

УДК 631.363.023

Р.В. Кісільов, інж.

Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичні дослідження процесу змішування кормів стрічково-лопатеvim змішувачем

В статті проведений аналіз роботи і теоретичних досліджень традиційних конструкцій змішувачів кормів, визначені напрямки вдосконалення процесу змішування та запропонована нова конструкція стрічково-лопатевого змішувача, принцип роботи якого пояснюється технологічними і розрахунковими схемами. Теоретично обґрунтовані кінематичні параметри і визначені енергетичні витрати.

змішувач кормів, корми, тваринництво, кормоцех, лопатева мішалка, кормосуміш, зоотехнічні вимоги

Актуальність проблеми. Останнім часом ефективність виробництва продукції тваринництва в Україні знижується. Це обумовлено в першу чергу незадовільним станом кормової бази, недостатньою забезпеченістю тваринництва кормами, низькою їх якістю та порушенням вимог технології підготовки кормів до згодовування і призводить до того, що генетичний потенціал тварин реалізується лише на 40...60 %, [1].

Сучасне ведення тваринництва, підвищені вимоги до якості кормів та головні напрямки завдань національної програми відтворення тваринництва в Україні, передбачають застосування інтенсивних повносистемних технологій виробництва продукції скотарства шляхом впровадження комплексної механізації і автоматизації виробничих процесів на фермах, надійного і збалансованого годування тварин кормами з поєднанням і використанням економічно ефективних механізованих технологій переробки кормів і приготування повнораціонних та збалансованих кормосумішей з різних кормів і поживних компонентів в кормоцехах [1, 2, 3].

Вітчизняний і зарубіжний досвід використання кормоцехів для приготування кормових сумішей свідчить про підвищення продуктивності тварин на 20...25% і зменшує витрати кормів на 15...20% [1, 3].

Постановка проблеми і аналіз досліджень та публікацій. В системі використання механізованих кормоцехів підвищення ефективності і якості приготування повнораціонних сумішей та вдосконалення традиційних технологій і процесів змішування різноманітних кормів, поживних компонентів та мікро- і макродобавок в змішувачах має науковий і практичний інтерес.

Для вирішення цієї проблеми проводяться фундаментальні та прикладні дослідження в різних галузях народного господарства. Змішування кормів виконується великою кількістю змішувачів, які відрізняються як різноманітним конструктивним виконанням так і різною взаємодією робочих органів з сировиною (рис. 1). Вивчення й узагальнюючий аналіз застосування механізованих стаціонарних і пересувних кормоцехів для змішування малосипучих і несипучих кормів показав, що найбільш широко використовується шнекові, стрічкові, гвинтові, лопатеві і комбіновані мішалки з різною конструкцією та організацією технологічного процесу і кінематикою роботи, але вони не забезпечують встановлені технологічні і зоотехнічні вимоги якості приготування кормосуміші та надійності технологічного процесу, мають велику енергомісткість і металоємність та низьку продуктивність. Крім того, до цього часу,

необґрунтовані раціональні конструктивні і кінематичні параметри їх робочих органів, режими та показники якості роботи традиційних змішувачів кормів [4].

