

УДК 631.362.2

© Р.В. Кісільов, к.т.н.; П.Г. Лузан, к.т.н.; Т.П. Шепілова, к.с-г.н.;  
Ю.В. Мачок, к.т.н

Кіровоградський національний технічний університет

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛОПАТЕЙ ЗМІШУВАЧА З МОНОЛІТОМ СУМІШІ**

*З огляду на існуючі недоліки в роботі традиційних змішувачів колективом кафедри сільськогосподарського машинобудування КНТУ створена нова конструкція двоступеневого комбінованого стрічково-лопатевого змішувача. Попередні теоретичні та експериментальні дослідження підтвердили ефективність застосування запропонованого змішувача. В статті розроблено математичну модель динамічної системи силової взаємодії лопатей з монолітом суміші для визначення потужності приводу мішалки в залежності від конструктивно-кінематичних параметрів та фізико-механічних властивостей суміші.*

### **ЗМІШУВАННЯ, ЛОПАТЕВА МІШАЛКА, КОРМОВА СУМІШ, ОДНОРІДНІСТЬ СУМІШІ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПОТУЖНІСТЬ, ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ.**

**Постановка проблеми.** За останні роки в європейських країнах, в тому числі й Україні прийняті підвищені вимоги до якості виробництва молока і яловичини та продуктів їх переробки. Стосовно України це вимагає кардинального прискорення впровадження інтенсивних технологій у процеси, які безпосередньо пов'язані з якістю тваринницької продукції, зокрема і підготовки кормів до згодовування та приготування збалансованих і повноцінних кормових сумішей із використанням збагачувальних компонентів, необхідних вітамінів, ферментів, біостимуляторів, транквілізаторів, лікувально-профілактичних препаратів, сучасної техніки нового покоління та комплексної механізації і автоматизації процесів їх приготування [1, 2].

Змішування кормів є обов'язковою і найважливішою складовою ланкою в процесі приготування збалансованих кормових сумішей, задача якої – одержання встановлених кондицій за однорідністю, структурою, фізико-механічними властивостями і суворо встановленою кількістю кожного компонента за рецептом згідно зоотехнічних вимог. Порушення співвідношення кормів у суміші призводить до зниження або підвищення поживності готового

корму, а в кінцевому рахунку до перевитрат кормів і недобору продукції [1, 3].

Саме тому пошук нових технологічних можливостей якісного змішування кормів із мінімальними енергетичними витратами є актуальною науковою задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як показав аналіз робіт Мельнікова С.В., Кукти Г.М., Жевлакова П.К., Дмитрієва А.М. та інших, одним із перспективних напрямків підвищення ефективності змішування кормів є створення нових технічних засобів, робота яких здійснюється на основі комбінування та оптимізації виконання технологічних операцій [4, 5, 6].

Теоретичні дослідження фізико-механічних сторін процесу змішування кормів і математичне моделювання властивостей складних сипучих матеріалів в достатній мірі розвинуті в роботах Зенкова Р.Р., Новікова А.М., Богомятких В.А., Гячева Г.Л. та ін. [4, 6, 7, 8]. Існуючі математичні моделі сипучих матеріалів відображають майже всі властивості, які характерні для 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 [9].

**Мета дослідження.** Розробити математичну модель динамічної системи силової взаємодії лопатей із монолітом суміші для визначення потужності приводу мішалки в залежності від конструктивно-кінематичних параметрів та фізико-механічних властивостей суміші.

**Результати дослідження.** Для усунення недоліків у роботі традиційних змішувачів колективом кафедри сільськогосподарського машинобудування КНТУ створена нова конструкція двоступеневого комбінованого стрічково-лопатевого змішувача, випробування якого підтвердили його високу ефективність [10, 11].

