

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ МІШАЛКИ З ЕЛІПТИЧНИМИ
ЛОПАТЯМИ***П.П. Краснолуцький, к.т.н., доцент**Подільський державний аграрно-технічний університет,
м. Кам'янець-Подільський*

E-mail: kraspp@ukr.net

Постановка проблеми. У сільськогосподарському виробництві часто виникає потреба у змішуванні матеріалів, які істотно різняться вологістю, розмірами та іншими фізико-технологічними властивостями. Насамперед це стосується приготування вологих кормосумішок. Значний вклад у дослідження процесу змішування кормів внесли відомі вітчизняні і зарубіжні вчені Кукта Г.М., Ревенко І.І., Мельніков С.В., Сироватка В.І. та ін. Однак розробка нових і удосконалення серійних змішувачів кормів залишається актуальною задачею. Зауважимо, що аналогічне важливе завдання має місце і при розробці біогазових установок, оскільки від якості перемішування субстрату залежить перебіг і результат метанового бродіння [1,2].

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що масообмін потоків компонентів суміші посилюється за рахунок нарощування частоти зіткнень і більш складних траєкторій їх руху, ніж у традиційних змішувачах [3,4]. У зв'язку з цим доцільно виконати мішалку у вигляді горизонтально розташованого валу з встановленими на ньому під деяким кутом стойками з еліпсними сегментами. Ефективність подібного робочого органу для обробітку ґрунту підтверджена дослідженнями [5,6], в результаті яких встановлено, що інтенсивність рихлення і змішування частинок ґрунту, а також рівномірність їх розподілення значно вище, ніж при використанні серійних розпушувачів.

Мета досліджень – уточнити зв'язок між параметрами мішалки та характером процесу перемішування компонентів суміші.

Результати досліджень. Нами був проведений кінематичний аналіз мішалки з еліпсними лопатями, адаптованими для змішувача СКО – Ф – 3 (рис. 1).

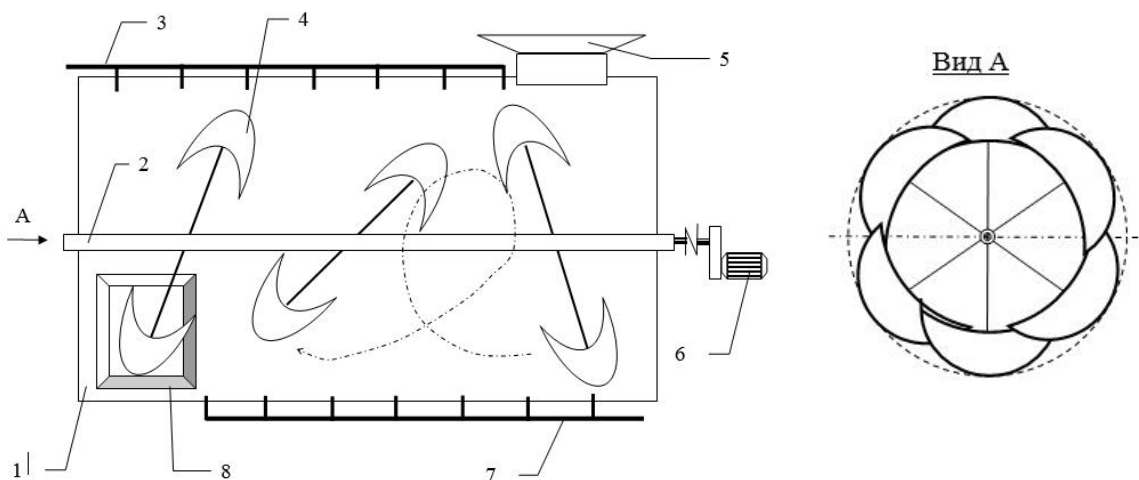


Рис. 1 – Схема принципова змішувача з еліпсними лопатями

1 – корпус; 2 - вал; 3 – трубопровід подачі меляси; 4 – лопать; 5 –горловина завантажувальна; 6 – привод; 7 – паропровід; 8 - горловина вивантажувальна

Для визначення рівнянь траєкторії руху кожної точки лопаті розташуємо в її основі дві координатні системи з спільним початком в точці 0 (рис. 2), при цьому координатна система $\Sigma(x,y,z)$ утворюється поворотом системи $\Sigma(x',y',z')$ навколо осі OY' на кут α , рівний куту встановлення лопаті α . Припускаємо, що лопать обертається за годинниковою стрілкою від точки відліку 0_1 .