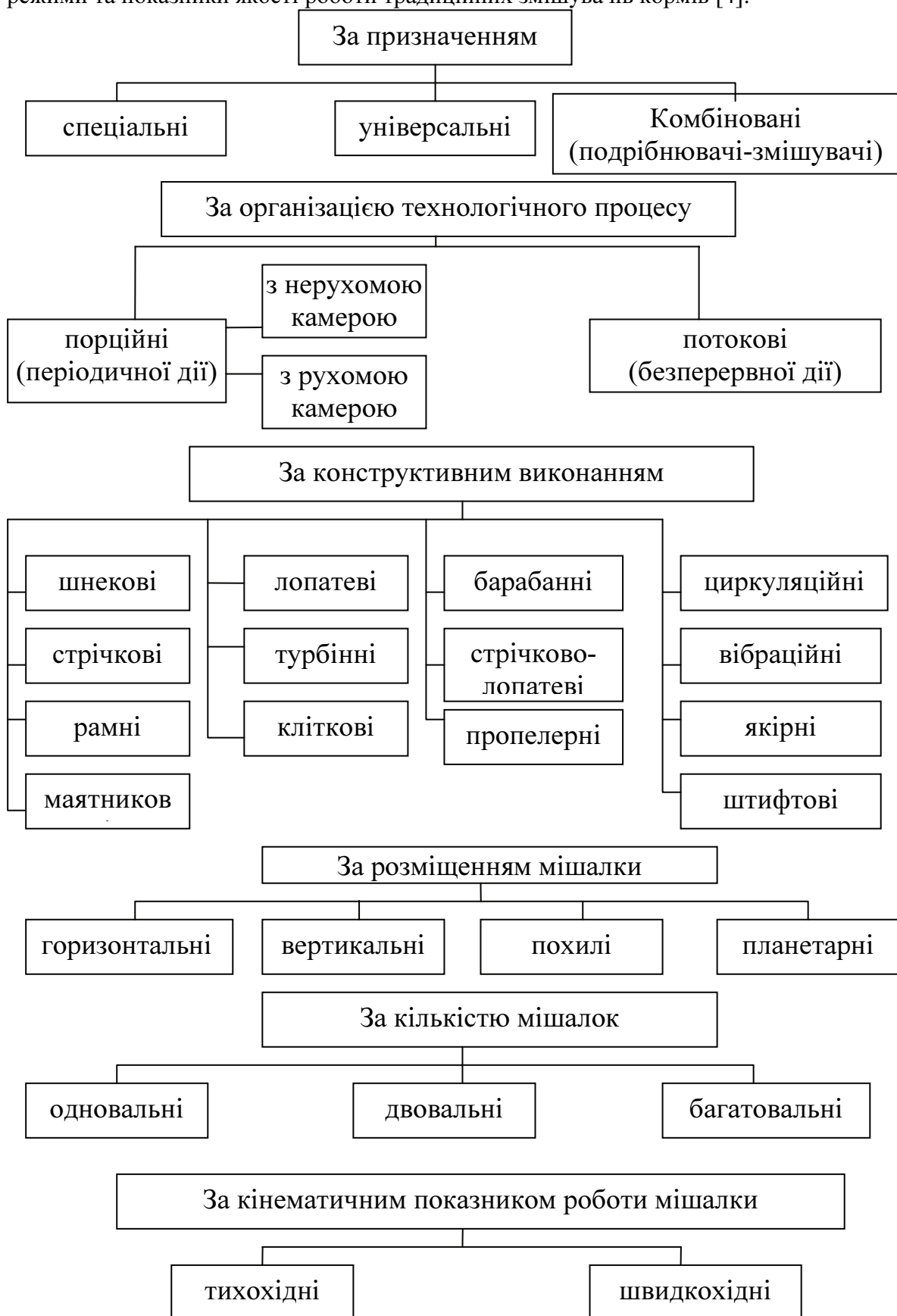


Рисунок 1 – Класифікація змішувачів кормів

Провідну роль у дослідженні процесу змішування кормів та технології приготування кормових сумішей внесли відомі вітчизняні і зарубіжні вчені Кукта Г.М., Макаров Ю.І., Мельников С.В., Сироватка В.І., Лапшин А.А., Вагін Є.А., Уланов І.А. і багато інших дослідників. Вони сформулювали фундаментальні теоретичні основи змішування матеріалів та технологій приготування кормів. Однак, незважаючи на значну кількість наукових досліджень, проблема розробки нових і удосконалення традиційних технологій і конструкцій робочих органів змішувачів кормів, покращення якісних показників та їх обґрунтування є актуальною задачею.

Метою даної статті є підвищення якості та удосконалення технологічного процесу змішування кормів за рахунок застосування нової конструкції змішувача та обґрунтування його раціональних параметрів.

Виклад основного матеріалу. Стан повного механічного змішування компонентів суміші досягається шляхом неупорядкованого розподілу часток, під дією зовнішніх сил робочих органів мішалки, у відповідності до зоотехнічних вимог вмісту компонентів у всій порції суміші за рецептом встановленого добового раціону кормів для відповідної технологічної групи тварин (рис. 2).

