

УДК 631.363.2

Р.В. Кісільов, здобувач, К.Д. Матвєєв, доц., канд. техн. наук, П.Г. Лузан, доц., канд. техн. наук, В.О. Матвєєва, інж.

Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз конструктивно–технологічних і кінематичних параметрів змішувачів кормів для ВРХ

Розроблена математична модель СЗМ суміші для ВРХ, проведений аналіз дослідження процесу змішування кормів з застосуванням вдосконаленої конструкції комбінованої стрічково–лопатевої мішалки, яка обладнана радіальними пальцями.

змішувач кормів, нормована збалансована кормосуміш, плоскі і гвинтові лопаті, радіальні пальці, стрічково–лопатева мішалка

Постановка проблеми. Корми значною мірою є визначальними у виробництві тваринницької продукції, оскільки в структурі собівартості вони займають 50 – 70% витрат, а недостатня забезпеченість, низька їх якість та незбалансованість годівлі тварин, порушення вимог підготовки кормів до згодовування призводить до того, що генетичний потенціал тварин реалізується лише на 40 – 80%.

Тому поряд з розвитком галузі кормовиробництва в усьому світі з'явилися нові тенденції в технології переробки кормів і приготування нормованої збалансованої кормосуміші з застосуванням збагачувальних вітамінів, ферментів, біостимуляторів, транквілізаторів та інших лікувально – профілактичних препаратів і підвищення їх поживності для будь – якого виду тварин, що забезпечує підвищення прибутковості галузі більше 30%.

У скотарстві для виробництва молока і м'яса яловичини запроваджені нові деталізовані норми годівлі, які визначаються за 22 – 24 елементами живлення, у структурі балансу кормів високу питому вагу займають силос, сінаж, сіно, солома, зелені корми, коренеплоди і концентровані корми, що вимагає впровадження прогресивних технологій, комплексної механізації і автоматизації процесів приготування збалансованої суміші та використання нової техніки.

В Україні у зоотехнічній практиці найбільш поширені змішані типи годівлі ВРХ: силосний, силосно – сінажний, силосно – коренеплідний, сінажний, силосно – коренеплодно – концентратний та інші. Характерною особливістю їх є багатокомпонентність і різноманітність. Поряд з цим вдосконалюються існуючі системи годівлі ВРХ, які направлені на розробку економічно – ефективних технологій переробки кормів і приготування вологої і сухої кормової суміші, що відповідає сучасним зоотехнічним і технологічним вимогам та біолого – фізіологічним особливостям годівлі тварин із збільшеним використанням дешевих кормів і соломи у раціоні.

Приготування необхідної якісної кормосуміші для ВРХ відомими стандартними традиційними конструкціями змішувачів не забезпечується, наявні недоліки роботи кожного типу та їх сукупність значно обмежує їх застосування, а використання малоефективне.

Аналіз досліджень та публікацій. Значний вклад у розвиток вирішення поставленої проблеми внесли відомі вчені: Г.М. Кукта, І.І. Фурса, Н.М. Григор'єв, М.В. Кулик, Е.С. Раскатова, Г.А. Лобановський, А.А. Лапшин, Ю.І. Макаров,

С.В. Мельніков, І.В. Кулаковський, А.Є. М'янд, В.І. Сироватка, Є.І. Резнік, Є.А. Вагін, А.І. Завражнов, І.А. Уланов, А.Н. Новіков, В.А. Богомягих, А.М. Панченко та інші, які у своїх працях сформулювали фундаментальні теоретичні основи процесу приготування кормів, дозування і змішування компонентів суміші, забезпечивши прогресивний розвиток у науковому і прикладному напрямках. Останні дослідження показують, що приготування збалансованої кормосуміші для годівлі ВРХ – це складний технологічний процес зі своїми істотними відмінностями. Тому в теоретичних дослідженнях особливо великого значення набуває фізико – механічна сторона процесу змішування кормів і математичне моделювання властивостей складних сипучих зв'язаних матеріалів, яке в достатній мірі розвинуто в роботах Р.Р. Зенкова, А.М. Новікова, В.А. Богомягих, Г.Л. Гячева та інших [1, 2, 3]. Існуючі запропоновані математичні моделі сипучих матеріалів відображають майже всі властивості ідеальних властивостей тіл, але вони не відповідають умовам реальних властивостей сипучих зв'язаних і вологих матеріалів. Панченко А.М. довів, що реальні суміші більш складні і мають особливі відмінності властивостей за рахунок наявності питомого зчеплення часток матеріалів і їх треба враховувати для більш точного забезпечення розрахунків і керування конструктивними і технологічними параметрами робочих органів [4]. Це обумовлено перш за все тим, що складові компоненти суміші мають різні фізико – механічні властивості і достатньо високу вологість, потребують необхідного рівнозалежного впливу робочих органів, а рух часток в потоці відбувається по пересічним траєкторіям, які представляють собою лінії ковзання.

