Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Regarding the Reliability of the Technological Process of Shredding Crop Residues

The article is devoted to finding ways to solve the problem of increasing the reliability of the technological process of shredding crop residues using shredding rollers with operating parts in the form of knife drums. The research presents a review and analysis of existing types of machines for shredding crop residues equipped with driven and non-driven active operating parts with their advantages and disadvantages. The ways and methods that should be considered when solving problems of improving the quality of grinding and reliability of this technological process are formulated. The article presents the content and methods of conducting experimental field studies of the process of shredding crop residues by a drum with knives installed on its surface at a certain angle of deflection between adjacent rows and with a shift of the line of row blades relative to the axis of the drum itself. It is proved that at certain values of these parameters, it is possible to achieve a significant increase in the reliability of the technological process, to virtually eliminate the negative phenomenon of clogging of the inter-row space with particles of plant stems and soil.

The rational values of the angles of the knives on the surface of the chopping drum, substantiated in this work, allow increasing the intensity of chopping crop residues as a result of reducing the distance between the rows of knives. Thus, the approximate length of the particles of chopped plant stems can be reduced from 21.4 cm to 17.4 cm, without negative consequences for the reliability of the technological process.

crimp-rollers of plant residues, process reliability, angles of installation of knives on the surface of the drum, inter-groove space, particles of plant stems, crop residues

Одержано (Received) 18.09.2023 *Прорецензовано (Reviewed) 04.10.2023*
Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023

УДК 631.363.2 DOI: https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.101-111

Р.В. Кісільов, доц., канд. техн. наук, **В.М. Кропівний,** проф., канд. техн. наук, **П.Г. Лузан,** доц., канд. техн. наук, **О.В. Нестеренко,** доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: ruslan_vik@ukr.net

Вдосконалення конструкції бітерів дозатора кормів порційної дії

У статті за рахунок проведеного аналізу роботи дозуючих пристроїв запропонована конструкція бункерного дозатора порційної дії типу БДК-Ф-70-20, який обладнаний круглоланковим ланцюгом та гребінками. Теоретичними дослідженнями було обґрунтовано конструктивні та режимні параметри дозаторів-відокремлювачів обладнаних радіальними пальцями. Визначено їх вплив на якість дозування вологих та грубих компонентів у процесі розвантаження кормів на поперечний горизонтальний транспортер.

тваринництво, дозатор кормів, планетарний механізм, бітер, поперечний транспортер, моноліт корму, ланцюг, гребінка, пальці

Постановка проблеми. Зниження темпів виробництва продуктів тваринництва в Україні пов’язане з багатьма відомими факторами, що неодмінно впливають на позитивний розвиток всієї галузі. Одним з таких чинників є незадовільний стан кормової бази. Недостатня забезпеченість тваринництва кормами, невідповідна їх якість до діючих зоотехнічних вимог при підготовці до згодовування призводить до значного порушення генетичного потенціалу. Тому реалізація тварин в таких умовах можлива лише на 45–50%. Корми та кормові суміші мають визначальний вплив серед

© Р.В. Кісільов, В.М. Кропівний, П.Г. Лузан, О.В. Нестеренко, 2023

економічних показників розвитку галузі тваринництва, так як їх частка в структурі собівартості може складати майже 60–70% всіх витрат [1].

У скотарстві для виробництва молока і м'яса яловичини запроваджені нові деталізовані норми годівлі, а саме їх визначають за 22–24 елементами живлення. Так, у структурі балансу кормів високу питому вагу займають силос, сінаж, сіно, солома, зелені корми, коренеплоди та концентровані корми, що вимагає впровадження прогресивних та інтенсивних технологій з використанням комплексної механізації і автоматизації процесів приготування збалансованої повнораціонної суміші.

В Україні , використовуючи практичний світовий досвід, найбільш поширені змішані типи годівлі великої рогатої худоби (ВРХ): силосний, силосно-сінажний, силосно-коренеплідний, сінажний та багато інших. Характерною рисою їх є багатокомпонентність і різноманітність. Поряд з цим вдосконалюються існуючі системи годівлі ВРХ, які направлені на розробку ефективних та економічно доцільних технологій переробки кормів для приготування вологої і сухої кормової суміші [3, 4].

Вагомою і досить складною операцією в процесі приготування вищевказаних сумішей для ВРХ є дозування і подача різних компонентів згідно встановленої кількості корму з метою отримання якісної кормової суміші. Можливі порушення співвідношення компонентів в суміші призводить до небажаного зниження або підвищення поживності готового корму, що є наявною їх перевитратою.