Таким чином у змішувачах з більш досконалою конструкцією масообмін потоків компонентів суміші відбувається шляхом вирівнювання концентрації окремих компонентів по об'єму суміші за рахунок збільшення зіткнень, застосування більш складних траєкторій їх руху і перетинів ніж у традиційних змішувачах (рис. 3).

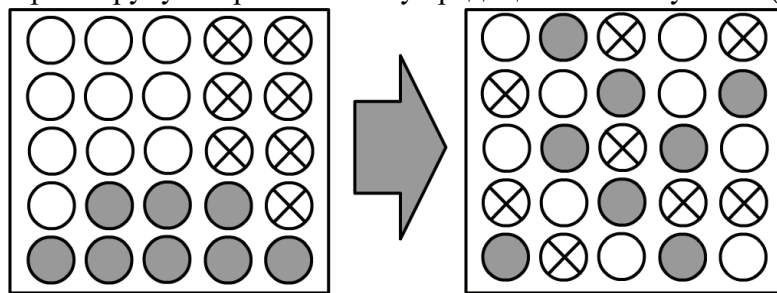
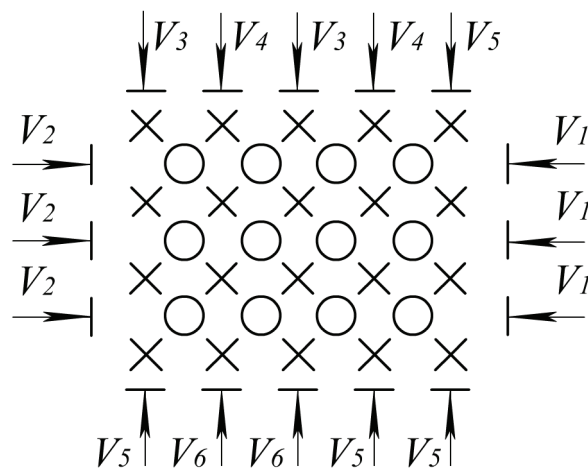


Рисунок 2 – Стан повного змішування трьохкомпонентної суміші шляхом неупорядкованого розподілу дискретних часток в залежності від їх співвідношення



$V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ – напрямок і швидкість руху компонентів суміші (осьової, кругової і відцентрової) під дією плоских і гвинтових лопатей та пальців

Рисунок 3 – Графічна схема запропонованого способу сумішоутворення

Робочий цикл традиційних змішувачів періодичної дії складається з таких послідовних операцій: завантаження відповідних доз компонентів (силос, солома, сінаж, коренеплоди, концкорми, тощо), перемішування їх і вивантаження готової кормосуміші вивантажувальним шнеком, після цього цикл повторюється. У змішувачах

періодичної дії однорідність суміші регулюється тривалістю процесу змішування. Аналіз якісних показників роботи існуючих змішувачів свідчить про недостатню стабільність і складність процесу: компоненти подаються в бункер нерівномірно, а однорідність змішування не відповідає встановленим вимогам. Для забезпечення технологічного процесу змішування необхідний тривалий час (більше 10...15 хв.) на доведення кормосуміші до однорідної маси, що знижує продуктивність і підвищує витрати енергії.

Для усунення існуючих недоліків традиційних змішувачів пропонується вдосконалений змішувач з комбінованою схемою руху сировини багатосекційними гвинтовими, стрічковими і плоскими лопатями (рис. 4).

