

## Теоретичні дослідження процесу змішування кормів стрічково-лопатевим 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].

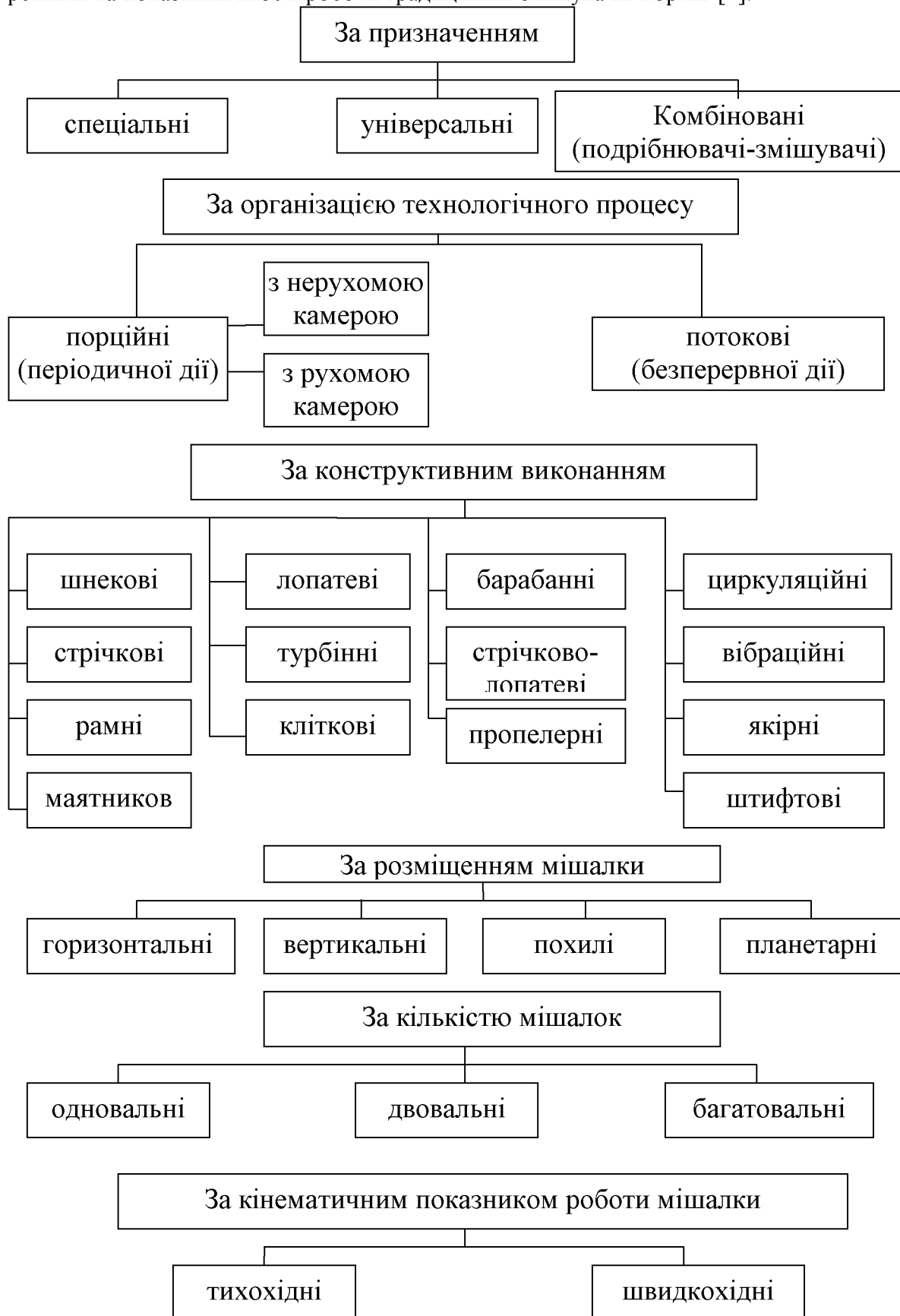


Рисунок 1 – Класифікація змішувачів кормів

Провідну роль у дослідженні процесу змішування кормів та технології приготування кормових сумішей внесли відомі вітчизняні і зарубіжні вчені Кукта Г.М., Макаров Ю.І., Мельніков 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).