Узагальнений аналіз застосування механізованих кормоцехів, групи мобільних кормороздавачів та кормопереробних машин на тваринницьких комплексах свідчить, що дозування грубих, соковитих і стебельних кормів не повною мірою задовольняє зоотехнічним і технологічним вимогам. Такі машини та обладнання мають складну конструкцію, досить високі показники металомісткості і енергомісткості, що значно знижує ефективність та якість приготування кормових сумішей. Тому розробка і вдосконалення класичних конструкцій дозаторів кормів для приготування високоефективних кормових сумішей до згодовування і роздавання кормів з обґрунтуванням геометричних та кінематичних параметрів їх робочих органів є актуальним завданням [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі вчені Кукта Г.М., Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ібатуллін І.І., Манько В.М., Хмельовський В.С. та інші займалися дослідженням процесів дозування, змішування кормів та приготування збалансованих повнораціонних сумішей. Вони сформулювали основні положення теорії вищевказаних процесів. Встановлені ними загальні залежності між факторами призвели до певних висновків, що обґрунтовують складність таких процесів, особливо фізико-механічної сторони [6].

Постановка завдання. Метою проведення досліджень передбачалося вивчення закономірностей впливу конструктивних та режимних параметрів на якість дозування грубих, соковитих і стебельних кормів.

Виклад основного матеріалу. В практиці кормоприготування і роздавання кормів широко застосовують масове або об'ємне дозування, кожне з яких може бути порційним або безперервним [7]. В системі використання механізованих кормоцехів, кормороздавачів і кормопереробних машин за кордоном і в Україні найбільш широко застосовують для дозування малосипучих грубих, соковитих і стебельних кормів ланцюгово-планкові бункерні живильники з транспортерними і бітерними дозуючими засобами, що мають різне конструктивне виконання. Тобто вони відрізняються робочими органами подаючих конвеєрів, транспортерів-відокремлювачів і бітерів, їх кількістю і розташуванням, кутом нахилу живильних транспортерів до горизонту, принципом роботи та приймальною частиною [9, 10]. Технологічний процес дозування

малосипучих кормів відбувається із застосуванням одно- та двоступеневої системи подачі (рис. 1).

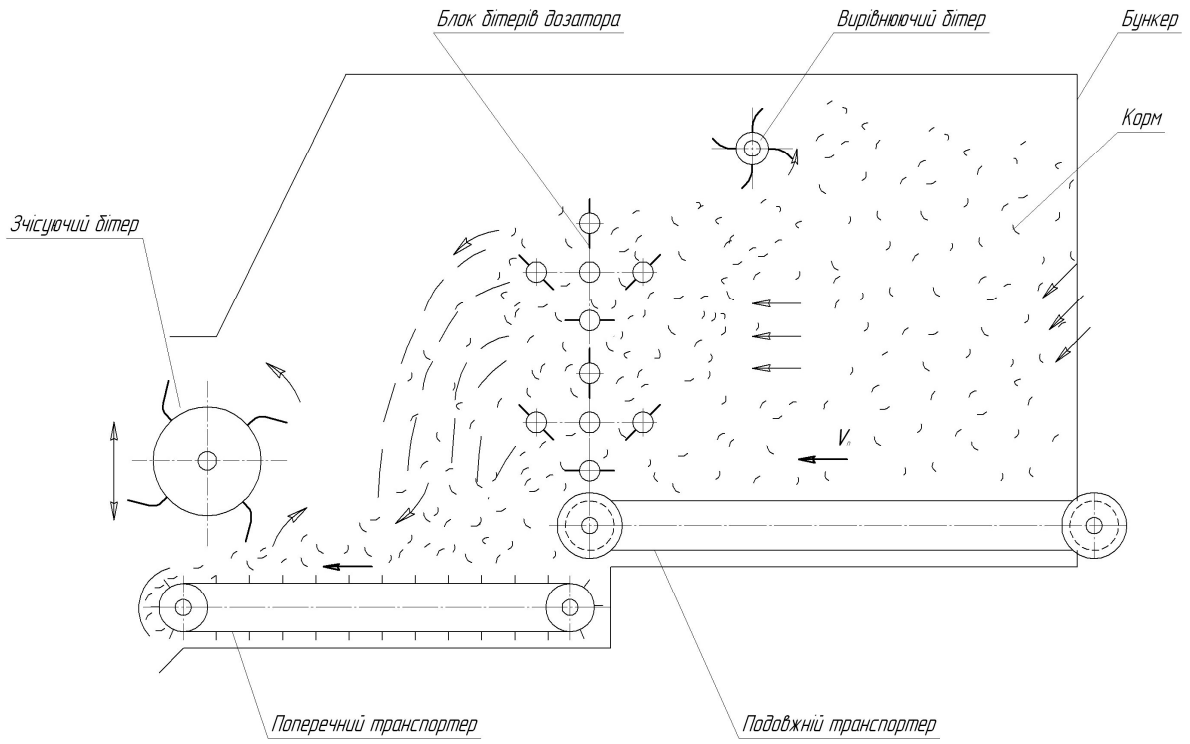

Рисунок 1– Функціональна схема двохстадійного дозатора стебельних кормів зі змінним кутом входження пальців граблин в моноліт корму

Джерело: розроблено авторами

Моноліт кормової сировини в бункері подається ланцюгово-планковим конвеєром до відокремлюючих пристроїв, що складаються з бітерів. Пальці граблин бітерів зчісують і розрихлюють матеріал моноліту корму, який стикається з ними, і вивантажують на поперечний конвеєр або подають безпосередньо в технологічну лінію на збірний транспортер для подальшого змішування компонентів (одноступенева система дозування кормів).