Метою даної статті є підвищення якості кормосуміші та ефективності процесу приготування її на фермах ВРХ шляхом математичного моделювання СЗМ і визначення раціональних конструктивно – технологічних параметрів комбінованої стрічково – лопатевої мішалки змішувача кормів.

Результати досліджень. Враховуючи алгоритм функціонування вдосконаленого одновального комбінованого стрічково-лопатевого змішувача кормів порційної дії захищеного патентом [5] в дослідженнях прийнята математична модель вологої в'язкої суміші, яка характеризується деякими припущеннями: частки моноліту суміші в бункері змішувача при пошаровому дозуванні компонентів мають усереднені розміри і представляють собою абсолютно тверді шари, які розміщені в об'ємі бункера з постійним кутом укладання α ; розміри шарів малі у порівнянні з розміром поперечного перерізу бункера; при контакті шарів діють постійні сили зчеплення; шари мають елементарну масу; в процесі переміщення вони не обертаються, а в потоці рух відбувається по пересічним траєкторіям, які представляють собою лінії ковзання.

Таким чином, в процесі взаємодії з навколишнім середовищем кожна окрема частка кормосуміші знаходиться в складному динамічному стані і займає положення миттєвої рівноваги при найбільш вірогідному стані корму (рис.1). Один шар механізму дії сил складається з трьох рядів часток суміші: верхнього 1, проміжного 2 і нижнього 3. Частки при контакті мають силу зчеплення між собою dC , яка направлена по нормалі до дотичної з масою dG . На верхній ряд часток діє зусилля P , а зі сторони нижніх шарів виникає сила Q . При переміщенні частки долають сили здвигу від зчеплення dT_1, dT_2, dT_3 .

При вклинюванні частки 2 між частками 1 і 3 реакції $R_{1,2}$ і $R_{3,2}$ відхиляються від нормалі на кут внутрішнього тертя φ_2 в сторону збільшення кута укладання часток α .

Під час контакту частки 2 зі стінкою бункера реакція $R_{4,2}$ відхиляється від нормалі до внутрішньої стінки бункера на кут зовнішнього тертя φ_1 в сторону збільшення кута нахилу стінки до вертикалі δ .

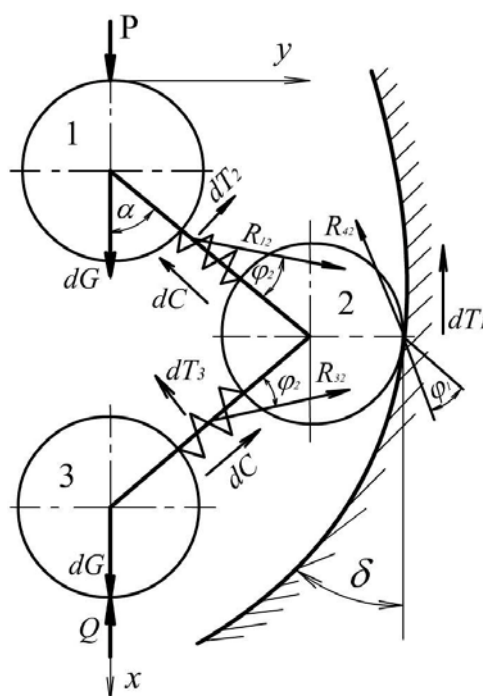


Рисунок 1 – Механізм взаємодії часток суміші в активній зоні дії мішалки в бункері змішувача

Таким чином, при змішуванні кормів периферійними гвинтовими стрічками і плоскими лопатями та пошаровому розподіленні часток необхідно постійне забезпечення стабільного стану розрихлення маси і однорідної щільності суміші. Для цього експериментальна мішалка обладнується радіальними пальцями, які приводять моноліт кормосуміші в розрихлений стан і забезпечують стабільне дифузійне змішування компонентів в мікрооб'ємах суміші.