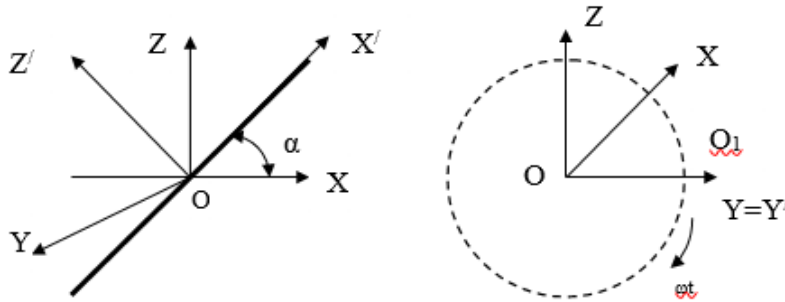


Рис. 2 До визначення траєкторії руху точки лопаті.

В координатній системі $\Sigma(x',y',z')$ рівняння руху будь якої точки лопаті на відстані R_i від осі обертання має вигляд

$$\begin{cases} x' = -R_i \\ y' = -R_i \cos \omega t \\ z' = -R_i \sin \omega t \end{cases} \quad (1)$$

За правилами повороту декартової системи координат в просторі, положення даної точки в системі $\Sigma(x,y,z)$ визначається як

$$\begin{cases} x = l_1 x' + m_1 y' + n_1 z' \\ y = l_2 x' + m_2 y' + n_2 z' \\ z = l_3 x' + m_3 y' + n_3 z' \end{cases} \quad (2)$$

Де l_i, m_i, n_i ($i=1, 2, 3$) – направляючі косинуси.

В даному випадку

$$\begin{aligned} l_1 &= \cos \angle xx' = \cos \alpha \\ m_1 &= \cos \angle xy' = 0 \\ n_1 &= \cos \angle xz' = \sin \alpha \\ l_2 &= \cos \angle yx' = 0 \\ m_2 &= \cos \angle yz' = 0 \\ n_2 &= \cos \angle yz' = 0 \\ l_3 &= \cos \angle zx' = \sin \alpha \\ m_3 &= \cos \angle zy' = 0 \\ n_3 &= \cos \angle zz' = \cos \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

Після підстановки цих значень в систему, отримаємо

$$\begin{cases} x = -R_i \sin \alpha \sin \omega t \\ y = -R_i \cos \omega t \\ z = -R \cos \alpha \sin \omega t \end{cases} \quad (3.4)$$

Враховуючи, що радіус R_i та кут нахилу лопаті α є постійними величинами, отримуємо таку систему рівнянь для визначення абсолютної швидкості точки лопаті та її складових.

$$\begin{aligned} v_x &= -\omega R \sin \alpha \cos \omega t \\ v_y &= -\omega R \sin \omega t \\ v_z &= -\omega R \cos \alpha \cos \omega t \end{aligned} \quad (1)$$

$$v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \omega R \sqrt{\sin^2 \alpha \cos^2 \omega t + \sin^2 \omega t + \cos^2 \alpha \cos^2 \omega t} =$$

$$= \omega R \sqrt{\cos^2 \omega t \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha + \sin^2 \omega t} = \omega R$$

Очевидно, що інтенсивність змішування визначається в основному осьовою v_x і вертикальною $\bar{v}_y$, які є складовими абсолютної швидкості $\bar{v}_a$. Як видно з графіків, побудованих по розрахункових даним (рис. 2), із збільшенням кута нахилу лопаті α від 15° до 45° значення $\bar{v}_x$ зростає майже в три рази, що не тільки сприяє більш якісному змішуванню, але й прискорює розвантаження змішувача. Елемент $\bar{v}_z$ при цьому незначно зменшується – в 1,25 рази.