Пропускна здатність бітерної системи повинна перевищувати пропускну здатність живильника, який забезпечує подачу кормів до блока бітерів і узгоджуватись з нею. Приведена система може забезпечувати регульовану віддозовану видачу в'язких кормових матеріалів з допустимими відхиленнями. Для підвищення точності дозування в'язких стебельних та інших кормових матеріалів і забезпечення працездатності бітерного пристрою в допустимих межах застосовується двоступінчаста система дозування. Вона складається з живильника, дозатора-відокремлювача бітерного типа, вирівнюючого зчісуючого пристрою, поперечного конвеєра, що забезпечує згладжування нерівномірності кормового потоку, який надходить з живильника, і автоматично керує його роботою.

Для аналізу конструктивних і кінематичних параметрів бітерів пропонується розроблена фізична модель, яка визначає взаємодію радіальних пальців бітера з монолітом корму (рис. 2).

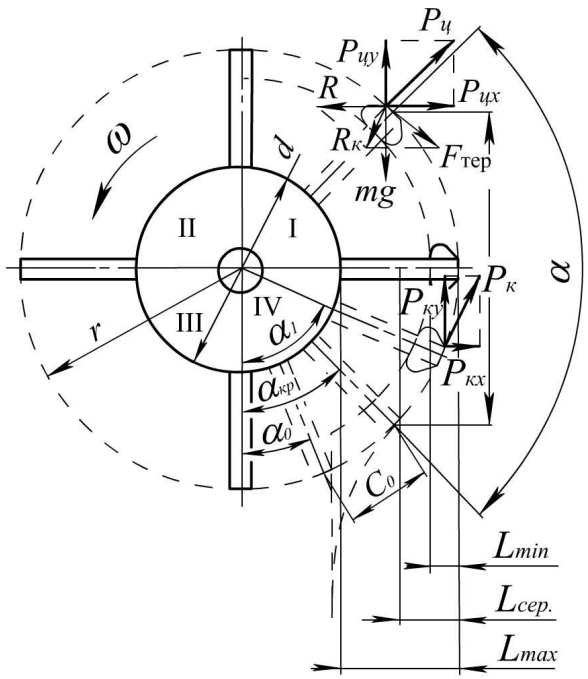

Рисунок 2 – Схема сил взаємодії радіального пальця бітерного дозатора з часткою корму
Джерело: розроблено авторами

Проведений аналіз запропонованої кінематики процесу відокремлення корму і взаємодії радіальних пальців з монолітом за один цикл дозволив виділити чотири періоди: пружне стискання і початок руйнування структури моноліту корму, що визначається кутом α_0 – стикання пальця з монолітом – і кутом $\alpha_{ёд.}$ – обертання пальця до початку руйнування структури моноліту; руйнування структури моноліту, відокремлення матеріалу від моноліту корму пальцем і формування на кінці штифта тіла волочіння, що обмежується кутом α_1 – формування тіла волочіння корму; рух тіла волочіння в контакті з пружним середовищем, відокремлення додаткової порції кормової маси, вільне переміщення матеріалу вдовж пальця, що відбувається до початку четвертого періоду, який обмежується кутом $\alpha_2 = \pi$; період розвантаження граблин бітера, що відбувається в квадранті $\alpha_3 > \pi$ розвантаження бітера.

Таким чином, бітер, що є ротаційним робочим органом, за допомогою пальців захвачує і розрихлює певний шар маси моноліту, долає пружне стискання матеріалу, руйнує структуру його, відокремлює частину корму від моноліту і перекидає відцентровою силою на вивантажувальний конвеєр. В процесі руху пальця гребінки на кінці його формується тіло волочіння, яке рухається вздовж пружної кормової маси. При цьому гребінка бітера відбирає з маси корму шар, який дорівнює висоті хорди m, центрального кута α між радіусами входження гребінки в масу та виходу її з маси. Нелінійна траєкторія руху пальця в першому і другому періодах не враховується, оскільки в кожний момент реакція матеріалу направлена по нормалі до пальця. Ділянка траєкторії пальця, на якій відбувається пружній стиск, може бути визначено наступним рівнянням:

$$C_0 = \pi \cdot r \frac{\alpha_{кр} - \alpha_o}{180}, \quad (1)$$

де r – радіус бітера, м;

$\alpha_{кр.}$ – кут відхилення пальця, при якому починається руйнація матеріалу, град.;

α_0 – кут, при якому палець починає контактувати з матеріалом, град.

Мінімальні затрати енергії в цьому випадку виникають тоді, коли з масою відбувається контакт тільки однієї гребінки.

