.Кісільов, К.Д. Матвєєв, П.Г. Лузан, І.І. Павленко, М.В. Свищ, 2012

процесу. Кут обертання вала бітера на початку руйнування структура моноліту корму, коливається в інтервалі 30-154^0, що характеризує нестабільність процесу відокремлення кормової маси бітерним дозатором з радіальними пальцями.

Маса корму, яка відокремлена пальцями, переміщується під дією відцентрової сили $P_ц$. Горизонтальна складова $P_{цх}$ відцентрової сили в обох квадрантах направлена проти руху моноліту і викликає негативний вплив на відокремлення кормової маси від основного моноліту.

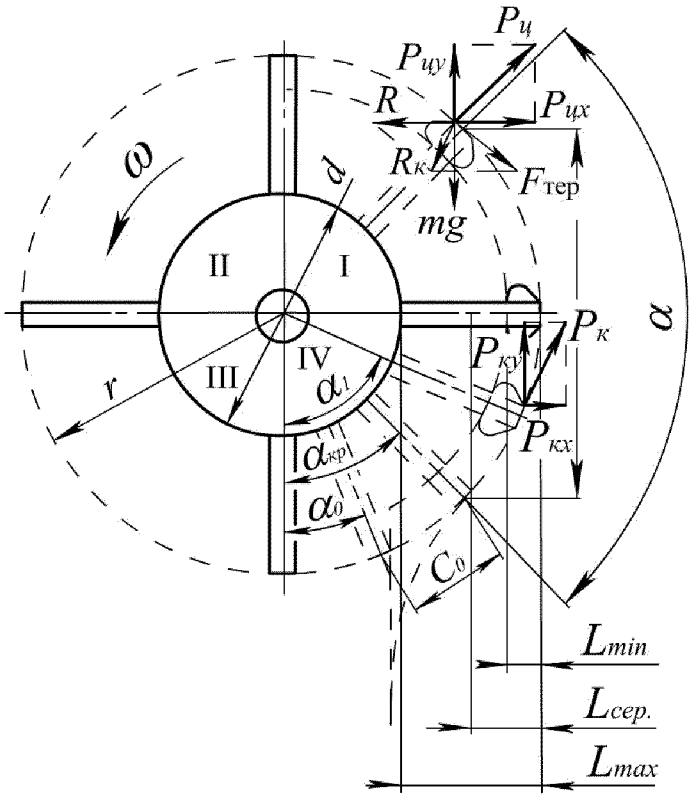


Рисунок 1 – Схема взаємодії радіального пальця гребінки барабанного бітерного дозатора з порцією корму

Аналітичний аналіз процесу показує, що дія пальців гребінки при відокремленні маси корму аналогічна дії клина. Процес відокремлення корму можна представити у вигляді трьох фаз. Перша фаза – стискання і ущільнення робочого шару моноліту корму до максимальної визначеної величини деформації. Ділянка траєкторії руху пальця, на якій відбувається стискання корму, визначається рівнянням $C_0 = \pi r \frac{\alpha_{кр.} + \alpha_0}{180}$. Друга фаза – руйнування моноліту корму, формування тіла волочіння і його рух в контакті із не ущільненим середовищем. Третя фаза – розвантаження пальців гребінки бітера від сформованої порції корму.

Таким чином, в залежності від кута α обертання вала в широких межах змінюється величина деформації. Моноліт корму спучується, деформується і розрихлюється в процесі його відокремлення штифтами гребінки, якщо $\alpha\ \pi\ \frac{\pi}{2}$ і ущільнюється (продавлюється) при $\alpha \geq \frac{\pi}{2}$, що при пульсуючій подачі корму транспортером характеризує нестабільність процесу відокремлення і впливає на точність, рівномірність дозування та збільшення енергоємності процесу.

Для оцінки витрат енергії в IV і I квадрантах розглянемо визначений зрівноважений процес дозування корму. Потужність на привод вала бітера в загальному вигляді розраховується за формулою:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_{xx}, \quad (1)$$

де N_1, N_2, N_3, N_{xx} – відповідно потужність, яка витрачається на подолання сил тертя пальців гребінки в моноліті, деформацію маси корму моноліту, отримання кінетичної енергії відокремлення порції корму і холостий хід дозатора.