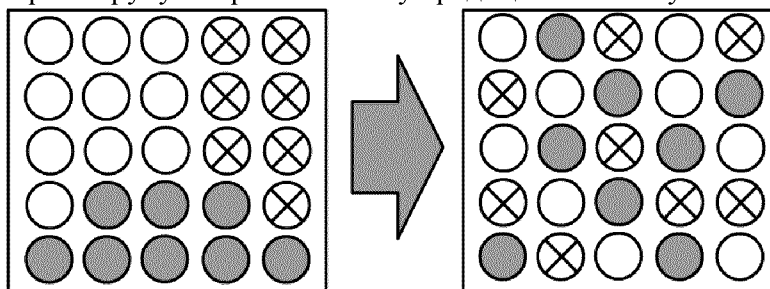
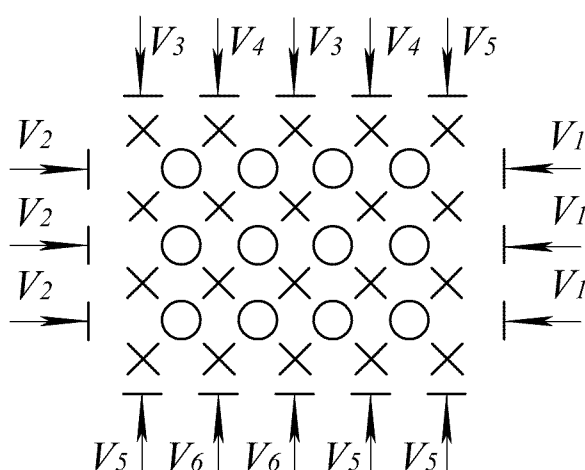


Рисунок 2 – Стан повного змішування трьохкомпонентної суміші шляхом неупорядкованого розподілу дискретних часток в залежності від їх співвідношення



$V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$  – 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).

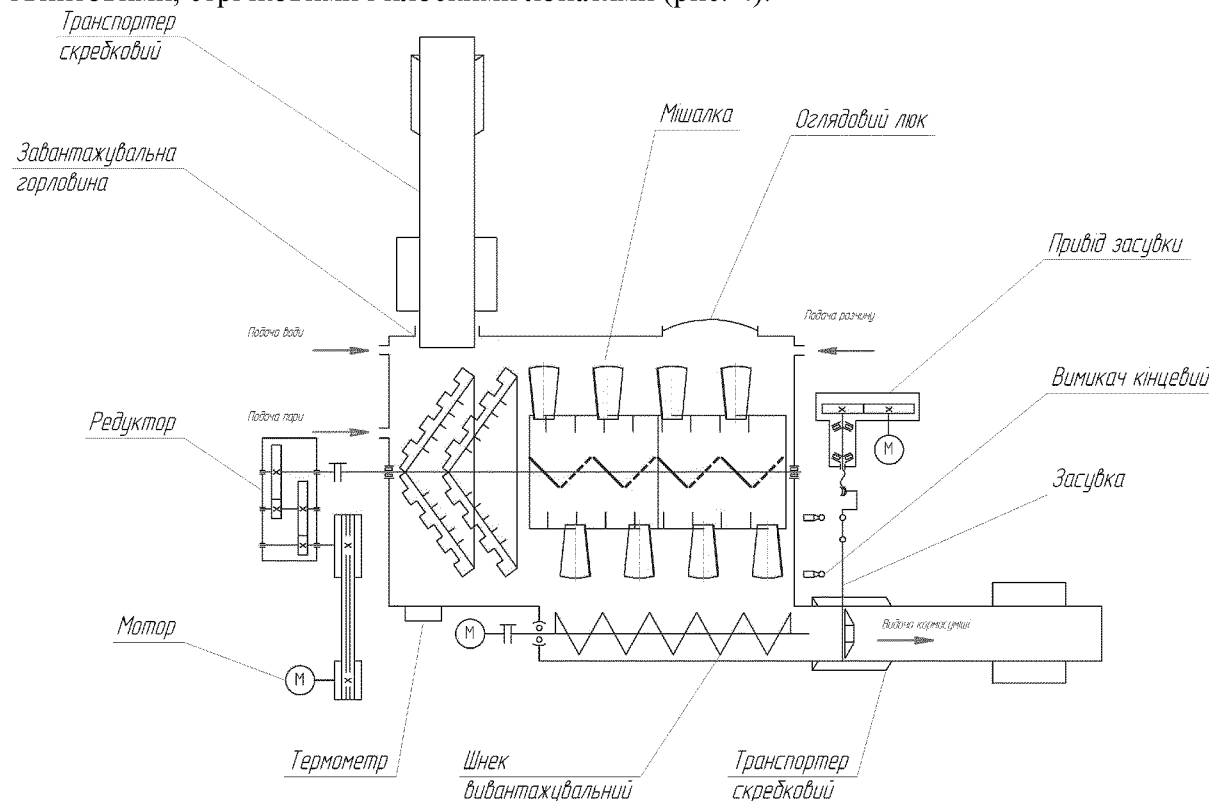
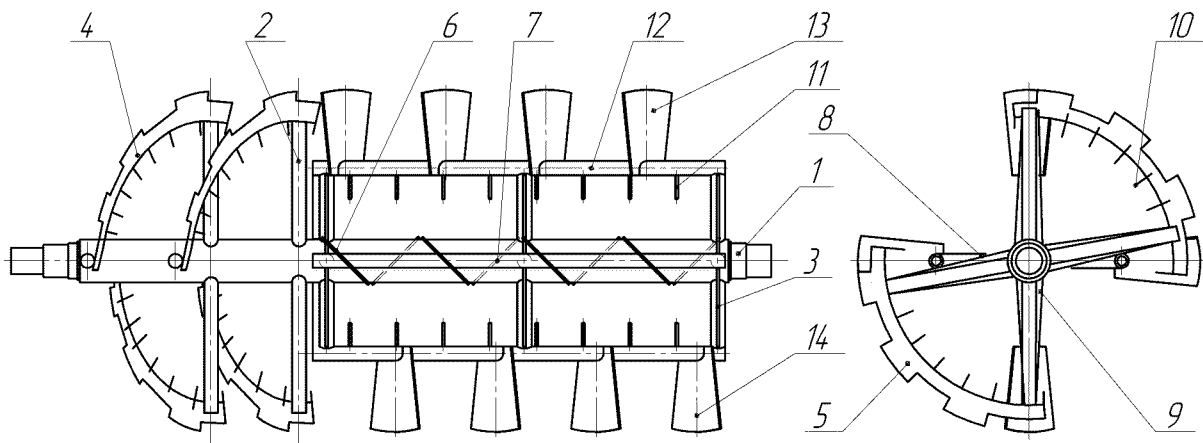


