



Любін М. В.

Вінницький
національний
аграрний
університет

УДК:628.49

ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ЗАСОБІВ ПЕРЕМІШУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

В статье приведены характеристики системы перемешивания и терморегуляции биогазовых установок, которые работают на отходах животноводства. Приведена методика расчета разных типов систем перемешивания.

In the article the descriptions of the system of interfusion and termoregulation of biogaz settings, that work on wastes of stock-raising are resulted. The method of calculation of different types of the systems of interfusion is resulted.

Вступ. На Вінниччині історично склалися сприятливі умови для розвитку сільського господарства, лісової, харчової, переробної промисловості тощо. Значну екологічну небезпеку становлять органічні відходи тваринництва, особливо птахівництва. Традиційні методи переробки відходів не дозволяють на високому рівні проводити знезараження відходів і підготовку добрив, проте використання енергозберігаючої технології утилізації, дезодорації та знезараження відходів дозволить суттєво вплинути на підвищення рентабельності тваринницького підприємства.

Біоконверсія органічних речовин для вторинного отримання енергоносіїв включає анаеробні мікробіологічні процеси двох напрямків: метанового зброджування з одержанням біогазу; спиртового зброджування з одержанням етанолу, бутанолу, бутадіолу. Привабливішим є перший процес, оскільки метаногенна флора має більш різноманітний видовий склад і, крім того, він економічно набагато ефективніший. Системи біоконверсії досить широко використовуються у світовій практиці. Якщо в кліматичних умовах Індії процес біоконверсії може бути реалізований за спрощеним технічним рівнем, то в умовах України такий підхід неприпустимий. Західна Європа та США вирішують проблему переробки відходів завдяки високому технологічному рівню та

відповідним еколого-економічним умовам. Сьогодні в Європі експлуатується більше ніж 1000 установок. Одержання енергії з альтернативних джерел в багатьох розвинених країнах економічно стимулюється державою. [1]

Постановка проблеми. Для доведення показників роботи БГУ до рівня позитивної рентабельності потрібно: вдосконалити систему термостабілізації та перемішування; розробити і впровадити системи утилізації теплоти зброженого субстрату; вдосконалити режими роботи БГУ в залежності від пори року.

Результати досліджень. Системи перемішування. Цілі перемішування. Перемішування зброженої маси в реакторі підвищує ефективність роботи біогазових установок і забезпечує:

- вивільнення біогазу, що утворюється;
- перемішування свіжого субстрату і популяції бактерій;
- запобігання формування кірки і осаду;
- запобігання появи ділянок різної температури усередині реактора;
- рівномірний розподіл популяції бактерій;
- запобігання формування пусток і скупчень, що зменшують робочу площу реактора.



Методи перемішування. Перемішування сировини може здійснюватися наступними основними способами: механічними мішалками, біогазом, що пропускається через товщу сировини, і перекачуванням сировини з верхньої зони реактора в нижню. Робочими органами механічних мішалок є шнеки, лопаті, планки. Приводиться в дію вони можуть вручну або від двигуна. [2]

Механічне перемішування. Механічне перемішування за допомогою роторів лопаток використовується частіше всього в горизонтальних сталевих реакторах. Горизонтальна вісь проходить по всій довжині реактора. До неї кріпляться лопатки або трубки, заломлені в петлі. При повороті осі сировина перемішується.