При визначенні потужності була використана раціональна формула академіка В.П. Горячкіна. Сила опору пальців в процесі відокремлення порції корму:

$$P_1 = f \cdot R_к, \tag{2}$$

де f – коефіцієнт тертя пальців з кормом по поверхні;

$R_к$ – реакція моноліту корму.

Сила опору на стискання і ущільнення корму

$$P_2 = K \cdot a \cdot b, \tag{3}$$

де K – питомий опір корму, який залежить від молекулярних сил зчеплення часток;

$a \cdot b$ – площа перерізу відокремленого шару корму у напрямку руху пальців.

Складова сила P_2 руйнує граничний шар моноліту корму і відокремлює корм, долаючи опір сили зчеплення часток, який визначається за формулою:

$$P_2 = F_{пит} \cdot \frac{\pi \upsilon_n B}{2\omega} \sin\alpha, \tag{4}$$

де $F_{пит}$ – питома сила зчеплення часток (визначається експериментально і для розрахунків приймається $F_{пит}$=450...480 Па/м^2);

υ_n – швидкість руху пальців, м/с;

B – ширина бітера, м;

$K = F_{пит} \cdot \sin\alpha$ – коефіцієнт пропорційності.

При $\alpha \le \alpha_{кр}$ і $P_{ку} \le 0$ силу опору пальців P_1 можна не враховувати, тоді з урахуванням витрат на кінетичну енергію відокремленої порції корму, загальна потужність на привід вала бітера складатиме:

$$N = \left\{ \frac{m\upsilon_б^2}{r}(\sin\alpha - f_1\cos\alpha)f - mg\upsilon_б[\cos(\omega t + \alpha) + f_1\sin(\omega t + \alpha)] + \right.$$
$$\left. + F_{пит}\frac{\upsilon_n B \pi r \sin\alpha}{2\upsilon_б} + \frac{m\upsilon_б}{2} \right\} \cdot \upsilon_б + N_{xx}, \tag{5}$$

де $\upsilon_б$ – колова швидкість руху бітера, м/с;

f_1 – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Частоту обертання бітерного дозатора визначаємо з рівняння:

$$n_б = 30H\upsilon_n K_0 \frac{1}{Д_б^2 \sin^2\frac{\alpha}{2} z} \cdot \frac{K_р \cdot K_з}{sek^2\varphi'}, \tag{6}$$

де H – висота бункера дозатора, м;

$Д_б$ – діаметр бітера, м;

K_0 – коефіцієнт, який враховує відставання кормового моноліту від швидкості руху конвеєра;

$K_р$ – ступінь розрихлення корму;

$K_з$ – коефіцієнт заповнення бункера;

φ' – кут внутрішнього тертя;

α – кут між гребінками;

z – кількість гребінок бітера.

Таким чином, загальна потужність приводу робочого органа ротаційного бітера залежить від маси корму, питомої сили зчеплення часток, діаметра барабана, колової швидкості руху бітера, фізико-механічних властивостей матеріалу і кута взаємодії пальців з кормом. Тому бітерні дозатори-відокремлювачі з радіальними пальцями при мінімальній, середній і максимальній подачі нерівномірно дозують матеріал, а на привод його витрачається багато енергії на стискання і ущільнення корму. У дозаторів ПЗМ–1,5, КТУ–20.000, ПДК–10 (Україна), С–120 Супер (Італія) та ін. з одностадійним дозуванням силосу і соломи нерівномірність подачі маси складає 30…59%, а потужність встановлених двигунів – 5,2…10 кВт.

Для зменшення витрат енергії запропонована конструкція пальців з трикутниковим, ромбовидним або тонким прямокутним їх перерізом і похилим розташуванням пальців. З урахуванням матеріалу пальців (коефіцієнт тертя по сталі для силосу і сінажу $\varphi=27^0$, соломи 17^0), критичний кут нахилу пальців для зчісуючих і відокремлюючих бітерів пропонується вибирати в межах $60\ldots75^0$. Це забезпечує ефективну взаємодію похилих пальців з монолітом і зменшує витрати енергії та коефіцієнт нерівномірності подачі корму.