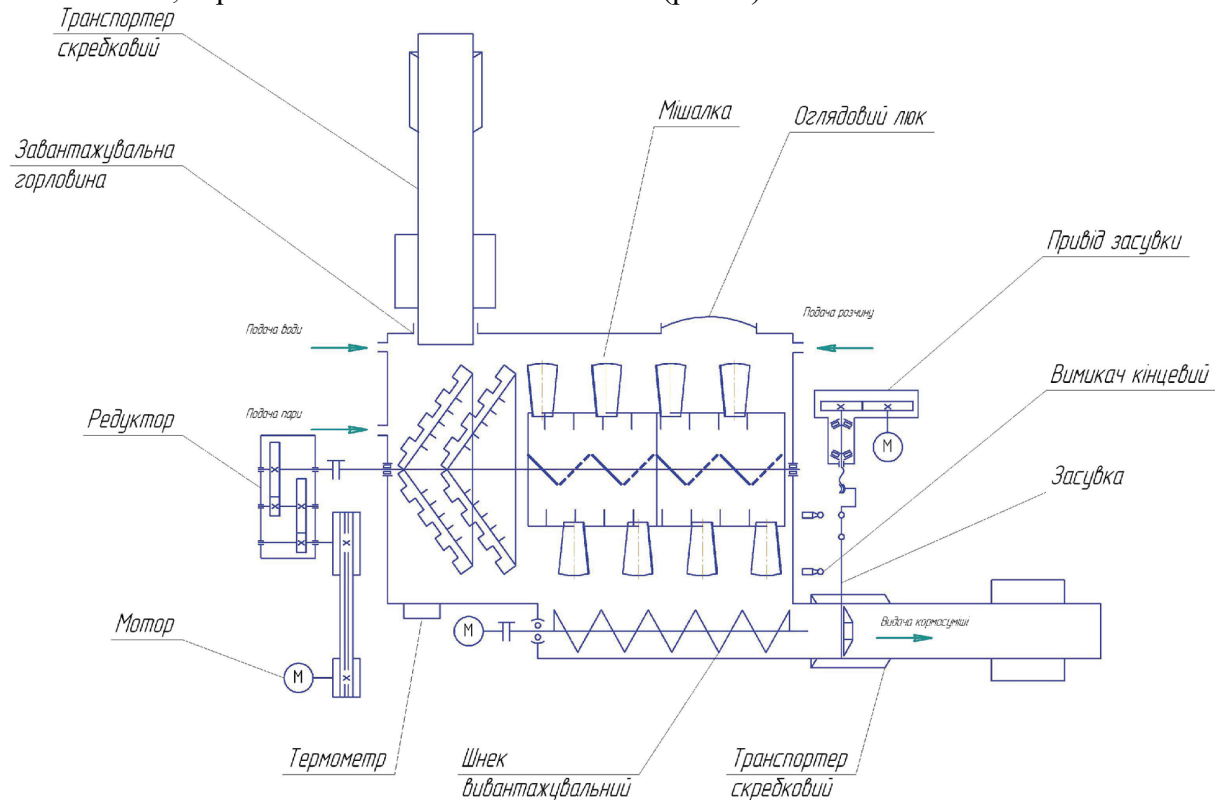
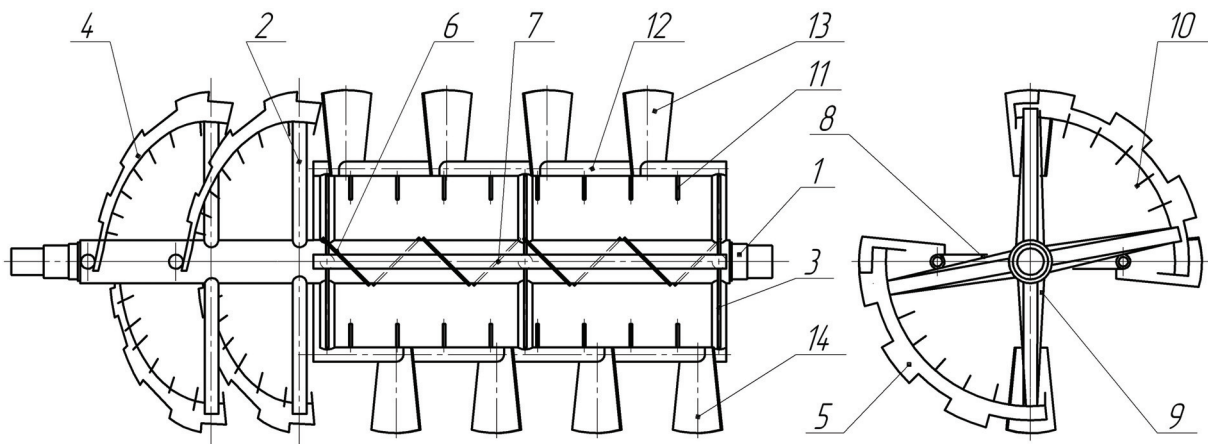


Рисунок 4 - Технологічна схема стрічково – лопатевого змішувача кормів

Для розпушування маси, інтенсифікації процесу і підвищення динамічності змішування компонентів в мікрооб'ємах гвинтові і плоскі лопаті дообладнано радіальними лопатями.