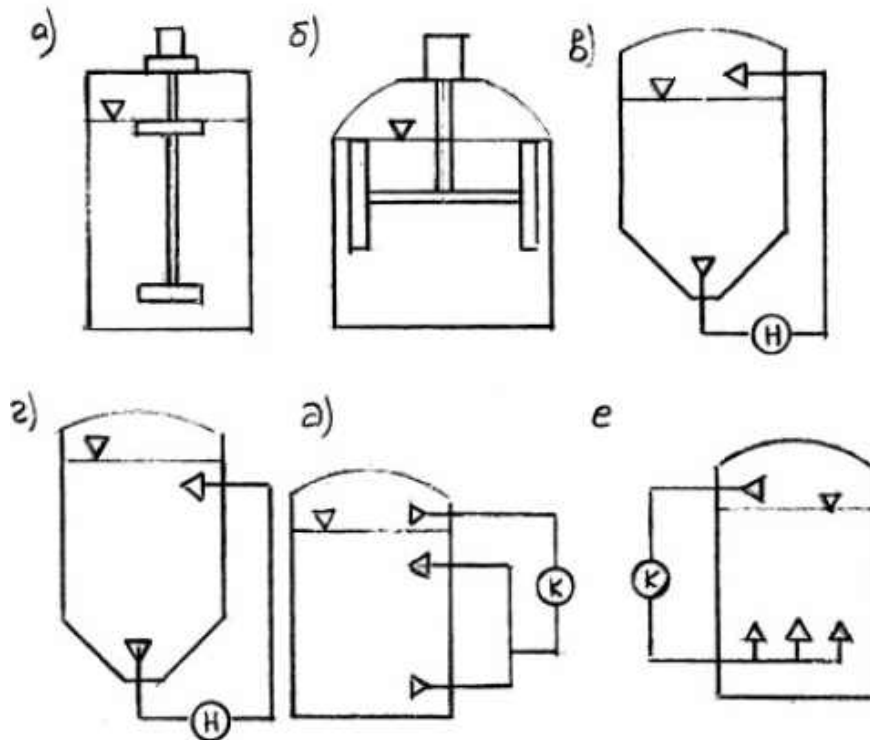


Рис. 1. Системи перемішування сировини для вертикальних реакторів:
а, б - механічна мішалка; в, г - за допомогою насоса;
д - біогазом і рідиною; е - біогазом

Механічні мішалки з ручним приводом найбільш прості у виготовленні і експлуатації. Вони використовуються в реакторах невеликих установок з незначним виходом біогазу, кірка ламається, а осад спрямовується до вихідного отвору.

Конструктивно вони є горизонтально або вертикально встановленим валом усередині реактора паралельно центральній осі. На валу закріплені лопаті або інші елементи з гвинтовою поверхнею, що забезпечують переміщення маси, збагаченої метановими бактеріями, по напрямку від місця вивантаження до місця завантаження. Це дозволяє збільшити швидкість утворення метану і скоротити час перебування сировини в реакторі.

Гідрравлічне перемішування. За допомогою насоса можна повністю перемішувати сировину при одночасному завантаженні і вивантаженні сировини. Такі насоси часто розташовуються в центрі реактора для виконання додаткових функцій.

Пневматичне перемішування. Пневматичне перемішування шляхом закачування біогазу, що виділяється, назад в реактор здійснюється за допомогою монтажу на дні реактора системи трубопроводів і забезпечує м'яке перемішування сировини. Головна проблема таких систем полягає в проникненні сировини в газову систему. Цьому можна запобігти, встановивши систему клапанів.