При аналітичному дослідженні і проектуванні конструкцій активного бітерного дозатора із змінним кутом входження пальців в моноліт корму, було встановлено, що при обертанні бітера на кут π пальці в переносному русі повинні бути розташовані під кутом $\pi/2$ до вісі y, що свідчить про відповідність вимогам технологічного процесу вивантаження корму.

На підставі математичного аналізу плоских еліптичних кривих вищого порядку такому руху відповідають криві завитку Паскаля [2].

Положення пальців такого бітера визначається напрямками радіусів – векторів, які проведені з центра обертання O_1. Як видно з рисунка 2, дія пальця активного бітера на кормовий моноліт відбувається при мінімальній подачі по дузі K_4K_8, а при максимальній – по K_2K_{10}, це значно збільшує пропускну спроможність і призводить до більш точного узгодження об'єму відокремленого корму і руху транспортера, що покращує рівномірність подачі корму. Площа поперечного перерізу шару корму, який відокремлюється пальцями бітера, більш стабільніша і представляє собою площу параболічного сегмента:

$$F_n = \frac{R_y}{2}\left(\frac{\pi\cdot\alpha}{180} - \sin\alpha\right), \tag{8}$$

де R_y – радіус умовного кола завитка Паскаля, який описується кінцями пальців бітера;

α – центральний кут дуги взаємодії пальця з монолітом корму.

Для визначення режимів роботи розробляємо кінематику руху планетарного бітера з змінним кутом установки пальців (рис. 3). Приймаємо напрямок руху кривошипа проти годинникової стрілки, а бітерних граблин – за годинниковою стрілкою, що забезпечує умови виконання технологічного процесу дозування корму. Обертання на бітерні граблини передається за допомогою зубчастого планетарного механізму, який складається з центральної жорстко встановленої шестерні, крізь яку проходить з зазором цапфа центрального вала, двох проміжних шестерень і чотирьох шестерень, встановлених на цапфах граблин.

Бітери, які обертаються на зустріч подачі корму, пальцями врізаються в кормову масу, розрихлюють і відокремлюють дозовану масу корму і коловою та відцентровою

силами перекидають її на поперечний конвеєр-дозатор, що зменшує витрати енергії на деформацію корму.

Умовна частота руху барабана визначається з рівняння:

$$n_y = \frac{q_c}{l^2 \cdot \sin\varphi' \cdot L \cdot \gamma}, \tag{9}$$

де q_c – секундна подача корму одним бітером;

l – довжина пальця;

φ' – кут внутрішнього тертя стеблової маси (φ'=50...55^0);

γ – об'ємна маса корму;

L – довжина граблин.

Проведені експериментальні дослідження показали, що одноступеневі бітерні дозатори з змінним кутом входження пальців (планетарні) і двоступеневі дозатори відповідають зоотехнічним вимогам по рівномірності дозування кормів (відповідно 11-14% і 6,8-7,2%), що підтверджує теоретичні дослідження (рис.4). Дослідження витрат потужності на привод бітерних дозаторів підтвердили, що при використанні дозаторів з радіальними пальцями витрати потужності збільшуються в 2–3 рази у порівнянні з планетарними бітерними дозаторами (рис.5).