Процес змішування кормів вдосконалим змішувачем виконується таким чином. Відповідні дози компонентів кормосуміші пошарово завантажуються збірним транспортером в бункер, поступово вирівнюється їх потік з одночасним змішуванням сировини стрічковими довгими гвинтовими лопатями з пальцями і далі подаються у багатосекційну мішалку з плоскими лопатями (рис. 5). Лопаті верхнього ряду з правим кутом нахилу відокремлюють порцію суміші по ширині лопаті і переміщують в радіальному, круговому і осьовому напрямку в правий кінець змішувача, а другий ряд, з лівим кутом нахилу, в лівий кінець мішалки, створюючи разом з радіальними пальцями велику мікрооб'ємну множину суміші з дискретним вмістом часток змішуваних компонентів. При цьому частки кожного компоненту суміші потрапляють в область взаємодії складних рухів, перетинів і зіткнень та періодично переміщуються з одного потоку до іншого, що забезпечує інтенсивний масообмін і прискорює процес змішування кормів.



1 – вал; 2 – стійка гвинтової мішалки; 3 – косинка лопатевої мішалки; 4, 5 – гвинтова стрічка; 6, 7 – ліва лопать; 8 – стійка лопатевої мішалки; 9 – косинка гвинтової мішалки; 10, 11 – радіальні пальці; 12 – горизонтальна труба; 13, 14 – права лопать

Рисунок – 5 Технологічна схема конструкції вдосконаленої комбінованої мішалки

Переміщення кормосуміші по поверхні лопатей з різним кутом нахилу в зоні інерційного (вільного) руху здійснюється в режимі підвищеної динамічності процесу та збільшеної кількості зіткнень і перетинів в радіальному і осьовому напрямку, що визначається формою і розмірами атакуючої лопаті, кроком їх розташування, кутом нахилу та кінематичними режимами роботи лопатей (рис. 6).

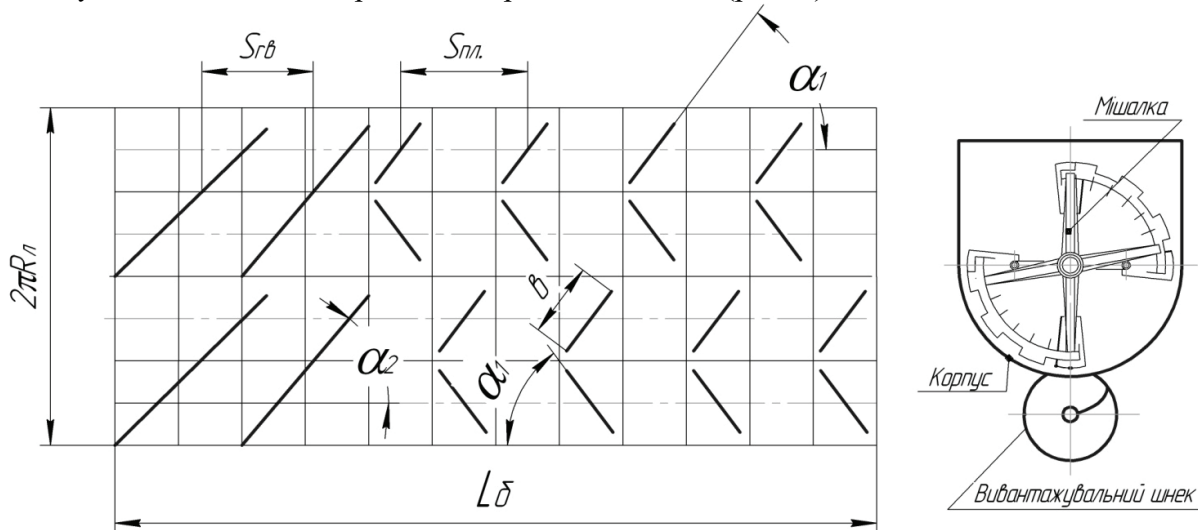


Рисунок – 6 Схема розташування гвинтових і плоских лопатей з різним напрямком кута нахилу їх до осі, що встановлені по периферії