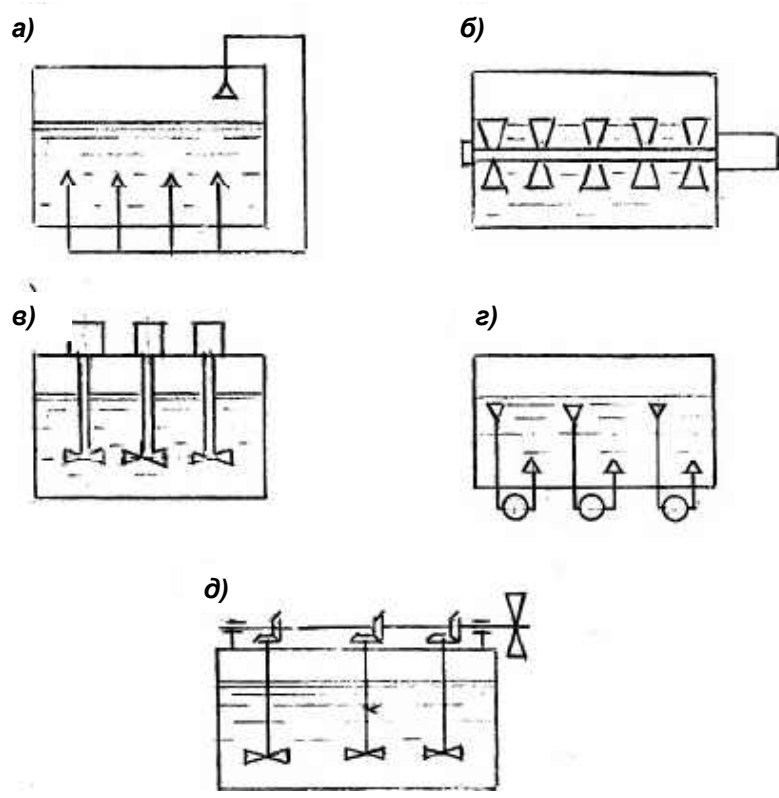


Рис. 2. Пристрої перемішування сировини для горизонтальних реакторів:
а – біогазом; б - механічними лопатями; в - механічними мішалками з електродвигунами; г - за допомогою насоса; д - механічними мішалками від вітряного двигуна

Перемішування шляхом пропускання біогазу через товщу сировини дає добрі результати тільки в тому випадку, якщо зброджувана маса сильно розріджена і не утворює кірки на вільній поверхні. [3]

Частота перемішування сировини. Перемішування може бути постійним або періодичним залежно від режиму роботи реактора. Оптимальний режим перемішування значно зменшує час зброджування сировини і запобігає утворенню кірки.

Хоча часткове перемішування трапляється за рахунок того, що вивільняється

з сировини біогазу, за рахунок температурного руху і руху за рахунок надходження свіжої сировини, такого перемішування недостатньо.

Основи розрахунків механічних мішалок. Лопатеві мішалки складаються з 2-4 лопатей, укріплених на валу, що обертається (рис. 3). Лопаті розташовані в площині осі валу або нахилені до перпендикулярної їй площини під кутом 45 і 60° (рис. 3, 6).

Габарити лопатей мішалки і посудини як правило приймаються наступними [4]:

$$d = (0,5... 0,7) D, h = (0,08 ... 0,12) d, v = (0,1 ... 0,5) d \text{ і } H = (0,8...1,3)D \quad (1)$$

де d — діаметр лопаті; D — діаметр посудини; v — висота розташування мішалки над дном; H — висота заповнення апарату при установці однієї мішалки; h — висота лопаті.

Окружну швидкість на кінці лопаті мішалки вибирають залежно від в'язкості перемішуваної маси.

При висоті посудини, що перевищує її діаметр, а також при використанні в'язкої рідини на валу (по висоті) встановлюють дві, три і більше пар лопатей. Відстань між окремими парами лопатей складає $(1...5) d$.

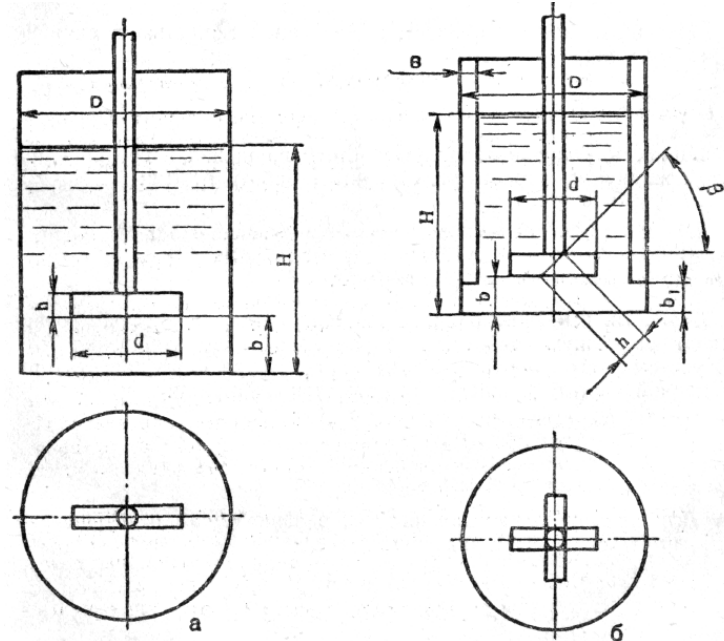
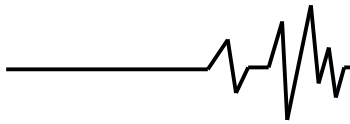