Рисунок 4 - Технологічна схема стрічково – лопатевого змішувача кормів

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

Процес змішування кормів вдосконаленим 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).

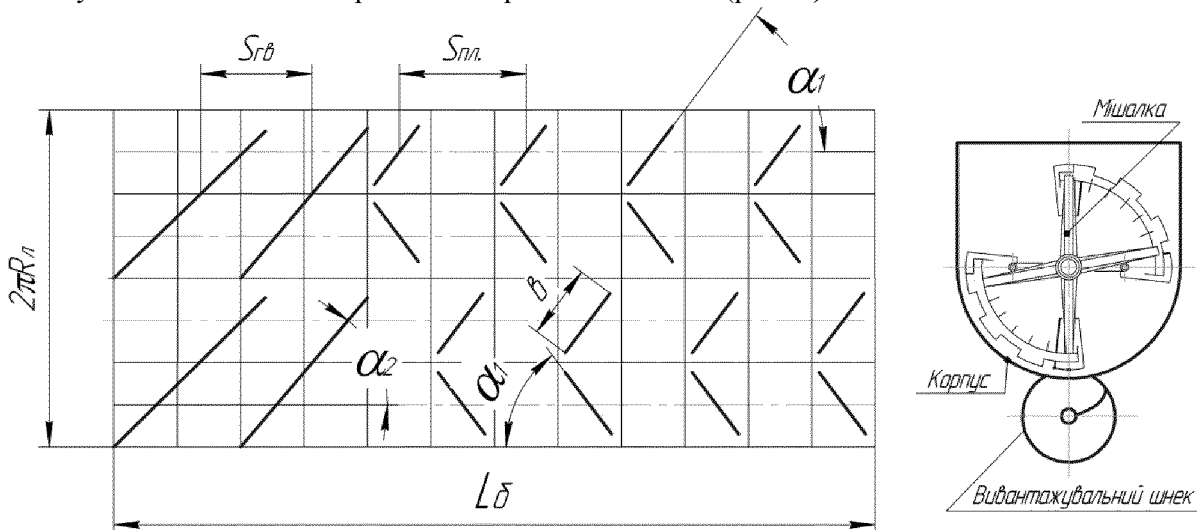


Рисунок – 6 Схема розташування гвинтових і плоских лопатей з різним напрямком кута нахилу їх до осі, що встановлені по периферії

