

ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗМІШУВАЧА-КОРМОРОЗДАВАЧА З ВЕРТИКАЛЬНИМ БУНКЕРОМ

Дереза О. О., к. т. н.,

Болтянський Б. В., к. т. н.,

Дереза С. В., інж.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – сільськогосподарське виробництво являється пріоритетною галуззю економіки України. Проблеми виведення економіки із кризи, в якій вона опинилась в останній час, являються дуже актуальними і для сільського господарства. Невід’ємною частиною і однією з найважливіших складових частин сільського господарства є тваринництво. В дійсний час тваринництво у зв’язку з деякими об’єктивними і суб’єктивними причинами переживає свої не найкращі часи. Поголів’я тварин і птиці в усіх регіонах України значно скоротилось, продуктивність їх дуже низька. Виробництво продукції тваринництва стало збитковим і не рентабельним. Підвищити рентабельність тваринництва можна за рахунок зниження витрат на утримання тварин і підвищення їх продуктивності шляхом покращення годування, збалансованості раціонів, належної підготовки кормів перед згодовуванням, нормованої видачі кормів тваринам. Максимальне зниження питомих витрат кормів можна забезпечити насамперед на основі механізації кормоприготування збалансованих кормових сумішей та їх нормованої видачі. Традиційна технологія приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ у нашій країні базувалась на застосуванні універсальних завантажувачів, тракторних причепів, кормоцехів КОРК-15 і КЦК-5, роздавачів КТУ-10А і РММ-Ф-6. Ця технологія енерго-, метало-, трудомістка і не забезпечує в умовах України середніх надоїв прибуткового молока і конкурентних на ринку продуктів переробки молока. Аналіз систем приготування і роздавання кормів у зарубіжних країнах із розвинутим молочним скотарством свідчить, що там застосовуються малокомпонентні кормосуміші, а для їх приготування і роздавання – переважно

універсальні комбіновані машини, які забезпечують навантаження, подрібнення, дозування, змішування, транспортування і роздавання кормів. За кордоном такі машини отримали назву «міксер». На даний момент найбільшого поширення знайшли міксери з вертикальним розміщенням змішувальних робочих органів – шнеків. У статті розглянуто умови самоочищення шнеків від кормової суміші та визначені основні чинники для правильного вибору площі вивантажувального вікна.

Ключові слова – тваринництво, кормоприготування, кормова суміш, кормороздавач-змішувач, міксер, бункер, турбошнек, частота обертання, самоочищення витків шнека.

Постановка проблеми. У сільськогосподарському виробництві України, в умовах ринкової економіки, спостерігається тенденція розвитку нових та реконструйованих тваринницьких ферм різного розміру. Разом з тим на фермах залишається невисокий рівень механізації виробничих процесів. Так, якщо на молочних фермах в цілому по країні комплексна механізація становить близько 80%, то на малих – всього лише 18% [1].

Проблемним є питання застосування технологій і технічних засобів механізації приготування і роздавання кормів. Ці процеси займають основну частку витрат праці (до 40% в загальному балансі витрат) [1, 9].

Аналіз останніх досліджень. В даний час практично на всіх тваринницьких фермах і комплексах процеси приготування і роздавання кормів здійснюють універсальні змішувачі-роздавачі з різними типами робочих органів: бітерними, лопатевими, шнековими з горизонтальним або вертикальним розташуванням валів [5-11].

Поєднання двох або кількох операцій в одному технічному засобі дозволяє знизити енергоємність і металоємність процесу приготування і роздавання повнораціонних кормових сумішей, а також скоротити кількість навантажувально-розвантажувальних і транспортних робіт [2, 5].

На сучасному етапі розвитку тваринництва однією з найбільш перспективних є технологія годівлі великої рогатої худоби, відповідно до якої всі види кормів роздають тваринам одночасно у вигляді збалансованої за поживністю кормової суміші, приготовленої в багатофункціональних агрегатах подрібнювачах-змішувачах-роздавачах кормів [2-5]. Для реалізації даної технології до 30 європейських фірм виробляють щорічно більше 10 тисяч багатофункціональних агрегатів. В Україні виробництво таких агрегатів налагодило ВАТ «Брацлав».