Кутова швидкість обертання радіальних пальців визначається з умови якісного перемішування складових компонентів

$$\omega \leq \sqrt{\frac{g \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 (1 + \operatorname{tg} \varphi_1)}{R_n}}, \quad (1)$$

де φ_1 – кут зовнішнього тертя матеріалу, град;

R_n – зовнішній радіус обертання пальців, м.

Крок розміщення пальців дорівнює

$$a = 0,66(l_n + d) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_2 \cdot \frac{\cos \xi}{\cos(\xi + \varphi_2)}, \quad (2)$$

де l_n – довжина радіальних пальців, м;

d – діаметр пальців, м;

φ_2 – кут внутрішнього тертя матеріалу, град;

ξ – кут відкоса суміші, град.

Проведений аналіз запропонованої кінетики процесу розрихлення маси, дифузійного змішування в мікрооб'ємах при взаємодії радіальних пальців з монолітом кормосуміші дозволяє виділити три періоди: пружне стискання і початок руйнування структури моноліту, що визначається кутом ωt_0 стикання пальця з монолітом і кутом

ωt_{kp} обертання пальця до початку руйнування структури моноліту; руйнування структури і розпушення моноліту, відокремлення матеріалу від моноліту корма пальцями, формування на пальці тіла волочіння, що обмежуються кутом ωt_1 формування тіла волочіння корму; при русі тіла волочіння в контакт з пружним середовищем відокремлена маса корму залучається у відносний обертальний рух і змішування компонентів в мікроб'ємах, що відбувається до кінця розвантаження пальців мішалки, яке обмежується кутом $\omega t_2 = \pi$.

В залежності від кута обертання мішалки змінюється величина деформації, моноліт корму зпучується, розрихлюється і в процесі відокремлення маси корма відбувається дифузійний процес змішування кормів в мікроб'ємах моноліту при $\alpha \geq \frac{\pi}{2}$.

Сила, яка деформує корм, визначається в залежності від питомого зчеплення часток з рівняння:

$$P = C_{num} \cdot d \cdot l_n, \quad (3)$$

де C_{num} – коефіцієнт питомого зчеплення часток, кПа; d, l_n – діаметр і довжина пальця, м.

Питоме зчеплення часток залежить від розміру часток, кута укладання їх в бункері, однорідності щільності суміші, коефіцієнта розрихлення маси та кутів внутрішнього і зовнішнього тертя і розраховується з рівняння [4]:

$$C_{num} = \frac{0,0025 \cdot K_\delta \cdot \gamma (\xi_{c_1} + 2 \cos^2 \alpha \cdot \xi_{c_2})}{\sin \alpha \cdot \xi_{c_2}}, \quad (4)$$

де K_δ – коефіцієнт, який враховує розмір часток (при $d < 10$ мм - $K_\delta = 1,0$, при $d > 10$ мм - $K_\delta = 0,1 \cdot d$);

α – кут укладання часток в бункері ($\alpha = 42^\circ \dots 54^\circ$);

γ – об'ємна маса суміші, m/m^3 ;

$\xi_{c_1} = [(\cos \varphi_1 + \delta) \cdot \sin \varphi_2 - \sin(\varphi_2 + \alpha) \cdot \sin \varphi_1]$;

$\xi_{c_2} = \sin(\varphi_2 + \alpha) [\sin(\varphi_1 + \delta) \sin \varphi_2 - \cos(\varphi_2 + \alpha) \sin \varphi_2]$.

В залежності від фізико – механічних властивостей реальної кормової суміші для ВРХ питоме зчеплення складає $100 - 300$ Па/м².

Під час роботи змішувача з запропонованою мішалкою віддозовані корми суміші пошарово завантажуються збірним транспортером кормоцеху в бункер, де поступово вирівнюється їх потік, забезпечується перерозподіл груп компонентів вздовж бункера, корми змішуються гвинтовими стрічковими лопатями з радіальними пальцями і далі подаються у багатосекційну мішалку з плоскими лопатями і радіальними пальцями, що прискорює конвективне і дифузійне змішування (рис. 2).