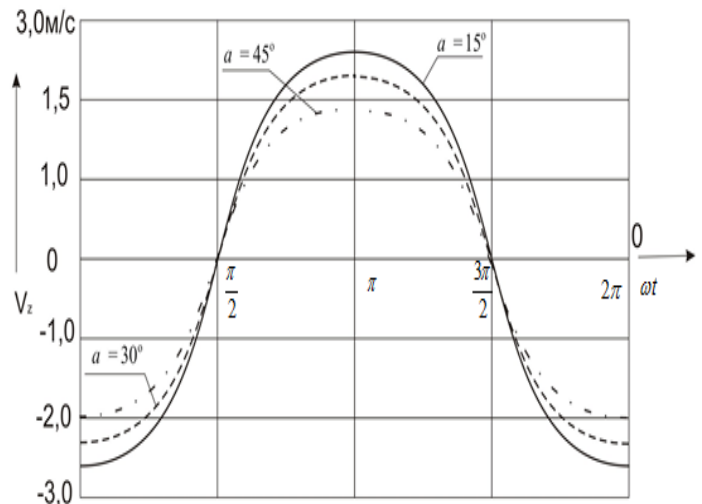
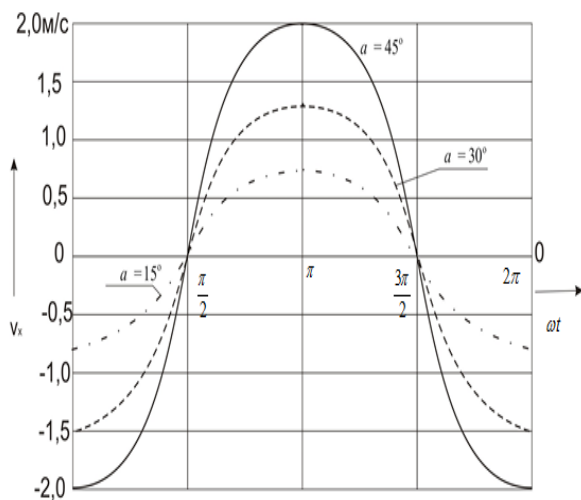


Рис. 2.

Швидкість обертання лопатей при будь – якому їх нахилі визначається за умови, що відцентрова сила, яка діє на частинку, не повинна перевищувати відповідну проекцію сили тяжіння цієї частинки (рис. 3), так як в іншому випадку змішування буде супроводжуватись розшаруванням суміші.

Розглянемо частинку корму масою m , який доторкається до лопаті в одному з крайніх положень (наприклад, в верхньому). З деяким припущенням можна вважати, що на частинку діють сили:

- Ваги, $\bar{P} = mg$;
- Складові сили тяжіння, що притискає частинку до лопатки $\bar{P}_N = mg \cos \alpha$;

- Сила тертя до лопатки, обумовлена дією сили $\overline{P}_N : \overline{P}_T = \overline{P}_N \cdot f = fmg \cos \alpha$;
- Тангенціальна (скачувальна) складова сили тяжіння $\overline{P}_T = mg \sin \alpha$;
- Відцентрова сила $\overline{F}_y = \omega^2 R_n$, де ω – кутова швидкість, c^{-1} ; R_n – радіус обертання частинки, $R_n=0,73$ м.

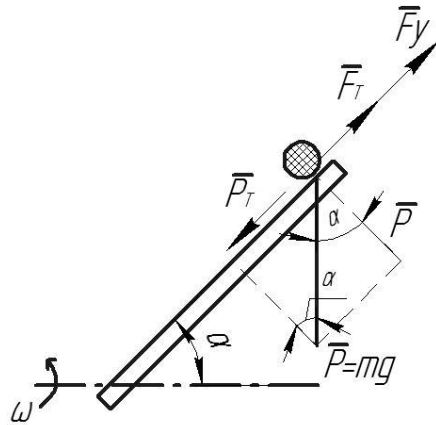


Рис. 3.5 До визначення частоти обертання лопаті.