Створення кормороздавачів-змішувачів для ферм ВРХ у світовій практиці велось в трьох напрямках [1, 6, 9, 11]:

- роздавачі лопатевого типу змішування;
- роздавачі горизонтального типу змішування;
- роздавачі вертикального типу змішування.

Вертикальне змішування при умові дотримання усіх висунутих до нього вимог на сьогодні є найбільш досконалим. Вертикальні кормороздавачі дозволяють одержати більш гомогенну кормову масу. Вони схильні до незначного зношування різальних робочих органів, а затрати палива порівняно менші [6, 7, 9, 11].

Бункери вертикального типу мають конусну форму (при наявності одного турбошнека) і видовжену, коли турбошnekів два чи три. Різноманітність конструктивних рішень пов'язана із пошуками мінімальних затрат енергії на процес приготування кормової суміші та підвищенням стійкості до зношування і довговічності робочих органів [6, 8, 10, 11].

Але в той же час вертикальні змішувачі мають і ряд недоліків. Базові машини всесвітньо відомих виробників, зокрема, таких як «Kuhn», «Seko», «Marmix», «Italmix», «DeLaval», «Patz», «JayLor», не цілком і не завжди відповідають потребам українських умов виробництва. Як було виявлено під час експлуатації, багатофункціональні кормові агрегати з вертикальним бункером і конічним шнеком забезпечують прийом по масі, якісне подрібнення і змішування кормових компонентів та дозовану видачу їх тваринам. Однак, при впровадженні агрегатів доводиться стикатися з великими труднощами, викликаними великою потужністю, потрібної на їх привод (більше 30 кВт) та зношеністю наявних тракторів класу 1,4 (ЮМЗ, МТЗ всіх марок). Так як потужність, потрібна на привод робочих органів, практично прямо пропорційна частоті обертання шнека, то часто доводиться знижувати частоту обертання шнека з 35 до 29 хв⁻¹. Однак, при такій частоті обертання наявний шнек з перпендикулярним розміщенням витка до осі обертання не самоочищається від кормової суміші в кінці вивантаження. Самоочищення витків шнека при низькій частоті їх обертання може бути забезпечено в разі, якщо витки розташовані не перпендикулярно, а похило до осі шнека. Тому нами були проведені аналітичні дослідження для визначення залежності кута нахилу витка в залежності від частоти обертання шнека.

Результати і обговорення. В якості гіпотези було прийнято, що нахил утворюючої витка шнека щодо горизонталі дозволить інтенсифікувати процес сходу кормової маси з витків шнека.

Розрахунок проведемо на прикладі частки, розташованої на витку шнека. Граничною умовою процесу очищення шнека приймемо

момент початку руху частки, коли її швидкість $V=0$ і дотримується рівновага сил, що намагаються зрушити частку, і сил, що утримують її на поверхні витка шнека. Прикладемо до частки сили, які діють на неї і розглянемо її рівновагу в Декартовій системі координат (рис. 1).