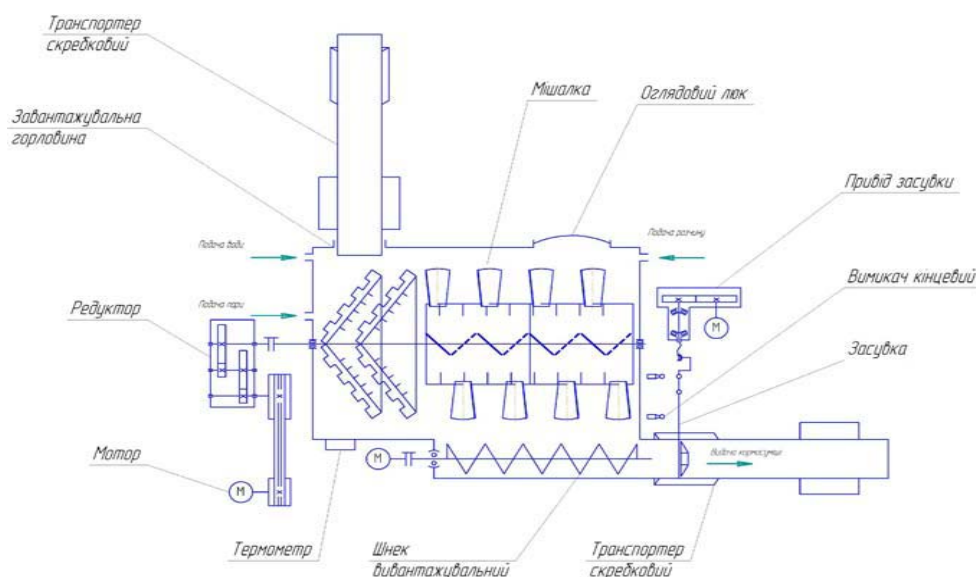


Рисунок 2 – Технологічна схема комбінованого стрічково-лопатевого змішувача

Лопаті верхнього периферійного ряду з правим кутом нахилу відокремлюють порцію кормової суміші по ширині лопаті і переміщують її в радіальному, круговому і осьовому напрямках в праву сторону, а другий ряд з лівим кутом нахилу – в ліву сторону змішувача і далі цей процес повторюється. При цьому частки кожного компонента потрапляють в зону взаємодії складних рухів, перетинів і зіткнень і періодично переміщуються з одного потоку до іншого, що прискорює їх перерозподіл у мікрооб'ємах.

Для визначення працездатності, кінематичних і конструктивно-технологічних параметрів отримано диференційне рівняння [5]:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = B(g \cdot \cos \beta + \omega^2 R_n) + B[g \cdot \sin \beta + 2\omega(A_1 u_1 e^{x_1 t} + A_2 u_1 e^{x_2 t})], \quad (5)$$

де $B = tg \varphi_1 \frac{\cos(\alpha + \varphi_1)}{\cos \varphi_1}$, $B = \frac{\cos(\alpha + \varphi_1)}{\cos \varphi_1}$ - постійні величини;

β – кут підйому частки по циліндричній поверхні бункера;

α – кут встановлення плоских лопатей до вісі мішалки;

t – час проходження часткою лопаті;

u_1 – координата точки початку руху частки.

Після інтегрування рівняння (5) для обґрунтування конструктивно – технологічних і кінематичних параметрів лопатей комбінованого стрічково-лопатевого змішувача кормів складені рівняння для визначення:

- нормального тиску внутрішньої поверхні корпусу змішувача на кормову суміш від кутової швидкості руху лопатей ω і кута обертання лопатей β :

$$\frac{N}{m} = g \cdot \cos \beta + \omega^2 \cdot R_n. \quad (6)$$

- нормального тиску поверхні лопаті на кормову суміш від кутової швидкості руху лопатей ω і кута обертання лопатей β

$$\frac{N_1}{m} = \sin \alpha [(g \cdot \cos \beta + \omega^2 R_n) tg \varphi_1 + g \cdot \sin \beta + 2\omega(A_1 u_1 e^{x_1 t} + A_2 u_1 e^{x_2 t})]. \quad (7)$$

- осьової швидкості руху кормової суміші від кутової швидкості руху лопаті ω і кута обертання β

$$\vartheta_z = B(g \cdot \cos \beta + \omega R_n) \cos \alpha \cdot t_1 + B[g \cdot \sin \beta + 2\omega(A_1 u_1 e^{x_1 t} + A_2 u_1 e^{x_2 t})] \cdot \cos \alpha \cdot t_1. \quad (8)$$

де $B = tg\varphi_1 \frac{\cos(\alpha + \varphi_1)}{\cos\varphi_1}$, $B = \frac{\cos(\alpha + \varphi_1)}{\cos\varphi_1}$ - постійні величини рівняння.