Тоді:

$$\alpha = 2\arcsin\frac{m}{D}, \tag{2}$$

а оптимальна кількість гребінок бітера складає:

$$Z = \frac{360^0}{\alpha} = \frac{180}{\arcsin\frac{m}{D}}, \tag{3}$$

За час обертання граблини від 0 до π об'єм корму, що видаляється бітером, визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot r \cdot \vartheta_n}{\omega} \cdot B, \tag{4}$$

де ω – кутова швидкість руху бітера;

r – радіус бітера;

ϑ_n – швидкість руху поздовжнього транспортера;

B – довжина граблини (ширина бункера).

Відокремлюваний корм розташовується на робочій поверхні пальців, що дозволяє зробити висновки, а саме: для узгодження принципу роботи бітера в процесі відокремлення корму необхідно, щоб робоча довжина його пальців мала змінну величину відносно пропорційної площі поперечного перерізу відокремлюваного корму (від 0 на початку взаємодії з кормом до максимальної величини в кінці процесу відокремлення корму від загального моноліту корму). Таким чином, площа поперечного перерізу шару, що видаляється граблиною, буде мати вигляд:

$$S = \int_0^{\pi} \frac{\pi \cdot \vartheta_n}{2\omega} \cdot r \cdot \sin \omega t \cdot dt, \tag{5}$$

ωt – кут обертання граблини;

t – час обертання граблини.

Продуктивність чотирьохграбельного бітера за один оберт в залежності від подачі кормової маси можна визначити співвідношенням:

$$Q = \frac{4\pi \cdot r}{\omega} \cdot \vartheta_n \cdot B \cdot \gamma, \tag{6}$$

або

$$Q = \frac{4\pi \cdot r^2 \vartheta_n \cdot B \cdot \gamma}{\vartheta_б} = \frac{2 \cdot r \cdot \vartheta_n \cdot B \cdot \gamma}{n}, \tag{7}$$

де γ – об'ємна маса корму;

n – частота обертання вала бітера;

$\vartheta_б$ – кругова швидкість руху бітера;

ϑ_n – швидкість руху конвеєра.

Таким чином, секундна продуктивність бітерного відокремлювача визначається в залежності від діаметра бітера і величини подачі кормової маси за допомогою формули:

$$q = \frac{4\pi \cdot r \cdot \vartheta_n \cdot B \cdot n \cdot \gamma}{\omega}, \quad (8)$$

Виходячи з оптимальних умов розподілення корму на гребінці бітера, формула оптимальної секундної продуктивності приймає вигляд:

$$q = l^2 \cdot n \cdot \sin 2\varphi'' \cdot B \cdot \gamma, \quad (9)$$

де φ" – кут внутрішнього тертя (для розрихленої стебельної маси φ"=50…55^0);

l – довжина пальця.

Прирівнюючи продуктивність бітера до оптимальної продуктивності конвеєра, отримуємо рівняння кінематичного зв'язку поздовжнього транспортера і бітерного пристрою:

$$\vartheta_n = \frac{l^2 \cdot n \cdot \sin 2\varphi'' \cdot \gamma}{r}, \quad (10)$$

Робочу довжину пальця граблини визначаємо з рівняння подачі моноліту за один оберт відокремлюючого бітера:

$$\Delta x = \frac{2\pi \cdot r \cdot K_1 K_2}{\lambda \cdot Z}, \quad (11)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує ковзання моноліту на подавальному транспортері;

K_2 – коефіцієнт спучення корму при відокремленні;

λ – співвідношення швидкостей руху бітера-відокремлювача і подавального транспортера;

Z – кількість граблин бітера.

З розглянутої схеми дії сил бітерного дозатора (рис. 2) видно, що відокремлення порції корму від моноліту відбувається під дією кругового зусилля пальців $P_к$, складовими якого є горизонтальна $P_{кх}$ і вертикальна $P_{ку}$ сили. Горизонтальна складова в 1-му квадранті направлена по ходу бурта корму і, стискаючи його, відокремлює від нього частки, що стикуються з пальцем, а потім перекидає їх на вивантажувальний транспортер. В 4-му квадранті ця складова направлена проти поступальної швидкості подавального транспортера і не відокремлює частки корму від моноліту, а навпаки, втискає їх в граничну зону, гальмуючи переміщення корму в бункері. Втиснуті частки протягуються пальцями бітерів в кормовому моноліті, при цьому витрачається додаткова (безкорисна) робота, яка не пов'язана з процесом відокремлення і дозування корму, збільшуючи енергоємність процесу.

Для зменшення витрат енергії для періоду руху пальців C_o запропонована нова звужена конструкція пальця з трикутним або ромбовидним його перерізом.

При використанні бітерів-відокремлювачів з похилим або ортогональним розташуванням пальців (рис. 3) зменшується площа контакту їх з кормом, що впливає на зменшення ступеня дії деформацій корму. Такий кут установки пальця називають критичним. Він забезпечує кращу стабільність відокремлення корму. Враховуючи, що матеріал пальців – сталь, приймаємо кут тертя для силосу і сінажу φ=27^0, а для соломи φ=17^0, тоді критичний кут нахилу пальців приймаємо $\alpha_{кр}$=60–73^0, що забезпечить ефективну взаємодію пальця ромбовидного перерізу з монолітом і зменшить витрати енергії та коефіцієнт нерівномірності подачі корму.