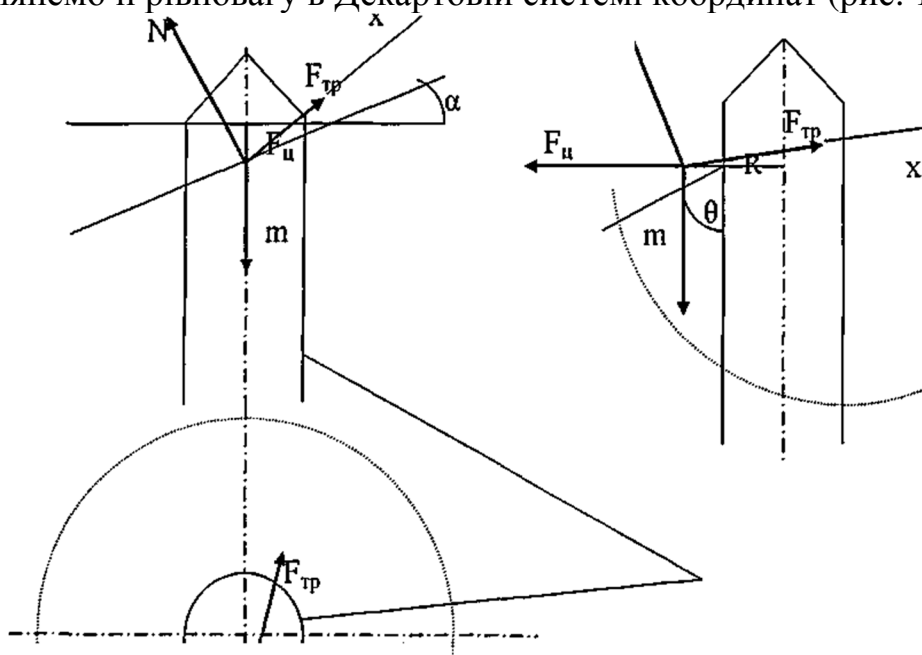


Рис. 1. До визначення умов самоочищення шнека

На частку діють наступні сили:

– сила тяжіння

$$F_{\text{тяж}} = m_{\text{ч}} g, \quad (1)$$

де $m_{\text{ч}}$ – маса частки кормової суміші, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

– відцентрова сила

$$F_{\text{ц}} = m_{\text{ч}} R \omega^2, \quad (2)$$

де R – відстань від частки до осі обертання шнека, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, с^{-1} ;

– сила реакції опори – N ;

– сила тертя

$$F_{\text{т}} = fN, \quad (3)$$

де f – коефіцієнт тертя частки кормової суміші по витку шнека.

Для знаходження реакції опори N розглянемо діючі сили в системі координат, утвореній векторами сили опори і тертя. Вісь X співпадає з силою тертя $F_{\text{т}}$, вісь Y з силою реакції опори N .

Спочатку розглянемо вектори діючих сил на вісь Y і знайдемо силу реакції опори N :

$$\begin{aligned}
 N + F_y \sin \theta \cos \alpha - mg \cos \alpha \cos \theta &= 0; \\
 N &= mg \cos \alpha \cos \theta - F_y \sin \theta \cos \alpha; \\
 N &= m \cos \alpha (g \cos \theta - \omega^2 R \sin \alpha),
 \end{aligned} \tag{4}$$

де R – відстань від частки до осі обертання шнека, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, c^{-1} ;

α – кут підйому гвинтової лінії, град.;

θ – кут нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі, град.;

g – прискорення вільного падіння, m/c^2 .

Розглянемо вектори діючих сил на вісь X :

$$F_m - mg \sin \alpha \sin \theta - F_y \cos \theta \sin \alpha = 0. \tag{5}$$

Зважаючи на те, що сила тертя

$$F_m = fN,$$

де f – коефіцієнт тертя, а відцентрова сила

$$F_y = mR\omega^2$$

та підставивши значення N з рівняння (4), отримаємо:

$$\begin{aligned}
 fN - mg \sin \alpha \sin \theta - F_y \cos \theta \sin \alpha &= 0; \\
 fm \cos \alpha (g \cos \theta - \omega^2 R \sin \alpha) &= mg \sin \alpha \sin \theta - F_y \cos \theta \sin \alpha + \\
 + m\omega^2 R \cos \theta \sin \alpha; \\
 f \cos \alpha (g \cos \theta - \omega^2 R \sin \alpha) &= \sin \alpha (g \sin \theta + \omega^2 R \cos \theta); \\
 fg \cos \theta - f\omega^2 R \sin \alpha &= g \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \alpha + \omega^2 R \cos \theta \operatorname{tg} \alpha; \\
 \omega^2 R \cos \theta \operatorname{tg} \alpha + f\omega^2 R \sin \alpha &= g(f \cos \theta - \sin \theta \operatorname{tg} \alpha); \\
 \omega^2 R &= \frac{g(f \cos \theta - \sin \theta \operatorname{tg} \alpha)}{\cos \theta \operatorname{tg} \alpha + f \sin \theta}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Розділивши чисельник і знаменник останнього виразу на $\cos \theta$ отримаємо:

$$\omega^2 R = \frac{g(f - \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha + f \operatorname{tg} \theta}. \tag{7}$$

Звідси визначаємо

$$\omega = \sqrt{\frac{g(f - \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha)}{R(\operatorname{tg} \alpha + f \operatorname{tg} \theta)}}. \tag{8}$$

Кут α не має постійного значення і зв'язаний з відстанню до центра обертання шнека наступним виразом

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{2\pi R}, \quad (9)$$

де S – крок навивки шнека, м.