Для визначення сил опору перемішування і потужності привода двоступеневого одновального змішувача примусової дії (рис. 1) була розроблена математична модель динамічної системи силової взаємодії периферійних гвинтових (перша секція) і плоских (друга секція) похилих лопатей з монолітом суміші, а також радіальних пальців для розпушування суміші, вертикальних стійок і горизонтальних опор для комплексного визначення потужності

привода мішалки в залежності від конструктивно-технологічних параметрів та фізико-механічних властивостей суміші [12].

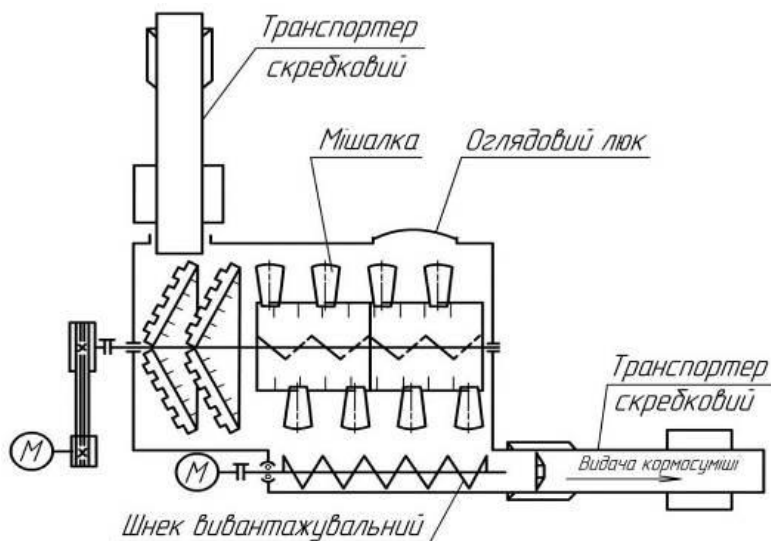


Рис. 1 – Технологічна схема експериментального комбінованого стрічково-лопатевого змішувача кормів

Теоретичні дослідження роботи запропонованого змішувача кормів виявили, що корпус змішувача заповнюється пошарово кормами до 0,6...0,8 від повної геометричної ємності. Тому в процесі змішування не всі периферійні гвинтові і похилі плоскі лопаті з радіальними пальцями, вертикальними стійками та горизонтальними опорами повністю занурюються у кормову суміш на повну глибину.

Коли лопаті занурені у кормову суміш, діє рівнодіюча сила  $R$  всіх опорів, яка відхиляється від нормалі  $N$  на кут зовнішнього тертя  $\varphi_2$ . Для подолання цієї сили прикладається направлена зусилля  $P$  і виникає сила тертя  $F_{тер.}$ , яку розкладаємо на  $F_{тер.p}$  і  $F_{тер.o}$  за напрямленням кругової  $\vartheta_p = \omega R_{сер.}$  і осьової  $\vartheta_{oc} = \vartheta_p \cos \alpha \sin \alpha$  швидкостей руху суміші (рис. 2). При недозавантаженні бункера і обертанні лопатей глибина занурення є перемінною величиною. Нормальна складова сил опору  $P_n$  визначається за формулою:

$$P_n = 9,81 \cdot \gamma \cdot h_{сер} \cdot F_{лб} \cdot tg^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_1}{2} \right), \quad (1)$$

де  $\gamma$  – об'ємна вага кормосуміші,  $кз/м^3$ ;  $h_{сер}$  – середня глибина занурення лопаті, яка дорівнює половині найбільшої глибини, м;  $F_{лб}$  – проекція площі зануреної лопаті за напрямком обертання,  $м^2$ ;  $\varphi_1$  – кут внутрішнього тертя суміші, град.;

Отримані сумарні вектори за напрямком руху (кругові і осьові) визначасмо:

$$\text{кругове зусилля } P_p = P'_n + F'_{тер.p} = P_n (\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha), \quad (2)$$

$$\text{осьове зусилля } P_o = P'_o - F'_{тер.o} = P_n (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha), \quad (3)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу лопаті до осі обертання вала мішалки, град.;  $f$  – коефіцієнт зовнішнього тертя суміші по лопаті.