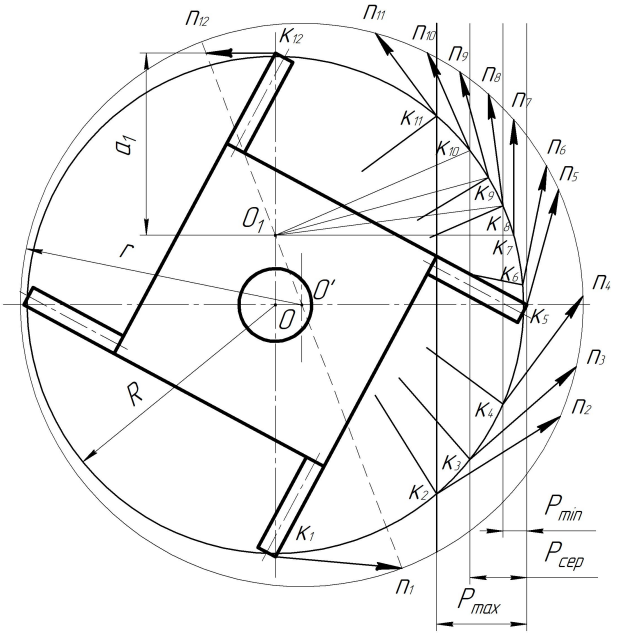

Рисунок 3 – Схема взаємодії бітера першого ступеня дозування з похилими пальцями з монолітом

Джерело: розроблено авторами

При проектуванні конструкції бітерного дозатора з перемінним кутом входження пальця в моноліт корму, було з'ясовано, що при повороті бітера на кут π палець в переносному русі повинен бути розташований під кутом $\pi/2$, що свідчить про відповідність вимогам технологічного процесу вивантажування корму.

З математичного аналізу плоских еліптичних кривих вищого порядку такому руху відповідають криві завитку Паскаля. В окремому випадку завитка Паскаля можна отримати за принципом побудови епіциклоїди шляхом обкатування колеса по нерухомому колу з однаковим діаметром. Використовуючи принцип складання двох обертальних рухів і кінематику руху пальця активного бітера, визначимо основні параметри складного руху, на основі яких синтезується механізм бітера. Параметричні рівняння руху точки в прямокутних координатах X і Y для епіциклоїди запишемо у вигляді:

$$X = r \cdot \left[K \cdot \cos(j \cdot \omega t) + \cos(j+1) \cdot \omega t)\right], \quad (12)$$

$$Y = r \cdot \left[K \cdot \sin(j \cdot \omega t) + \sin(j+1) \cdot \omega t)\right], \quad (13)$$

Аналіз рівнянь показує, що вони справедливі тільки при одночасній зміні параметрів бітерів і швидкості руху транспортера, що не передбачено конструкцією існуючих живильників подрібнених стебельних кормів.

Розглянутим умовам роботи відповідає бітерний кормовідокремлювач з перемінним кутом установки пальців і траєкторією їх руху по завитку Паскаля, який називають активним бітером.

Положення пальців такого бітера визначається напрямками радіусів-векторів, які проведені з миттєвого центра обертання O_1 (рис. 4). Дія пальця активного бітера на кормовий моноліт відбувається при мінімальній подачі – по дузі $К_4К_8$, при максимальній – по дузі $К_2К_{10}$. Довжина дуги безпосередньо відокремлення кормової маси у цьому випадку значно більше дуги взаємодії з масою серійного бітера з постійним кутом установки пальця. Це значно збільшує пропускну здатність активного

бітера і призводить до більш точного узгодження об'ємів подачі транспортером і відокремлення корму бітерами, що помітно підвищує рівномірність видачі корму.

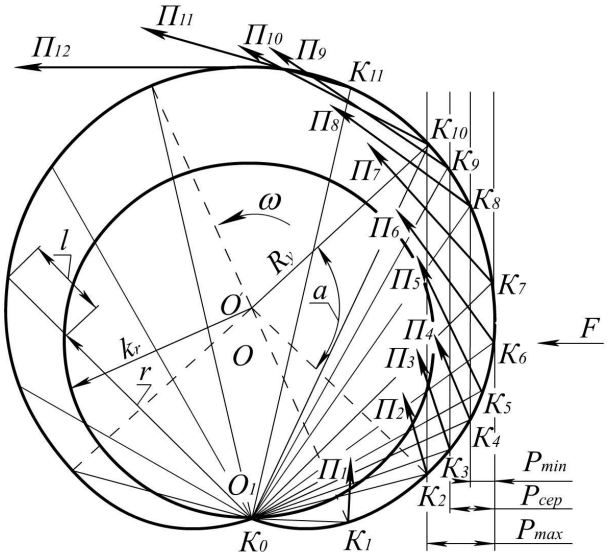

Рисунок 4 – Схема взаємодії пальців бітера з кормовим монолітом
Джерело: розроблено авторами

Площа поперечного перерізу шару корму, яка видаляється пальцем бітера представляє собою площу параболічного сегмента і визначається за формулою:

$$F_n = \frac{2}{3} P \cdot q, \tag{14}$$

де q – довжина ділянки дії пальця на корм;

P – висота параболічного сегмента, яка дорівнює величині подачі поздовжнього транспортера.