Тоді, підставивши (9) у формулу (8), отримаємо

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi g f - \frac{S}{R} \operatorname{tg} \theta}{S + 2\pi f \operatorname{tg} \theta}}. \quad (10)$$

Із формули (6) маємо також можливість визначити залежність кута нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі θ від інших параметрів:

$$\begin{aligned} \omega^2 R \operatorname{tg} \alpha + \omega^2 R \operatorname{tg} \theta &= g f - \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \alpha; \\ \operatorname{tg} \theta (\omega^2 R f + g \operatorname{tg} \alpha) &= g f - \omega^2 R \operatorname{tg} \alpha; \\ \theta &= \operatorname{arctg} \left(\frac{g f - \omega^2 R \operatorname{tg} \alpha}{\omega^2 R f + g \operatorname{tg} \alpha} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

Підставивши (11) у формулу (9) остаточно отримаємо:

$$\theta = \operatorname{arctg} \left(\frac{2\pi R g f - \omega^2 S R}{2\pi f \omega^2 R^2 + g S} \right). \quad (12)$$

Отже, кут нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі буде залежати від співвідношення коефіцієнта тертя кормової суміші по витку шнека, кроку навивки шнека і кутової швидкості обертання шнека. При виконанні умов формули (12) турбошнек міксера буде самоочищуватись при мінімально допустимих оборотах.

Важливим елементом технологічного процесу роздавання кормів тваринам є дотримання заданої норми їх видачі. Одним із способів забезпечення дозованої видачі кормів можна вважати правильний вибір площі вивантажувального вікна.

Під час роздавання корм, досягнувши вивантажувального вікна, потрапляє в годівницю або кормовий стіл. У загальному вигляді площа вивантажувального вікна можна визначити за формулою:

$$S_v = \frac{Q_{\max}}{V_k \rho_k}, \quad (10)$$

де Q_{\max} – задана максимальна норма видачі кормової суміші худобі, кг/с;

V_k – швидкість руху кормової суміші в зоні вивантажувального вікна, м/с;

ρ_k – щільність кормової суміші, кг/м³.

Задана максимальна норма видачі кормової суміші худобі визначається за формулою:

$$Q_{\max} = \frac{V_p m_k}{l_p}, \quad (11)$$

де V_p – швидкість руху кормороздавача при роздаванні кормової суміші, м/с;

m_k – маса кормової суміші, що згодовується в розрахунку на одну голову, кг/гол.;

l_p – довжина фронту годування однієї тварини, м/гол.

Швидкість руху кормової суміші в зоні вивантажувального вікна визначається за формулою:

$$V_k = l_q \omega, \quad (12)$$

де l_q – відстань від частки кормової суміші в бункері до площини вивантажувального вікна, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, s^{-1} .

У формулі (12) невідомою величиною являється відстань l_q . Для її визначення розглянемо сили, які діють на частку корму в момент, коли вона виходить з площини вивантажувального вікна.

На частку діють сили:

– сила тяжіння – $F_{тяж} = m_q g$;

– сила тертя по витку шнека – $F_m = f m_q g$;

– відцентрова сила – $F_c = m_q l_q \omega^2$;

– коріолісова сила,

$$F_{\text{кор}} = 2m_q \omega \frac{dl_q}{dt_q}, \quad (13)$$

де $\frac{dl_q}{dt_q}$ – швидкість переміщення частки кормової суміші в бункері до площини вивантажувального вікна, м/с.

Із врахуванням перерахованих сил отримаємо диференціальне рівняння відносного руху частинки корму:

$$-m_q \frac{d^2 l_q}{dt_q^2} + m_q \omega^2 l_q - f m_q g - f \left(2m_q \omega \frac{dl_q}{dt_q} + f m_q g \right) = 0. \quad (14)$$

Після перетворень рівняння (14) прийме наступний вид:

$$\frac{d^2 l_q}{dt_q^2} - \omega^2 l_q + 2f\omega \frac{dl_q}{dt_q} = fg. \quad (15)$$

Отриманий вираз являється повним диференціальним рівнянням другого порядку. Повне рішення такого рівняння є сума загального лінійного і приватного рівнянь.