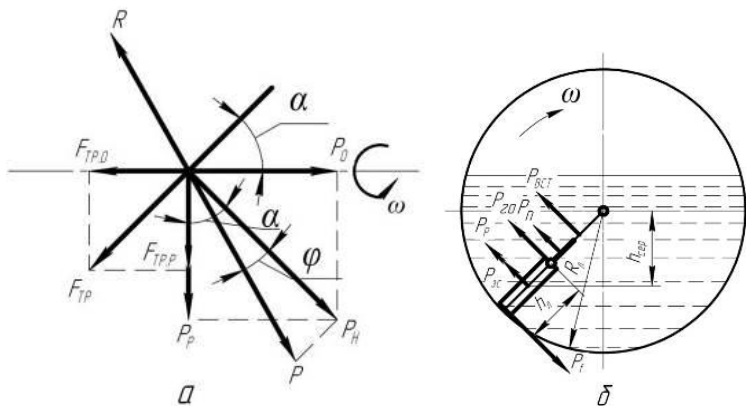


Рис. 2 – Розрахункова схема лопатевого змішувача: а – осьова площина; б – радіальна площина

Сила тертя кормової суміші по внутрішній поверхні корпуса складає:

$$F_{тер.к} = \frac{K_3 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \gamma \cdot L \cdot f \cdot g}{4}, \quad (4)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт заповнення бункера змішувача ( $K_3 = 0,6 \dots 0,8$ );  $D$  – зовнішній діаметр мішалки, м;  $L$  – довжина бункера, м;  $f$  – коефіцієнт зовнішнього тертя суміші по внутрішній поверхні бункера.

Сила зсуву суміші однієї лопаті з лобовою поверхнею  $F_{лб}$  визначається за формулою:

$$P_{зс} = F_{лб} \cdot \tau_3, \quad (5)$$

де  $\tau_3$  – питомий опір зсуву, Па;

Повні витрати потужності на перемішування суміші будуть дорівнювати:

$$N = N_{1z} + N_{2пл} + N_{3f} + N_{4n} + N_{5сc} + N_{6zo} + N_{7зз} + N_{8зпл}, \quad (6)$$

де  $N_{1z} (N_{2пл}) = \frac{(P_p \vartheta_p + P_o \vartheta_o) z}{10^3}$  – відповідно, витрати потужності зануреними гвинтовими і плоскими лопатями;

$$N_{3f} = \frac{F_{тер.к} \cdot \omega \cdot R_l}{10^3} \quad \text{– витрати потужності на тертя суміші по}$$

внутрішній поверхні корпуса;

$$N_{4n} = \frac{P_n \cdot l_n \cdot d_n \cdot R_{сcр.} \cdot z_n \cdot \omega}{10^3} \quad \text{– витрати потужності радіальними}$$

пальцями;

$$N_{5сc} = \frac{P_{cm} \cdot l_{cm} \cdot d_{cm} \cdot \frac{R_{сcр.}}{2} \cdot z_{cm} \cdot \omega}{10^3} \quad \text{– витрати потужності}$$

вертикальними стійками мішалки;

$$N_{6zo} = \frac{P_{zo} \cdot l_{zo} \cdot d_{zo} \cdot R_{сcр.zo} \cdot z_{zo} \cdot \omega}{10^3} \quad \text{– витрати потужності}$$

горизонтальними опорами плоских лопатей;

$$N_{7зз} (N_{8зпл}) = \frac{F_{лб} \cdot \tau_3 \cdot z \cdot \omega R_{сcр.}}{10^3} \quad \text{– відповідно, витрати потужності}$$

на зсув суміші гвинтовими і плоскими лопатями.