Рис. 3. Лопатеві мішалки:
а — з двома лопатями; б — з чотирма лопатями

Для в'язких рідин на стінках посудини укріплюють радіально розташовані планки, над якими проходять лопаті мішалки. При цьому рідина захоплюється лопатями, розтинається і дробиться, що підвищує ефективність перемішування.

Площу лобової поверхні (F_l , м²) лопаті мішалки визначають по формулі:

$$F_l = R h \sin \beta, \quad (2)$$

де $R = \frac{d}{2}$ — виліт лопаті, м; h — висота лопаті, м; β — кут нахилу лопаті до напрямку руху, град.

Окружна швидкість (v_0 , м/с) центру тяжкості лопаті рівна:

$$v_0 = \frac{\pi x_0 n}{30}, \quad (3)$$

де x_0 — відстань від центру тяжіння лопаті до осі обертання, м; n — частота обертання, с⁻¹.

Маса рідини (q , кг/с), що витісняється лопаттю в одиницю часу, рівна:

$$q = F_l \cdot v_0 \gamma, \quad (4)$$

де γ — об'ємна маса рідини, кг/м³.

Лопать, одержавши задану частоту обертання і надавши при цьому рідині швидкість v_0 , здійснює роботу A , Дж:

$$A = \frac{5 F_l v_0^3 \gamma}{g}, \quad (5)$$

де g — прискорення вільного падіння, м/с².

Лопаті, що мають однакову площу поверхні, здійснюють різну роботу, яка залежить від відношення R/h . З урахуванням цього робота (A , Дж) з розрахунку на одну лопать при заданій частоті обертання виражається формулою:

$$A = \frac{5 \varphi F_l v_0^3 \gamma}{g}, \quad (6)$$

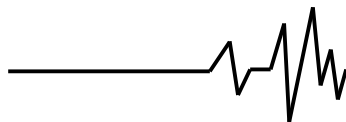
де φ — коефіцієнт, залежний від форми лопатей.

Для прямокутних лопатей φ , залежно від відношення R/h , має наступні значення:

R/h — 1	2	4	10	18
φ — 1,1	1,15	1,19	1,29	1,4...2,0

У разі проміжних значень R/h коефіцієнт φ знаходять способом прямолінійної інтерполяції.

Для горизонтальних прямокутних лопатей, коли $R = \frac{d}{2}$ і $v_0 = \frac{3}{4} v$ потрібна потужність (N_r , кВт) для мішалки в пусковий період складе:



$$N_r = \frac{2zA_l}{10,2n} = \frac{27\varphi 27F_{\text{л}} \upsilon^3 \gamma}{642g \cdot 10,2\eta} = 60 \cdot 10^{-9} \frac{\varphi z}{\eta} F_{\text{л}} d^3 \gamma, \text{ кВт}, \quad (7)$$

де d — діаметр кола лопаті мішалки, м; υ_0 — окружна швидкість кінця лопаті, м/с; z — число пар лопатей мішалки; η — механічний ККД передавального механізму.