Тоді, з умови не розшарування

$$\overline{F}_y + \overline{F}_T - \overline{P}_T = 0 \quad (3.6)$$

Можна визначити дійсну частоту обертання

$$m\omega^2 R_n + fmg \cos \alpha - mg \sin \alpha = 0 \quad (3.7)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{9(\sin \alpha - f \cos \alpha)}{R_n}} = \sqrt{\frac{9,81(0,707 - 0,8 \cdot 0,707)}{0,73}} = 1,37 c^{-1},$$

$$\text{або } n = \frac{60\omega}{2\pi} \approx 13,8 x6^{-1}$$

Частота обертання мішалки серійного змішувача СКО-ф-3 становить 18 хв^{-1} , що майже в 1,3 рази вище, ніж розрахункова частота обертання запропонованої конструкції. Очевидно, що опір маси перемішуванню, а відтак і потрібна потужність, прямо пропорційні швидкості руху лопаті та ступеню турбулентності. Однак для визначення реального зменшення енергомосткості процесу слід провести відповідні експериментальні дослідження.

Потужність N_n для приводу змішувача визначаємо з аналізу діючих на лопаті сил опору.

Розглянемо схему сил (рис. 3.8), діючих в площині, перпендикулярній до осі валу мішалки, коли лопаті опущені в корм підчас його перемішування. На лопать діє рівнодіюча R всіх опорів, відхилена від нормалі N на кут ϕ тертя. Для подолання цієї рівнодіючої необхідно прикласти з сторони лапасті зусилля рівне R , яке протилежно напрямлене зусиллю P .

Нормальну складову P_n цього зусилля розкладаємо по напрямкам окружної і осьової швидкостей, в результаті отримаємо зусилля P_p , що сповіщає елементам обертальний рух, і P_0 , яке переміщує елементи в осьовому напрямку. При цьому $P'_p = P_n \cos \alpha$ і $P''_0 = P_n \sin \alpha$, де α – кут нахилу лопаті до осі обертання валу мішалки [23].

Крім того, під дією нормальної складової рівнодіючої R в площині руху елементів по лопаті, виникає сила тертя $F_T = f \cdot P_n$, напрямлена проти відносного руху елементів по лопаті.

Розкладемо силу тертя на осьову і окружну складові

$$\begin{aligned} F_{Tp}' &= F_T \sin \alpha = f P_n \sin \alpha \\ F_{T0}' &= F_T \cos \alpha = f P_n \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.11)$$

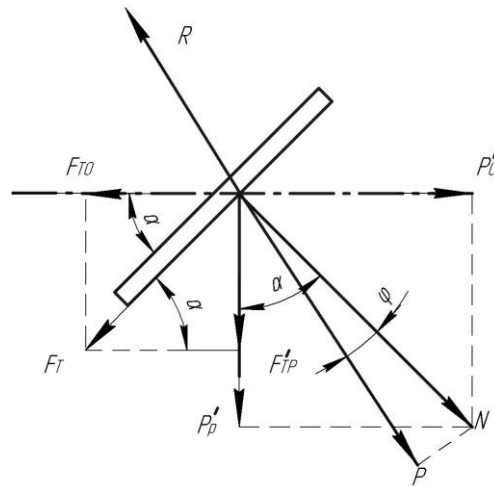


Рис. 3.8 Розрахункова схема лопасного змішувача.