Загальне рішення неповного диференційного рівняння матиме

наступний вид:

$$l_{y1} = C_1 e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + C_2 e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y}, \quad (16)$$

де C_1, C_2 – похідні постійної інтегрування.

Приватне рішення рівняння (15) знаходимо при умові, що $l_{y2} = C$. Звідси $\frac{d^2 l_{y2}}{dt_y^2} = 0$ і $\frac{dl_{y2}}{dt_y} = 0$. Тоді формула (15) матиме вигляд:

$$-\omega^2 C = fg. \quad (17)$$

Звідси

$$C = -\frac{f \cdot g}{\omega^2}. \quad (18)$$

Тоді рішення рівняння (14) матиме такий вигляд:

$$l_y = l_{y1} + l_{y2} = C_1 e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + C_2 e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} - \frac{fg}{\omega^2}. \quad (19)$$

При початкових умовах, коли $t_y = 0$, $\frac{dl_y}{dt_y} = 0$, $l_y = 0$, отримуємо:

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{fg}{\omega^2} \left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \right), \\ C_2 &= fg \frac{(f + \sqrt{f^2 + 1})}{2\omega^2 \sqrt{f^2 + 1}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Підставивши отримані значення C_1 і C_2 у формулу (19) маємо:

$$l_y = \frac{fg}{\omega^2} \left[\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} \right) - 1 \right]. \quad (21)$$

Отримане значення l_y підставляємо в формулу (10):

$$S_e = \frac{V_p m_k}{l_p \rho_k \omega \frac{fg}{\omega^2} \left[\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} + \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} e^{\left(\frac{f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}}{\omega}\right)t_y} \right) - 1 \right]}. \quad (22)$$

З отриманого виразу видно, що площа вивантажувального вікна кормороздавача-змішувача буде залежати від коефіцієнта тертя та щільності кормової суміші, довжини фронту годування, швидкості руху кормороздавача при роздаванні і кутової швидкості обертання шнека.

Висновки. Отримані аналітичним шляхом розрахунки дозволяють оптимізувати конструктивні параметри кормороздавача-

змішувача з вертикальним бункером.

Література:

1. *Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І.* Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор, 2009. 731 с.
2. *Пивовар В. С., Гнатюк Г. П.* Нові технології приготування та роздавання кормосумішей на фермах великої рогатої худоби // Мясное дело. 2008. № 1. С. 66-69.
3. *Макарцев Н. Г.* Кормление сельскохозяйственных животных. Калуга: Издательство научной литературы, 2007. 608 с.
4. *Костенко Д., Заболотько О., Хмельовський В.* Кормові суміші – перспективний напрям годівлі великої рогатої худоби // Пропозиція. 2008. № 4. С. 134-136.
5. *Палкин Г. С.* Технология и техника кормления высокопродуктивных коров // Техника и оборудование для села. 2007. № 5. С. 36-38.
6. *Ревенко І., Лісовенко Т., Хмельовський В.* Сучасний ринок засобів роздавання кормів рогатій худобі // Пропозиція. 2008. № 9. С. 106-114.
7. *Геремезов Д., Шейченко В.* Применение кормораздатчиков-смесителей – залог повышения продуктивности крупного рогатого скота // Техніка АПК. 2006. № 4. С. 16-18.
8. Фермський комбайн – універсальний технічний засіб / В. Смоляр та ін. // Техніка АПК. 2007. № 10. С. 20-21.
9. Роздавачі кормів для рогатої худоби / І. І. Ревенко та ін. Київ: ВПВ УкрІНТЕІ, 2009. 200 с.
10. *Палкин Г. С.* Сучасні мобільні кормороздавачі-змішувачі для годівлі худоби кормосумішками // Пропозиція. 2004. № 4. С. 88-91.
11. *Дереза О. О., Дереза С. В.* Основні напрямки удосконалення конструкцій змішувачів-кормороздавачів // Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2012. Вип. 2, т. 2. С. 20-27.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СМЕСИТЕЛЯ-КОРМОРАЗДАТЧИКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ БУНКЕРОМ

Дереза Е. А., Болтянский Б. В., Дереза С. В.