Якщо замінити параболічний сегмент круговим, довжина ділянки дії пальця q буде дорівнювати хорді умовного круга з кормового моноліту, довжину якої визначаємо за формулою:

$$q = 2 \cdot R_y \cdot \sin\frac{\alpha}{2}, \tag{15}$$

де R_y – радіус умовного круга, що описаний кінцями пальців бітера;

α – центральний кут дуги дії пальця на моноліт корму.

Підставивши значення q у рівняння (14), прирівнюємо його площі кругового сегмента:

$$F_n = \frac{R_y^2}{2}\left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180} - \sin\alpha\right), \tag{16}$$

Вирішуючи рівняння відносно висоти сегмента P, яка за одиницю часу представляє собою швидкість руху подавального транспортера, отримаємо рівняння кінематичного зв'язку подавального транспортера і активного бітера:

$$P = \frac{3}{8} \cdot \frac{R_y\left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin\alpha\right)}{\sin\frac{\alpha}{2}}, \tag{17}$$

Висновки. Проведені теоретичні дослідження дозволили розробити модель процесу відокремлення моноліту корму робочими органами дозуючих бітерів, яка встановлює пропускну здатність, витрати енергії і траєкторію руху пальців бітерів з радіальними і похилими пальцями з постійним і змінним кутом входження в моноліт.

Доведено, що довжина дуги траєкторії взаємодії бітера зі змінним кутом установки пальців значно більша довжині дуги взаємодії з масою корму серійного бітера з постійним кутом установки пальців. Пропускна здатність активного бітера збільшується, що призводить до більш повної відповідності об'єму подачі поздовжнім транспортером і бітером-відокремлювачем зі змінним кутом установки пальців, внаслідок чого і підвищується рівномірність подачі дозатора [11, 12].

Аналізом кінематики руху пальців активного бітера встановлено, що вертикальна сила пружного стискання маси корму при проникненні пальців зводиться до мінімальної величини і таким чином зменшує витрати енергії на привід відокремлювального бітера на 30–35% у порівнянні з радіальними пальцями.

Список літератури

1. Ревенко І.І., Хмельовський В.С., Заболотько О.О. Машини і обладнання для тваринництва : Електронний підручник. Київ : ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти», 2019. URL: http://rodak.if.ua/mot/index.htm (дата звернення: 06.10.2023).
2. Лазаревич А. П. Однотипові кормосуміші для молочної худоби. *Тваринництво України*. 2007. № 4. С. 33–35.
3. Adgidzi, D.A., Mu'azu, S.T., Olorunsogo and E.L. Shiawoya (2006). Design considerations ofmixer-pelleting machine for processing animal feeds. *7th annual engineering conference, School of Engineering and Engineering Technology*, FUT Minna. 28–30 June 2006. URL: http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS(1)(3).pdf (дата звернення: 06.10.2023).
4. Хмельовський В.С. Оцінка рівномірності змішування кормів. *Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції.* Київ : НУБІП України, 2017. С. 77–78. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/_obuhovski_chitannya_2017.pdf#page=77 (дата звернення: 09.10.2023).
5. Ібатуллін І.І., Мельник Ю.Ф., Отченашко В.В. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин: навчальний посібник під ред. академіка НААН України І.І. Ібатулліна. К.: 2015. 422с. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/Ібатулін.pdf (дата звернення: 09.10.2023).
6. Ревенко И., Ревенко Ю. Качество приготовления и эффективность использования концентрированных и комбинированных кормов. *MOTROL*. Lublin-Rzeszow. 2013. Вип. 3. С. 356–361. URL: http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-5bafa802-c1cc-4705-acd3-e3af4d984d88/c/356-361.pdf (дата звернення: 12.10.2023).
7. Науменко О.А., Бойко І.Г., Грідасов В.І., Дзюба А.І. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва. За ред. Скорика О.П., Полупанова В.М. Харків, ХНТУСГ, 2009. 429 с. URL: https://b.eruditor.link/file/2418505/ (дата звернення: 11.10.2023).
8. Шевченко І.А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудченко В. М. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва вологих високозасвоюваних кормів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб*., 2013. Вип. 43. С. 179–185. URL: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2701 (дата звернення: 12.10.2023).
9. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машини та обладнання для тваринництва. Київ: *Кондор*, 2009. 730 с. URL: http://www.twirpx.com/file/2085032/
10. Шацький В.В., Мілько Д.А., Болтянський Б.В.,. Коломієць С.М., Семенцов В.І. Якість змішування компонентів раціону – основа підвищення продуктивності тварин. *Збірник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь. 2013. Вип. 1; Т. 3. С. 43–50. URL: http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf1t3/11SVVIAP.pdf
11. Шацкий В.В. Математическое моделирование динамичности плотности и качества кормовой смеси для животных. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.* 2012. Вип.2. Т.2. С. 3–19. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vkhdtusg_2014_144_32.pdf (дата звернення: 12.10.2023).