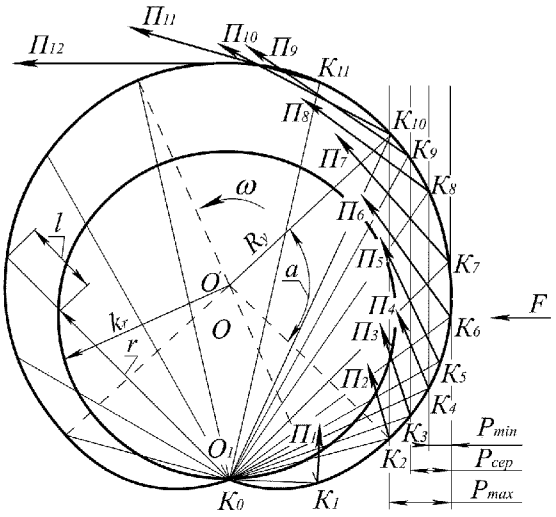


Рисунок 2 – Схема взаємодії пальців бітера з кормовим монолітом

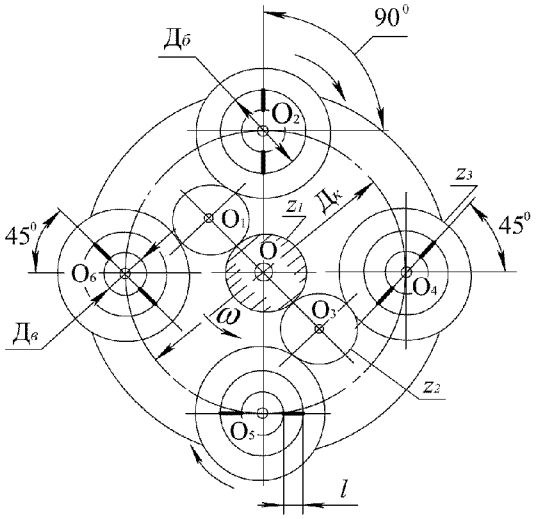
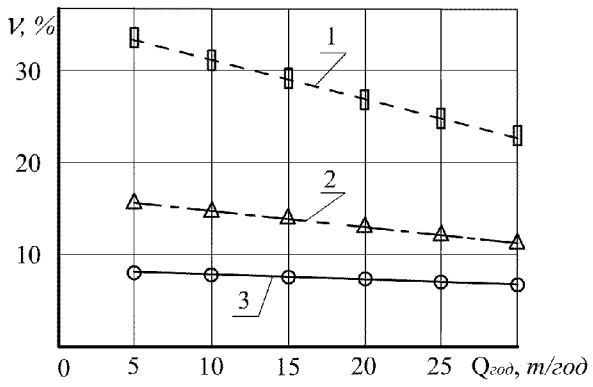
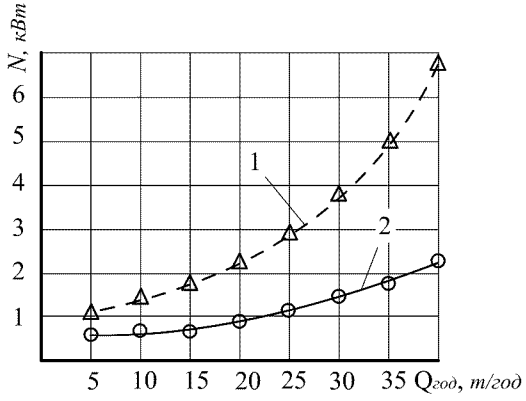


Рисунок 3 – Кінематична схема планетарного механізму приводу



1 – з радіальними пальцями; 2 –з одноступеневим дозуванням; 3 –з двоступеневим дозуванням

Рисунок 4 – Рівномірності дозування корму бітерними дозаторами



1 –з радіальними пальцями; 2 – планетарний

Рисунок 5 – Витрати потужності на привод бітерних дозаторів

Список літератури

1. Сидоренко В.В. Підвищення ефективності та якості дозаторів грубих і соковитих кормів / В.В. Сидоренко, К.Д. Матвєєв, П.Г. Лузан, та ін. // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.– 2008.– Вип. 21.– С. 292.
2. Берман Г.Н. Циклоида / Г.Н. Берман.– М.: Наука, 1980.– С. 112.
3. Ильин В.А. Аналитическая геометрия / В.А. Ильин, Є.Г. Поздняков.– М.: Наука, 1988.– С. 223.

Р. Кісільов, К. Матвєєв, П. Лузан, И.Павленко, М.В. Свищ

Исследование битерных штифтовых барабанных дозаторов грубых и сочных кормов

Исследовано и проанализировано технологический процесс дозирования кормов битерными барабанными дозаторами с радиальными и наклонными пальцами и планетарным дозатором. Получены уравнения для определения режимов работы и экспериментальные данные качества работы и расхода мощности.

R. Kisilyov, K. Matveev, P. Luzan, I. pavlenko, M.V. Svisch

Research bitter bayonet of drum portioners coarse and succulent fodder

The technological process of forages batching using blade drum-type portioners with radial and inclined pins and planetary portioner is investigated and analyzed. The equations for defining mode of operation and experimental data of work quality and power demand are obtained.

Одержано 11.10.12.