Аннотація – сільськогосподарське виробництво є пріоритетною галуззю економіки України. Проблеми виведення економіки з кризи, в якій вона опинилася в останнє час, є дуже актуальними і для сільського господарства.

Неотъемлемой частью и одной из важнейших составных частей сельского хозяйства является животноводство. В настоящее время животноводство в связи с некоторыми объективными и субъективными причинами переживает свои не лучшие времена. поголовье животных и птицы во всех регионах Украины значительно сократилось, производительность их очень низкая. Производство продукции животноводства стало убыточным и не рентабельным. Повысить рентабельность животноводства можно за счет снижения затрат на содержание животных и повышение их производительности путем улучшения кормления, сбалансированности рационов, надлежащей подготовки кормов перед скармливанием, нормированной выдачи кормов животным. Максимальное снижение удельных затрат кормов можно обеспечить прежде всего на основе механизации кормоприготовления сбалансированных кормовых смесей и их нормированной выдачи. Традиционная технология приготовления и раздачи кормов на фермах КРС в нашей стране базировалась на применении универсальных погрузчиков, тракторных прицепов, кормоцехов КОРК-15 и КЦК-5, раздатчиков КТУ-10А и РММ-Ф-6. Эта технология энерго-, металло-, трудоемкая и не обеспечивает в условиях Украины средних надоев прибыльного молока и конкурентных на рынке сбыта продуктов переработки молока. Анализ систем приготовления и раздачи кормов в зарубежных странах с развитым молочным скотоводством свидетельствует, что там применяются мало компонентные кормосмеси, а для их приготовления и раздачи – преимущественно универсальные комбинированные машины, которые обеспечивают погрузку, измельчение, дозирование, смешивание, транспортировку и раздачу кормов. За рубежом такие машины получили название «миксер». На данный момент наибольшее распространение нашли миксеры с вертикальным размещением смесительных рабочих органов – шнеков. В статье рассмотрены условия самоочистки шнеков от кормовой смеси и определены основные факторы для правильного выбора площади выгрузного окна.

DETERMINATION OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS MIXER-FEEDER WITH VERTICAL BUNKER

O. Dereza, B. Boltianskyi, S. Dereza

Summary

Agricultural production is a priority sector of the economy of Ukraine. The problems of bringing the economy out of the crisis in which it has recently appeared are also very relevant for agriculture. Animal husbandry is an integral part and one of the most important components of agriculture. Currently, animal husbandry is experiencing its not the best times due to some objective and subjective reasons. The livestock of animals and poultry in all regions of Ukraine has significantly decreased, their performance is very low. Livestock production has become unprofitable and unprofitable. It is possible to increase the profitability of animal husbandry by reducing the cost of maintaining animals and increasing their productivity by improving feeding, balancing diets, proper preparation of feed before feeding, and normalized feed delivery to animals. The maximum reduction in the unit cost of feed can be ensured primarily on the basis of the mechanization of the feed preparation of balanced feed mixtures and their normalized delivery. The traditional technology of preparation and distribution of feed on cattle farms in our country was based on the use of universal loaders, tractor trailers, KORK-15 and KTSK-5 feed workshops, KTU-10A and RMM-F-6 distributors. This technology is energy-, metal-, labor-consuming and does not provide, in the conditions of Ukraine, average milk yield of profitable milk and competitive milk products on the market. Analysis of feed preparation and distribution systems in foreign countries with developed dairy cattle breeding indicates that they use little component feed mixtures, and for their preparation and distribution – mainly universal combined machines that provide loading, grinding, dosing, mixing, transportation and distribution of feed. Abroad, these machines are called "mixer". At the moment, the most widely found mixers with vertical placement of the mixing working bodies – screws. The article discusses the conditions for self-cleaning of augers from the feed mixture and identifies the main factors for the correct choice of the area of the discharge window.