12. Шабельник Б.П. Теорія та розрахунок машин для тваринництва : монографія. Харків : ХДТУСГ, 2002. 216 с.

References

1. Revenko, I.I., Khmel'ovs'kyj, V.S. & Zabolotko, O.O. (2019). *Mashyny i obladnannia dlia tvarynnytstva* [*Machines and equipment for animal husbandry*] : Elektronniy pidruchnyk. Kyiv: DU «Naukovo-metodychnyj tsentr vyschoij ta fahovoij osvity». Retrieved from http://rodak.if.ua/mot/index.htm. [in Ukrainian].
2. Lazarevych, A. P. (2007). Odnotypovi kormosumishi dlia molochnoi khudoby [Preparation of feed mixtures by the combined blender]. *Tvarynnytstvo Ukrainy – Bulletin of Agricultural Science, 4,* 33–35 [in Ukrainian].
3. Adgidzi, D.A., Mu'azu, S.T., Olorunsogo & Shiawoya, E.L. (2006). Design considerations ofmixer-pelleting machine for processing animal feeds. *7th annual engineering conference, School of Engineering and Engineering Technology, FUT Minna. 28–30 June 2006*. Retrieved from http://www.insikapub.com/Vol-01/No-03/IJBAS(1)(3).pdf [in English].
4. Khmel'ovs'kyj, V.S. (2017). Otsinka rivnomirnosti zmishuvannia kormiv [Evaluation of uniformity of feed mixing]. *XII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (Kyiv) – XII International Scientific and Practical Conference (Pp.* 77–78*), Kyiv NUBIP Ukrainy*. Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/_obuhovski_chitannya_2017.pdf#page=77 [in Ukrainian].
5. Ibatullin, I.I., Melnuk, U.F. & Otchenashko, V.V. (2015). *Praktykum z godivli silskogospodarskyh tvaryn* [*Workshop on feeding agricultural animals*]. I.I. Ibatullina (Eds.). Kyiv. Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u104/Ібатулін.pdf [in Ukrainian].
6. Revenko, I. & Revenko, Ju. (2013). Kachestvo prigotovlenija i jeffektivnost' ispol'zovanija koncentrirovannyh i kombinirovannyh kormov [Quality of preparation and efficiency of use of concentrated and combined fodder]. *MOTROL. Lublin-Rzeszow. Vol. 3*, 356–361. Retrieved from http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-5bafa802-c1cc-4705-acd3-e3af4d984d88/c/356-361.pdf [in Russian].
7. Naumenko, O.A., Boyko, I.G., Gridasov, V.I. & Dzuba, A.I. (2009). *Proektuvannya tehnologij i tehnichnyh zasobiv dlya tvarynnytstva* [*Designing technologies and technical means for animal husbandry*]. Skoryka O.P., Polupanova V.M. (Eds.). Harkiv : HNTUSG Retrieved from https://b.eruditor.link/file/2418505/ [in Ukrainian].
8. Shevchenko, I.A., Pavlichenko, V. M., Lykhodid, V. V. & Zabudchenko, V. M. (2013). Analiz konstruktsij tekhnichnykh zasobiv dlia vyrobnytstva volohykh vysokozasvoiuvanykh kormiv [Analysis of constructions of technical means for the production of wet highly digestible fodde]. *Konstrujuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 43,* 179–185. Retrieved from http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/2701 [in Ukrainian].
9. Revenko, I.I., Brahinets', M.V. & Rebenko, V.I. (2009). *Mashyny ta obladnannia dlia tvarynnytstva* [*Machinery and equipment for animal husbandry*]. Kyiv : Kondor. Retrieved from http://www.twirpx.com/file/2085032/ [in Ukrainian].
10. Shats'kyj, V.V., Mil'ko, D.A., Boltians'kyj, B.V.,. Kolomiiets', S.M. & Sementsov, V.I. (2013). Yakist' zmishuvannia komponentiv ratsionu – osnova pidvyschennia produktyvnosti tvaryn [The quality of mixing the components of the diet is the basis of increasing the productivity of animals]. *Zbirnyk Tavrijs'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Scientific bulletin of Tavriyya State Agro-Technological University, Vol. 1,* 3, 43–50. Retrieved from http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf1t3/11SVVIAP.pdf [in Ukrainian].
11. Shackij, V.V. (2012). Matematicheskoe modelirovanie dinamichnosti plotnosti i kachestva kormovoj smesi dlja zhivotnyh [Mathematical modeling of the dynamism of density and quality of fodder mixture for animals]. *Naukovij visnik Tavrijs'kogo derzhavnogo agrotehnologichnogo universitetu – Scientific bulletin of Tavriyya State Agro-Technological University, Vol. 2, 2*, 3–19. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN &IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Vkhdtusg_2014_144_32.pdf [in Russian].
12. Shabel'nyk, B.P. (2002). *Teoriia ta rozrakhunok mashyn dlia tvarynnytstva* [*Theory and calculation of machines for animal husbandry*]. Kharkiv : KhDTUSH [in Ukrainian].