При чисельному розрахунку кінематичних параметрів руху кормової суміші в змішувачі для забезпечення стабільного технологічного процесу побудовані графіки залежності нормального тиску поверхні корпусу змішувача на кормову суміш $\frac{N}{m}$ (рис. 3), нормального тиску поверхні лопаті на кормову суміш $\frac{N_1}{m}$ (рис. 4) та осьової швидкості переміщення кормової суміші V_z (рис. 5). Для початкового стану кормової суміші приймали найбільш низьке її положення $\beta = 180^\circ$.

Як видно з рисунків 3, 4, 5 нормальний тиск і рух кормової суміші має періодичний (пульсуючий) режим роботи, період якого співпадає з періодом взаємодії активних сил. При цьому, як сила реакції зі сторони лопаті, так і швидкість осьового руху переміщення часток мають відповідне фазове зміщення, а сила реакції зі сторони поверхні корпусу змішувача має фазу близьку до фази активних сил: в нижньому положенні лопаті сила реакції мінімальна, а в верхньому – максимальна, що позитивно впливає на змішування кормів.

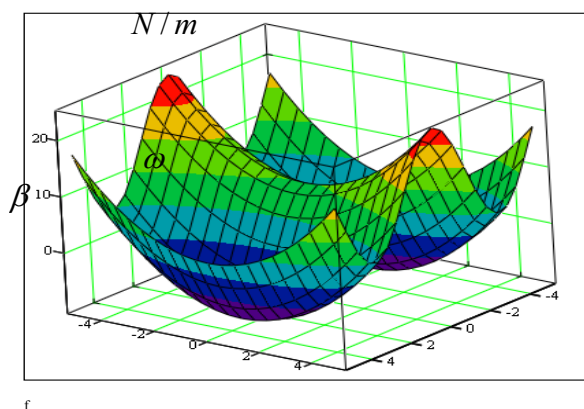
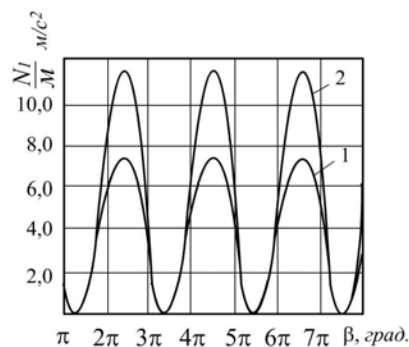


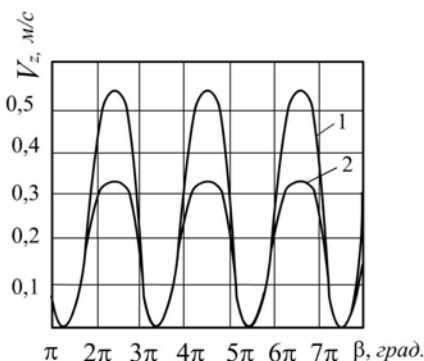
Рисунок 3 – Залежність нормального тиску внутрішньої поверхні корпусу на кормову суміш N/m від кутової швидкості ω і кута обертання лопаті β : $f = 0,51$, $R_d = 0,58$ м, $\alpha = 45^\circ$



1 - $\omega = 1,9$ с; $f = 0,51$; $R_d = 0,58$ м; $\alpha = 45^\circ$

2 - $\omega = 5,0$ с; $f = 0,51$; $R_d = 0,58$ м; $\alpha = 45^\circ$

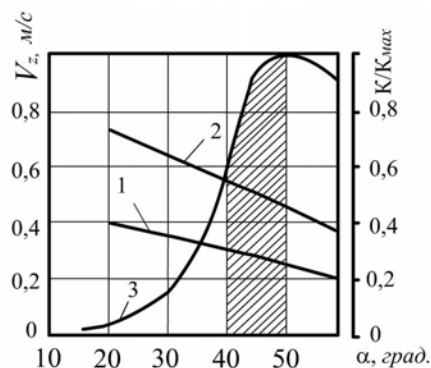
Рисунок 4 – Залежність нормального тиску поверхні лопаті на кормову суміш від кута обертання