Для вертикальних прямокутних лопатей потрібна потужність (N_B , кВт) в пусковий період визначається виразом:

$$N_B = 18 \cdot 10^{-9} \frac{\varphi zh}{\eta} (d_2^4 - d_1^4) n^3 \gamma, \quad (8)$$

де d_2 і d_1 — зовнішній і внутрішній діаметри мішалки, м.

Сила опору рідини (P_2 , Н), що діє на лопаті горизонтальної мішалки, дорівнює:

$$P_2 = \frac{10^4 N_r}{\omega d}, \quad (9)$$

де $\omega = \frac{\pi n}{30}$ — кутова швидкість лопаті, рад/с.

Сила P прикладена на відстані (x_0 , м), рівному:

$$x_0 = \frac{3}{4} \quad R = \frac{3}{8} d. \quad (10)$$

Для вертикального лопатевого змішувача силу опору (P_B , Н) рідини, діючу на лопать, визначають по формулі:

$$P_B = \frac{10^4 N_B}{\omega d}. \quad (11)$$

Ця сила прикладена на відстані, м:

$$x_0 = \frac{3}{8} \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2^3 - d_1^3}. \quad (12)$$

Пропелерні мішалки конструктивно є весільним гвинтом з числом лопатей від двох до чотирьох, частіше всього з трьома лопатями. При обертанні пропелер захоплює рідину лопатями і відкидає її в протилежний бік. Викинута порція вдаряється об рідину в посудині, розтікається в всі боки і знову поступає в пропелер.

Таким чином, в посудині здійснюється інтенсивна циркуляція рідини з вихровим рухом, що забезпечує активне її перемішування.

Пропелерні мішалки успішно застосовують для рідин з динамічною в'язкістю до 4,0 Па·с. При в'язкості перемішуваних

середовища 0,01...1,0 Па·с вибирають колову швидкість, рівну 4,8...16 м/с. На рисунку 4 приведена схема змішувача з пропелерною мішалкою 2, розташованою в дифузорі 1.

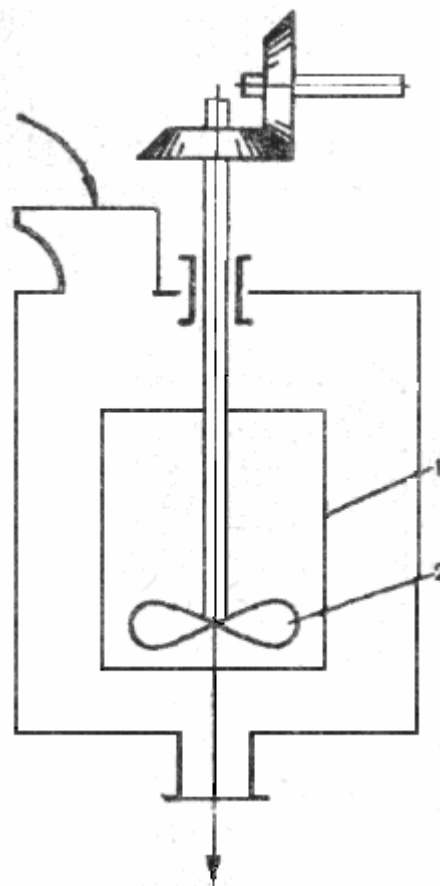
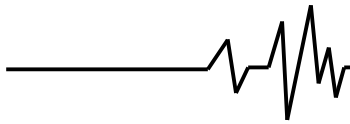


Рис. 5. Змішувач з пропелерною мішалкою: 1 — дифузор; 2 — мішалка

Для таких змішувачів характерні висока насосна дія і хороша циркуляція вмісту посудини при ефективному перемішуванні. Якщо потік рідини рухається паралельно осі валу пропелера, як циліндр з підставою у вигляді круга, описуваного гвинтом, то поверхня (F , м²), що «змитається», складе:

$$F = 0,8 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (13)$$

де 0,8 — коефіцієнт звуження струменя, що викликається лопатями пропелера; d — діаметр кола, описуваного крайньою точкою лопаті, м.