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  $\alpha$  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  $\alpha$  - кут нахилу лопаті;

$\varphi$  – 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  $\mu$  - коефіцієнт осьового відставання часток в залежності від кутів  $\alpha$  і  $\varphi$ .

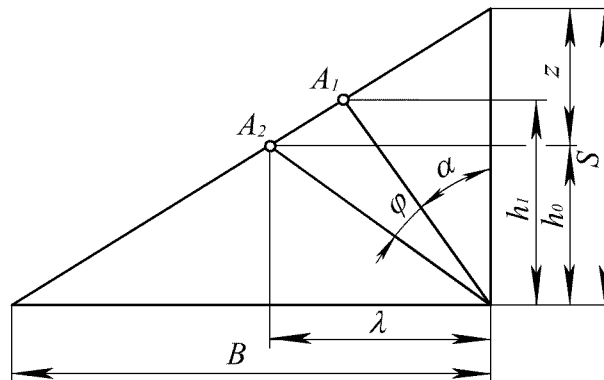


Рисунок 7 – Переміщення матеріальної частки в осьовому напрямку за час проходження нею лопаті

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  $\alpha$ , кута тертя суміші по поверхні лопаті і коефіцієнта осьового відставання матеріальних часток суміші  $\mu$  (рис.8, 9). Зі збільшенням кута  $\alpha$  при постійному коефіцієнті тертя  $f$  зменшується осьове відставання переміщення часток суміші, а при постійному куті нахилу лопаті  $\alpha$  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  $P'_o = P_H \cdot \sin \alpha$  ( $\alpha$  - 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:

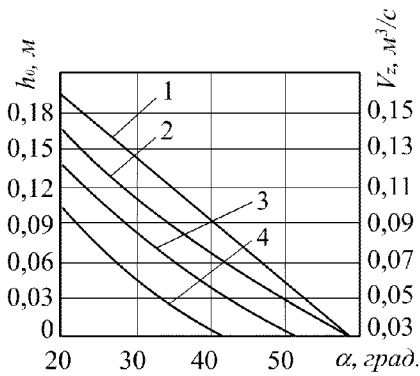
$$F'_p = F \cdot \sin \alpha = f \cdot P_H \cdot \sin \alpha; \quad (5)$$

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

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

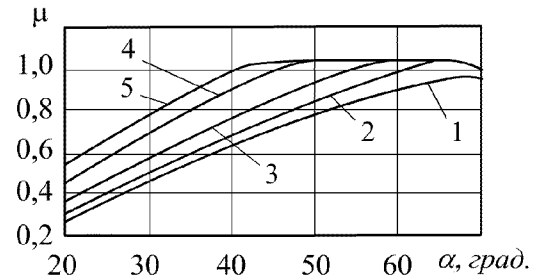
$$P_p = P'_p + F'_p = P_H \cdot (\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha); \quad (7)$$

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



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  $\alpha$



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  $\alpha$  і коефіцієнта тертя  $f$

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

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

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

$F_l$  – проекція площі лопаті на напрямок обертання мішалки,  $M^2$ ;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя, град.;

$\gamma$  – 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:

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

де  $N_{zl}$ ,  $N_{nl}$ ,  $N_{zct}$ ,  $N_{nct}$ ,  $N_n$ ,  $N_{гор.тр.}$ ,  $N_f$ ,  $N_{\eta_M}$  – 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;

$\vartheta_p, \vartheta_o$  - 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,  $H \cdot м$ ;

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

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;

$\varphi$  - кут відкоса корму, град;

Потужність на привод радіальних пальців, кВт:

$$N_i = \frac{\dot{M}_i \cdot Z_n \cdot \omega}{10^3}, \quad (15)$$

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

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

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

$l_n$  - 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,  $H \cdot м$ ;

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

**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 совершенствования 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