1 - $\omega = 1,9$ с; $f = 0,51$; $R_d = 0,58$ м; $\alpha = 45^\circ$

2 - $\omega = 5,0$ с; $f = 0,51$; $R_d = 0,58$ м; $\alpha = 45^\circ$

Рисунок 5 - Залежність осьової швидкості руху кормової суміші від кут обертання β лопаті



1 - $\beta = 2\pi$; 2 - $\beta = 2,5\pi$; 3 - K/K_{max} ; $f = 0,51$;

$\omega = 1,9$ с; $R_d = 0,58$ м; $K_{max} = 13,1$ нс

Рисунок 6 – Залежність осьової швидкості руху кормової суміші від кута нахилу лопаті

Амплітуда коливання осьової швидкості тихохідних змішувачів має значно більшу величину ніж швидкохідні і забезпечує пульсуючий потік (рис.5). Це свідчить про те, що із збільшенням частоти обертання мішалки збільшується маса в'язкої суміші, яка залучається до обертального руху, особливо це стосується сумішей зі збільшеним кутом тертя φ і зменшеним кутом нахилу лопатей.

Аналіз залежності величини осьової швидкості руху кормової суміші від кута нахилу лопатей до осі вала мішалки показує, що вона змінюється в залежності від кута обертання лопаті β і кута нахилу лопатей α (рис. 5, 6).

При зміні кута нахилу плоских лопатей співвідношення визначених імпульсів K/K_{\max} зовнішніх сил на кормову суміш досягає максимального значення при $\alpha = 40...50^\circ$ ($K/K_{\max} = 0,7...1,0$).

Висновки. Розроблена математична модель СЗМ кормової суміші для ВРХ при врахуванні алгоритму функціонування вдосконаленого одновального комбінованого стрічково – лопатевого змішувача кормів порційної дії з застосування радіальних пальців забезпечує стабільність технологічного процесу змішування в'язких кормових сумішей.

Приведена кінетика процесу розрихлення моноліту суміші і дифузійного змішування в мікрооб'ємах при взаємодії радіальних пальців з компонентами суміші.

Проведений аналіз конструктивно – технологічних і кінематичних параметрів показав, що при раціональних її параметрах забезпечується необхідна працездатність запропонованого змішувача.

Список літератури

1. Богомягих В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В.А.Богомягих.– Ростов: РГУ, 1973.- 150 с.
2. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков.– М.: Машиностроение, 1964.– 251 с.
3. Раскатова Е.С. Факторы, определяющие смешивание материалов / Е.С. Раскатова // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1977, №8.– С. 18–20.
4. Панченко А.Н. Повышение работоспособности бункеров послойного распределения сыпучих материалов сельскохозяйственных и мелиоративных машин / Панченко А.Н. // Учебное пособие.– Днепропетровск: РВЛ ДАУ, 1995.– 52 с.
5. Матвеев К.Д. Обґрунтування параметрів лопатей комбінованого стрічково – лопатевого змішувача кормів / К.Д. Матвеев, П.Г. Лузан, Р.В. Кісільов, М.В. Личук, В.О. Матвеева // Зб. наук. ст. – Вип. 21.– том 1.– Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2011.– С. 279 – 288.

Р. Кісільов, К. Матвеев, П. Лузан, В. Матвеева

Анализ конструктивно-технологических и кинематических параметров смесителей кормов для КРС

Разработана математическая модель ССМ смесей для КРС, проведенный анализ исследований процесса смешивания кормов с применением усовершенствованной конструкции комбинированного ленточно – лопатного смесителя, который оборудованный радиальными пальцами.

R.Kisilyov, K.Matveev, P. Luzan, V.Matveeva

Analysis structurally-technological regime parameters of mixers of forage for a cattle

The mathematical model of mixtures is worked out for a cattle, conducted analysis of researches process of mixing forage with the use of the improved construction combined band – blade mixer that equipped by radial fingers.

Одержано 27.09.11