Між фактичною осьовою швидкістю V_0 (м/с) перемішуваної рідини, кроком гвинта S і частотою обертання n існує залежність:

$$V_0 = \frac{S n \cos^2 \alpha}{60}, \quad (14)$$

де S — крок гвинта, м; n — частота обертання, c^{-1} ; α — кут підйому гвинтової лінії, град.

Лопать пропелера можна уявити собі як частину гвинтової поверхні, а рідину уподібнити гайці, яка при кожному оберті гвинта повинна піднятися на висоту, рівну кроку S . Насправді рідина частково зісковзує назад, що враховує коефіцієнт $0,7...0,8$; при розрахунках приймають його середнє значення $K_{cp}=0,75$. Тому дійсна висота підйому рідини за один оборот гвинта дорівнює:

$$H_{ж} = K_{cp} S = 0,75 S. \quad (15)$$

Кут α підйому гвинтової лінії приймають рівним $35...45^\circ$. Частота обертання лопатей пропелерних мішалок коливається в значних межах ($6...18 c^{-1}$), зменшуючись із збільшенням діаметра. При перемішуванні в'язких рідин, що містять суспензії, а також створюючих піну, частота обертання пропелерних мішалок складає $2,5...8 c^{-1}$. Крок неоднаковий для різних перетинів лопаті. Проте є гвинти з постійним кроком. Крок (S , м) обчислюють виходячи з величини кута підйому гвинтової лінії і радіусу лопаті по формулі:

$$S = 2nR \operatorname{tg} \alpha = \pi d \operatorname{tg} \alpha. \quad (16)$$

В подібних пристроях швидкість руху рідини, що викликається обертанням гвинта, обумовлюється тільки осьовою складовою, тобто швидкістю просмоктування рідини через гвинт.

При кратності перемішування рідини (K в хв) осьова швидкість її просмоктування (V_0 , м/с) дорівнює:

$$V_0 = \frac{Kq}{60F_{OM} \gamma} = \frac{KV}{60F_{OM}}, \quad (17)$$

де q і V — відповідно маса і об'єм рідини, перемішуваної в одиницю часу, кг/хв і $m^3/хв$.

Кутова швидкість лопаті пропелерної мішалки (ω , рад/с) може бути визначена по формулі:

$$\omega = \frac{2nV_0}{S \cos^2 \alpha} = \frac{2V_0}{d \operatorname{tg} \alpha \cos^2 \alpha} = \frac{2V_0}{d \sin \alpha \cos \alpha}. \quad (18)$$

Потрібна потужність (N_n , кВт) приводу пропелерної мішалки визначається виразом:

$$N_n = \frac{K_{cp} \gamma F_{OM}}{10,2 \eta} S \cdot n \cdot \cos \alpha. \quad (19)$$

Звичайно приймають наступні співвідношення параметрів пропелерних мішалок [4]: діаметр мішалки $d = (0,25...0,33)D$; крок гвинта $S = (1...3)d$; висота лопаті над дном $h = (0,5...1,0)d$; висота заповнення апарату при установці однієї лопаті мішалки $H = (0,8...1,2)D$ і декількох лопатей мішалок $H = (1,0...5,0)D$; глибина занурення мішалки $(H-h) = (2,0...4,0)d$; відстань між двома пропелерами на валу $(1,0...5,0)d$; частота обертання $n = 7...40 c^{-1}$.

Планетарні мішалки застосовують для дуже густих рідин з динамічною в'язкістю до 200

$$\text{Па} \cdot \text{с} \left(\frac{\text{КГС} \cdot \text{С}}{\text{М}^2} \right).$$

Функціональна схема мішалки

планетарного типу представлена на рисунку 5. При обертанні вала 4 водило 2 захоплює за собою вал мішалки 6 і насаджений на ньому лопаті 7. Останні здійснюють складний рух, обертаючись навкруги осі вала 6 і разом з нею навколо водила. Кожна точка лопаті описує при цьому складну криву. Швидкість точки є дотичною до траєкторії її руху і безперервно міняється по напрямку і величині, завдяки чому в планетарних мішалках виникає інтенсивний турбулентний рух рідини.