Визначення кінематики руху частки суміші проводили з урахуванням сил тертя та кута нахилу лопатей [5, 6]. При наявності тертя в залежності від кута нахилу лопаті до осі вала α переміщення матеріальної точки компонента суміші в осьовому напрямку відбудеться за час проходження лопаті на величину (рис.7).

$$h_o = S \cdot \frac{\cos \alpha \cos(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (1)$$

відстає в осьовому напрямку на величину:

$$Z_o = S \cdot \frac{\sin \alpha \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (2)$$

відстає в круговому напрямку:

$$\lambda = S \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (3)$$

де α - кут нахилу лопаті;

φ – кут тертя частки по поверхні лопаті;

S - проекція ширини лопаті.

Осьова швидкість переміщення частки суміші визначається з виразу:

$$\vartheta_0 = S \cdot (1 - \mu) = S \cdot \left[1 - \frac{\sin \alpha \cdot (\sin \alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \right], \quad (4)$$

де μ - коефіцієнт осьового відставання часток в залежності від кутів α і φ .

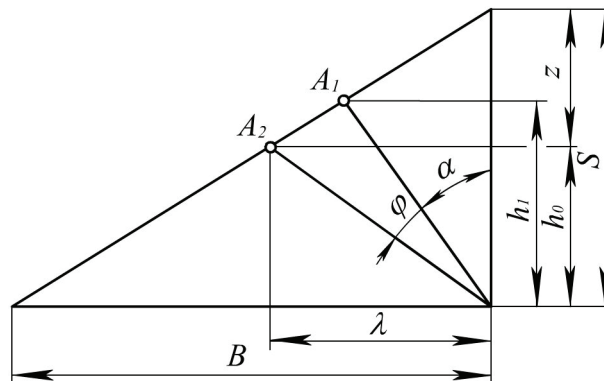


Рисунок 7 – Переміщення матеріальної частки в осьовому напрямку за час проходження нею лопаті

Аналіз рівнянь (1), (2) і (4) показує, що переміщення часток суміші в осьовому напрямку і осьова швидкість їх руху залежить від кута нахилу лопатей до осі вала мішалки α , кута тертя суміші по поверхні лопаті і коефіцієнта осьового відставання матеріальних часток суміші μ (рис.8, 9). Зі збільшенням кута α при постійному коефіцієнті тертя f зменшується осьове відставання переміщення часток суміші, а при постійному куті нахилу лопаті α із збільшенням коефіцієнта тертя f , також підвищується осьове відставання і зменшується осьова швидкість їх руху.

Для плоских лопатей з кутом нахилу $\alpha = 40 \dots 50^\circ$ з'являються мертві зони при коефіцієнті тертя $f \geq 0,6 \dots 0,7$, що не відповідає технологічним вимогам щодо змішування кормів, а дискретні частки мають тільки обертальний рух.

В процесі руху мішалки при відокремленні суміші лопатями частки отримують імпульс від радіального і нормального зусилля $P'_p = P_H \cdot \cos \alpha$ і $P'_o = P_H \cdot \sin \alpha$ (α - кут нахилу лопаті до осі обертання вала).