Після підставлення значень сил опору в рівняння (6) отримаємо:

$$N = \frac{(P_p \vartheta_p + P_o \vartheta_o) z_z}{10^3} + \frac{(P_p \vartheta_p + P_o \vartheta_o) z_{пл}}{10^3} + \\ + \frac{K_3 \cdot \pi D^2 \cdot \gamma \cdot L \cdot f \cdot g \cdot \omega R_l}{4 \cdot 10^3} + \frac{P_n \cdot l_n \cdot d_n \cdot R_{сcр.} \cdot z_n \cdot \omega}{10^3} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{P_{cm} \cdot l_{cm} \cdot d_{cm} \cdot \frac{R_{cep.}}{2} \cdot z_{cm} \cdot \omega}{10^3} + \frac{P_{zo} \cdot l_{zo} \cdot d_{zo} \cdot R_{cep.} \cdot z_{zo} \cdot \omega}{10^3} + \\
 & + \frac{F_{лб.з} \cdot \tau_3 \cdot z_2 \cdot \omega R_{cep.}}{10^3} + \frac{F_{лб.пл} \cdot \tau_3 \cdot z_{пл} \cdot \omega R_{cep.}}{10^3}, \text{ кВт}.
 \end{aligned}$$

(7)

**Висновки.** За результатами проведених теоретичних розрахунків визначені сили опору перемішування і необхідні витрати потужності для їх подолання однофазним комбінованим стрічково-лопатевим змішувачем періодичної дії. Розрахункові теоретичні і експериментальні порівняльні дані потужності на привод мішалки не перевищують 5%, що свідчить про достатньо високу надійність розробленої розрахункової математичної моделі взаємодії лопатей запропонованого змішувача кормів періодичної дії.

#### Література

1. Вертійчук А.І. Технологія виробництва продукції тваринництва / А.І. Вертійчук, М.І. Маценко. – К.: Урожай, 1995. – 376 с.
2. Бей Н.О. Удосконалення організаційно-економічного механізму підвищення конкурентоспроможності продукції скотарства / Н.О. Бей // Економіка АПК. – 2002. – № 1. – С. 103–107.
3. Кисилев Р.В. Исследование влияния параметров смесителя на показатели качества приготовления кормов / Р.В. Кисилев, К.Д. Матвеев, П.Г. Лузан, С.Н. Лещенко // MOTROL. COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN AGRICULTURE. LUBLIN – RZESZOW, 2013. – Vol. 15. – No. 2. – P. 51–57.
4. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов / С.В. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1985. – 640 с.
5. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 304 с.
6. Дмитриев А.М. Оптимизация процесса смешивания кормовых материалов / А.М. Дмитриев, Е.Н. Михасенок, А.Д. Селезнев / Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1975. – №8. – С. 189–212.
7. Богомягких В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов / В.А. Богомягких. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1973. – 152 с.
8. Гячев Л.В. Движения сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л.В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 215 с.

9. Панченко А.Н. Повышение работоспособности бункеров послыйного распределения сыпучих материалов сельскохозяйственных и мелиоративных машин: Учебное пособие / А.Н. Панченко. – Днепропетровск: РВЛ ДАУ, 1995. – 52 с.

10. Пат. 63424 Україна, МПК А23 N17/00. Комбінований стрічково-лопатовий змішувач кормів / Матвеев К.Д., Ліпкан А.В., Лузан П.Г., Кісільов Р.В. та ін. (Україна); заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. – №201102704; заявл. 09.03.11; опубл. 10.10.11, Бюл. №19.

11. Кісільов Р.В. Результати експериментальних досліджень приготування повноцінної кормосуміші для ВРХ вдосконалим лопатовим змішувачем кормів / Р.В. Кісільов, К.Д. Матвеев, П.Г. Лузан, С.М. Лещенко // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. – Серія: Технічні науки №41 – Луганськ: ЛНАУ, 2012. – С. 119–127.

12. Кісільов Р.В. Теоретичні дослідження процесу змішування кормів стрічково-лопатовим змішувачем / Р.В. Кісільов // Техніка в сільськогос-подарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць. – Вип. 24. Ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 167–175.

*Рецензент д.т.н. В.М. Сало*