Ruslan Kisilov, Assoc. Prof., PhD tech. sci**., Volodymyr Kropivny,** Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Petro Luzan,** Assoc. Prof., PhD tech. sci**., Olexsander Nesterenko,** Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Design Improvement of Beaters Portioned Feed Dispenser

In the article, based on the analysis of the operation of dosing devices, the construction of a portioned hopper doser of the BDK-F-70-20 type, which is equipped with a circular chain and combs, is proposed. The design and operating parameters of dispenser-separators equipped with radial fingers were substantiated by theoretical studies. Their influence on the quality of dosing of wet and coarse components in the process of unloading feed onto a transverse horizontal conveyor was determined.

The technological process of dosed supply of crushed stem, juicy and other viscous fodder is carried out using a one- and two-stage system. The monolith of feed raw material in the bunker is fed by a chain-slat conveyor to the separating devices, which consist of beaters. The rake fingers of the beaters comb and loosen the material of the feed monolith that comes into contact with them and is discharged onto a cross conveyor or fed directly into the processing line to the assembly conveyor and mixing of components (one-stage feed dosing system).

The capacity of the beater system must exceed the capacity of the feeder, which provides feed to the block of beaters, and be consistent with it. The given system can provide adjustable, metered delivery of viscous feed materials with acceptable deviations. To increase the accuracy of dosing of viscous stem and other feed materials and to ensure the performance of the beater device within the permissible technological tolerance, a two-stage dosing system is used, which consists of a feeder, a beater-type dispenser-separator and an equalizing combing device of the cross conveyor, which ensures the smoothing of the unevenness of the feed flow , which comes from the feeder, and automatically controls its operation.

The uniformity of feed output depends on the beater, the design and kinematic parameters of which affect the amount of feed captured by each comb and the formation of the mass discharge roll on the assembly or discharge conveyor. Until now, the optimal parameters of the pin beaters that separate leaf-stemmed fodder have not been clarified, which leads to significant unevenness in the operation of serial feeders-dispensers. All existing dispensers do not meet the established zootechnical requirements for dosing leaf-stem materials.

For the analysis of the constructive and kinematic parameters of the beaters, a developed physical model is proposed, which determines the interaction of the radial fingers of the beater with the feed monolith.

The analysis of the proposed kinetics of the feed separation process and the interaction of the radial fingers with the monolith in one cycle made it possible to distinguish four periods: elastic compression and the beginning of the destruction of the feed monolith structure, which is determined by the angle α0 of contact of the finger with the monolith and the angle αkr of the rotation of the finger before the beginning of the destruction of the monolith structure; destruction of the structure of the monolith, separation of the material from the stern monolith with a finger and the formation of a drag body at the end of the pin, which is limited by the angle α1 of the formation of the stern drag body; the movement of the drawing body in contact with the elastic environment, separation of an additional portion of feed mass, free movement of material along the finger, which occurs before the beginning of the fourth period, which is limited by the angle $\alpha_2=\pi$; the period of discharge of the beater rakes, which occurs in the quadrant $\alpha_3>\pi$ of the discharge of the beater.

Thus, the beater, which is a rotary working body, grabs and loosens a certain layer of the mass of the monolith with the help of its fingers, overcomes the elastic compression of the material, destroys its structure, separates part of the feed from the monolith and throws it onto the unloading conveyor by centrifugal force. During the movement of the finger of the comb, a dragging body is formed at its end, which moves along the elastic feed mass.

It is proved that the length of the arc of the trajectory of interaction of the beater with a variable angle of installation of the fingers is significantly greater than the length of the arc of interaction with the mass of the feed of a serial beater with a constant angle of installation of the fingers. The throughput capacity of the active beater increases, which leads to a more complete correspondence of the volume of supply by the longitudinal conveyor and the beater-separator with a variable angle of installation of the fingers, as a result of which the uniformity of the supply of the dispenser increases.

The analysis of the kinematics of the movement of the fingers of the active beater established that the vertical force of elastic compression of the feed mass during the penetration of the fingers is reduced to a minimum value and thus reduces the energy consumption for the drive of the separating beater by 30–35% in comparison with radial fingers.

animal husbandry, feed dispenser, planetary mechanism, beater, transverse conveyor, feed monolith, chain, comb, fingers

Одержано (Received) 14.11.2023 *Прорецензовано (Reviewed) 29.11.2023*
Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023