Крім того, під дією нормальної складової сили R в площині руху часток по лопаті виникає сила тертя $F = f \cdot P_H$, яка направлена проти відносного руху часток по лопаті. Сила тертя F розкладається на кругову і осьову складові:

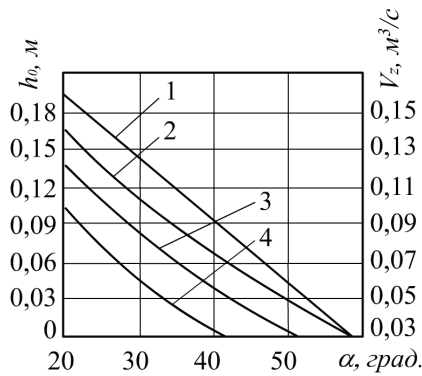
$$F'_p = F \cdot \sin \alpha = f \cdot P_H \cdot \sin \alpha; \quad (5)$$

$$F'_o = F \cdot \cos \alpha = f \cdot P_H \cdot \cos \alpha. \quad (6)$$

Враховуючи отримані вектори за напрямками руху, отримуємо кругове і осьове зусилля:

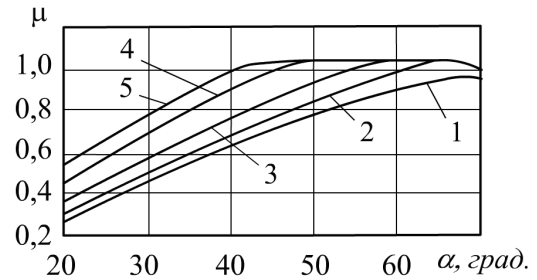
$$P_p = P'_p + F'_p = P_H \cdot (\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha); \quad (7)$$

$$P_o = P'_o + F'_o = P_H \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha). \quad (8)$$



1 – швидкість руху V_z при $f=0,4$; 2, 3, 4 – осьове переміщення h_0 при $f=0,4$; 0,7;1,2 відповідно

Рисунок 8 – Залежність величини осьового переміщення h_0 і осьової швидкості руху V_z часток суміші від кута нахилу лопатей α



1 – $f=0,4$; 2 – $f=0,51$; 3 – $f=0,7$; $f=1,0$; 4 – $f=1,2$; 5 – $f=1,73$

Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта осьового відставання часток суміші від кута α і коефіцієнта тертя f

У випадку неповного заповнення бункера змішувача нормальна складова P_H визначається за формулою:

$$P_H = 9,81\gamma \cdot h_{сер.} \cdot F_l \cdot tg^2 \cdot (45 + \frac{\varphi}{2}), \quad (9)$$

де $h_{сер.}$ - середня глибина найбільшого заглиблення лопаті, м;

F_l - проекція площі лопаті на напрямок обертання мішалки, m^2 ;

φ - кут внутрішнього тертя, град.;

γ - об'ємна маса сумішки, kg/m^3 .

Необхідна потужність приводу лопатей мішалки визначається за виразом, кВт:

$$N_l = \frac{1}{1000} \cdot (P_p v_p + P_o v_o) \cdot Z_l \quad (10)$$

де Z_l - кількість лопатей, які одночасно занурені в кормосуміш.

Таким чином, загальна потужність приводу мішалки змішувача визначається:

$$N_M = N_{zl} + N_{nl} + N_{cst} + N_{ncst} + N_n + N_{гор.тр.} + N_f + N_{\eta_M}, \quad (11)$$

де N_{zl} , N_{nl} , N_{cst} , N_{ncst} , N_n , $N_{гор.тр.}$, N_f , N_{η_M} - витрати потужності на привод відповідно гвинтових і плоских лопатей, стійок гвинтових і плоских лопатей, радіальних пальців, горизонтальних труб, тертя мішалки від корпусу та підшипників валу, кВт.

Потужність на привод гвинтових і плоских лопатей:

$$N_{zl} = \frac{P_p \vartheta_p + P_o \vartheta_o}{10^3} \cdot Z_l \quad (12)$$

де P_p, P_o - кругове і осьове зусилля, Н;

ϑ_p, ϑ_o - кругова і осьова швидкість руху сумішки, м/с;

Z_n - кількість одночасно занурених лопатей.