Складаючи одержані вектори по напрямках, одержимо значення:

Окружного зусилля

$$P_p = P_p' + F_{Tp}' = P_n (\cos \alpha + f \sin \alpha) \quad (3.12)$$

Осьового зусилля

$$P_0 = P_0' + F_{T0}' = P_n (\sin \alpha - f \cos \alpha) \quad (3.13)$$

Під час руху опущеної в матеріал лапасті опір вздовж неї розподіляється за законом трикутника і точка прикладання рівнодіючої R знаходиться в центрі тяжіння цього трикутника або на відстані r_{cp} двох третин довжини лапасті від осі обертання.

$$F = \int_{\frac{2}{3}a}^a \left[\sigma^2 - \frac{\sigma^2 x^2}{a^2} \right]^{\frac{1}{2}} dx = \left[\frac{\sigma^2 - \frac{x^2 \sigma^2}{a^2}}{\frac{3}{2} \cdot \frac{\sigma^2}{a^2}} \right]^{\frac{3}{2}} \bigg|_{\frac{2}{3}a}^a = 0,16 m^3 \quad (3.14)$$

Тоді величина $P_n = 9,81 \cdot 650 \cdot 0,365 \cdot 0,16 \cdot 1,15^2 = 468 \text{ H}$

Визначаємо складові P_p , P_0 :

$$P_p = P_n (\cos \alpha + f \sin \alpha) = 468 (0,707 + 0,8 \cdot 0,707) = 595 \text{ H}$$

$$P_0 = P_n (\sin \alpha - f \cos \alpha) = 468 (0,707 - 0,8 \cdot 0,707) = 65 \text{ H}$$

Потужність на привід мішалки визначаємо за формулою [24]:

$$N_n = \frac{(P_p v_p + P_0 v_0) z_n}{1000} \quad (3.15)$$

Де z_n – кількість лопастей, $z_n = 3$ шт;

v_0 – осьова швидкість;

v_p – окружна швидкість;

Величина v_p розраховується, як $v_p = \omega r$;

де ω частота обертання мішалки, раніше визначено, що $\omega = 1,47 \text{ c}^{-1}$

r – середній радіус або відстань від осі обертання до точки прикладання рівнодіючої сили опору

$$r = \frac{2}{3} R_n + \frac{2}{3} \left(R_n - \frac{2}{3} R_n \right) = \frac{2}{3} R_n + \frac{2}{3} R_n = 0,65 \text{ м} \quad (3.16)$$

Величина v_0 розраховувалась раніше як величина $\bar{v}_x$, і за результатами розрахунків її максимальне значення в заданому випадку може досягнути 2 м/с, тоді

$$N_n = \frac{(595 \cdot 0,95 + 65 \cdot 2) \cdot 3}{1000} = 2,1 \text{ кВт}$$

З врахуванням втрат в приводі ($\eta = 0,85$) і коефіцієнта запасу потужності $K_{\Pi} = 2$

$$N'_n = \frac{N_n}{\eta} = \frac{2,1 \cdot 2}{0,85} = 4,94 \text{ кВт}$$

За технічною характеристикою змішувача СКО – Ф – 3, на привод розвантажувального шнека витрачається $N = 2,2 \text{ кВт}$

Тоді загальна потужність привода змішувача

$$N = N_n + N_{ш} = 4,94 + 2,2 = 7,14 \text{ кВт} \quad (3.18)$$

Таким чином, зміна конструкції мішалки не потребує збільшення потужності привода серійного змішувача.

Список використаних джерел

1. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами /за ред. д-ра техн. наук, проф. Г. А. Голуба. Київ: НУБіП України, 2014. 106 с.

2. Ратушняк Г., Джеджула В., Анохіна К. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання. Вінниця: ВНТУ, 2010. 170 с.

3. Хмельовський В.С. Інтенсифікація технологічного процесу подрібнювача-змішувача кормів: автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.20.01 / Нац. аграр. ун-т. Київ, 2000. 20 с.

4. Черновол М.І., Свірень М.О., Кісільов Р.В. Приготування кормових сумішей комбінованим змішувачем // Вісник аграрної науки. 2018, №2 (779) - С. 54-59

5. Герук С.Н. Технологический процесс и основные параметры машин с активными рабочими органами для поверхностей обработки почвы: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01/БАТУ. Минск, 1988. 229 с.

6. Краснолуцький П. П. Теоретичний аналіз мішалки з еліптичними лопатями Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року. Київ. 2018. – 193 с.