Потужність на привод стійок гвинтових і плоских лопатей

$$N_{cm} = \frac{M_{cm} \cdot Z_{cm} \cdot \omega}{10^3}, \quad (13)$$

де M_{cm} - крутний момент від сили опору стійки, $H \cdot m$;

$$M_{cm} = g \cdot l \cdot \frac{R}{2} \cdot h_{сер.} \cdot a \cdot \gamma \cdot tg\varphi, H \cdot m, \quad (14)$$

де l - довжина стійки, м;

$\frac{R}{2}$ - довжина стійки до сили опору, м;

$h_{сер.}$ - середня глибина занурення стійки в моноліт корму, м;

a - ширина стійки, м;

φ - кут відкоса корму, град;

Потужність на привод радіальних пальців, кВт:

$$N_n = \frac{M_n \cdot Z_n \cdot \omega}{10^3}, \quad (15)$$

де M_n - крутний момент від сили опору пальця, $H \cdot m$;

$$M_n = P_n \cdot l_n \cdot d_n \cdot R_n, \quad (16)$$

де P_n - питомий опір сумішки, H / m^2 ;

l_n - довжина пальця, м;

d_n - діаметр пальця, м;

R_n - середній радіус обертання пальців, м.

Потужність на привод горизонтальних труб, кВт:

$$N_{гор.тр.} = \frac{M_{mp} \cdot Z_{mp} \cdot \omega}{10^3}, \quad (17)$$

де M_{mp} - крутний момент від сили опору горизонтальної труби, $H \cdot m$;

$$M_{mp} = P_n \cdot L \cdot d_{mp} \cdot R_{mp}. \quad (18)$$

Висновки і перспективи подальшого розвитку у даному напрямі. Для підвищення ефективності змішування кормів і усунення недоліків традиційних змішувачів запропонована більш досконала конструкція комбінованої стрічково-лопатевої мішалки з гвинтовими стрічками і багатосекційними плоскими лопатями,

принцип роботи робочих органів якої пояснюється технологічною схемою змішувача і мішалки.

Проведені теоретичні дослідження кінематичних параметрів лопатей, які підтверджують переваги вдосконаленої мішалки.

Теоретично обґрунтовано і визначено енергетичні витрати комбінованого стрічково-лопатевого змішувача кормів.

Список літератури

1. Кравчук В. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів / В. Кравчук, М. Луценко, М. Мечта.– К.: Фенікс, 2008.– 104 с.
2. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта.– М.: Агропромиздат, 1987.– 303с.
3. Зельнер В.Р. Приготовление и использование полнорационных кормов в промышленном животноводстве / В.Р. Зельнер, Е.Г. Коноплев.– М.: ВНИИТЭИСХ, 1972.– 87 с.
4. Ревенко І.І. Машины та обладнання для тваринництва / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко. – К.: Кондор, 2009.– 730с.
5. Матвеев К.Д. Обґрунтування геометричних і кінематичних параметрів гвинтових лопатевих змішувачів кормів / К.Д. Матвеев, С.І. Шмат, П.Г. Лузан // Збірник наукових праць КДТУ.– Вип. 30.- Кіровоград: КДТУ, 2000.– С.51–57.
6. Матвеев К.Д. Обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи лопатевої мішалки / К.Д. Матвеев, П.Г. Лузан, Р.В. Кісільов, В.О. Матвеева, О.В. Гончар // Збірник наукових праць КНТУ.– Вип. 40, Част.1.– Кіровоград: КНТУ, 2010.– С. 173–178.

Р. Кисилев

Теоретические исследования процесса смешивания кормов ленточно-лопастным смесителем

В статье проведен анализ работы и теоретических исследований традиционных конструкций смесителей кормов, определены направления усовершенствования процесса смешивания и предложена новая конструкция ленточно-лопастного смесителя, принцип работы которого объясняется технологическими и расчетными схемами. Теоретически обоснованы кинематические параметры и определены энергетические затраты.

R. Kisilyov

Theoretical researches of process mixing forages a band-blade mixer

The analysis work and theoretical researches of traditional constructions of mixers forages is conducted in the article, directions improvement of process mixing are certain and the new construction band-blade mixer is offered Principle of work which is explained technological and calculation charts. In theory kinematics parameters are grounded and power expenses are certain.

Одержано 04.03.11