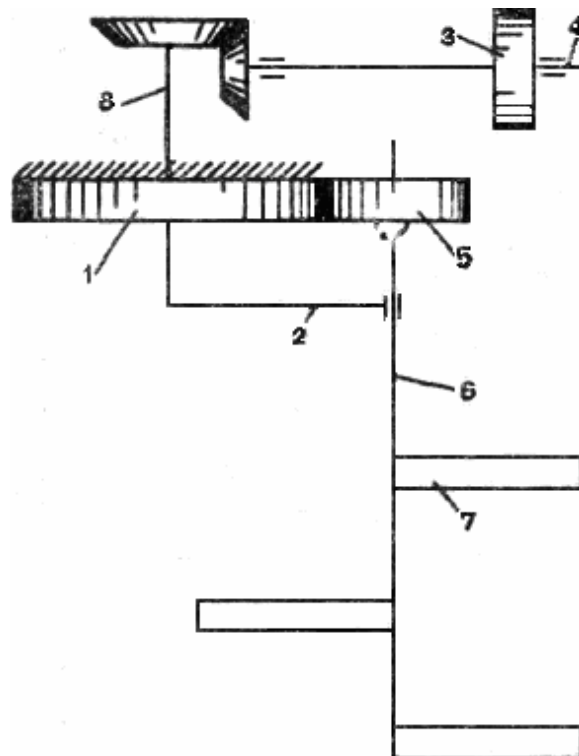
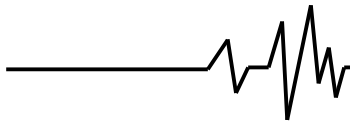


Рис. 6. Планетарна мішалка: 1, 3, 5 — шестерні; 2 — водило; 4 — вал; 6 — вал мішалки; 7 — лопаті; 8 — ведучий вал



Лопатеві мішалки відносяться до універсальних машин періодичної і безперервної дії. Мають одновальні і двовальні робочі органи.

Продуктивність лопатевих порційних змішувачів, як і гвинтових, визначають з урахуванням тривалості повного циклу змішування. Ці змішувачі дозволяють завантажувати їх місткості до $K_3 = 0,8$ вологими і $K_3 = 0,7$ напіввологими кормами.

Продуктивність горизонтального лопатевого змішувача безперервної дії (q , кг/с) визначається по формулі:

$$q = \frac{D^2 S \omega \gamma K_3}{8}, \quad (20)$$

де D — зовнішній діаметр лопаті, м; S — крок лопатей, м; ω — кутова швидкість, рад/с; γ — об'ємна маса корму, кг/м³; K_3 — коефіцієнт заповнення місткості ($K_3=0,3$).

Кутову швидкість лопатей знаходять, виходячи з посилки, що діюча на частинку

відцентрова сила $m\omega^2 R_{\text{л}}$ (тут $R_{\text{л}}$ — найбільший радіус обертання лопаті, м) не перевищує маси цієї частинки, інакше вона зійде з лопаті і усунеться з активного процесу перемішування. При $m\omega^2 R_{\text{л}} \leq mg$ критична (максимально допустима) кутова швидкість лопатей мішалки складе:

$$\omega_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{g}{R_{\text{л}}}}. \quad (21)$$

Необхідну потужність для приводу лопатевого змішувача визначають з урахуванням діючих на лопаті опорів.

Розглянемо схему сил (рис. 6), діючих в площині, перпендикулярній осі валу мішалки, коли лопать занурена в перемішуваний корм. Рівнодіюча R всіх опорів відхилює від нормалі N на кут φ тертя.

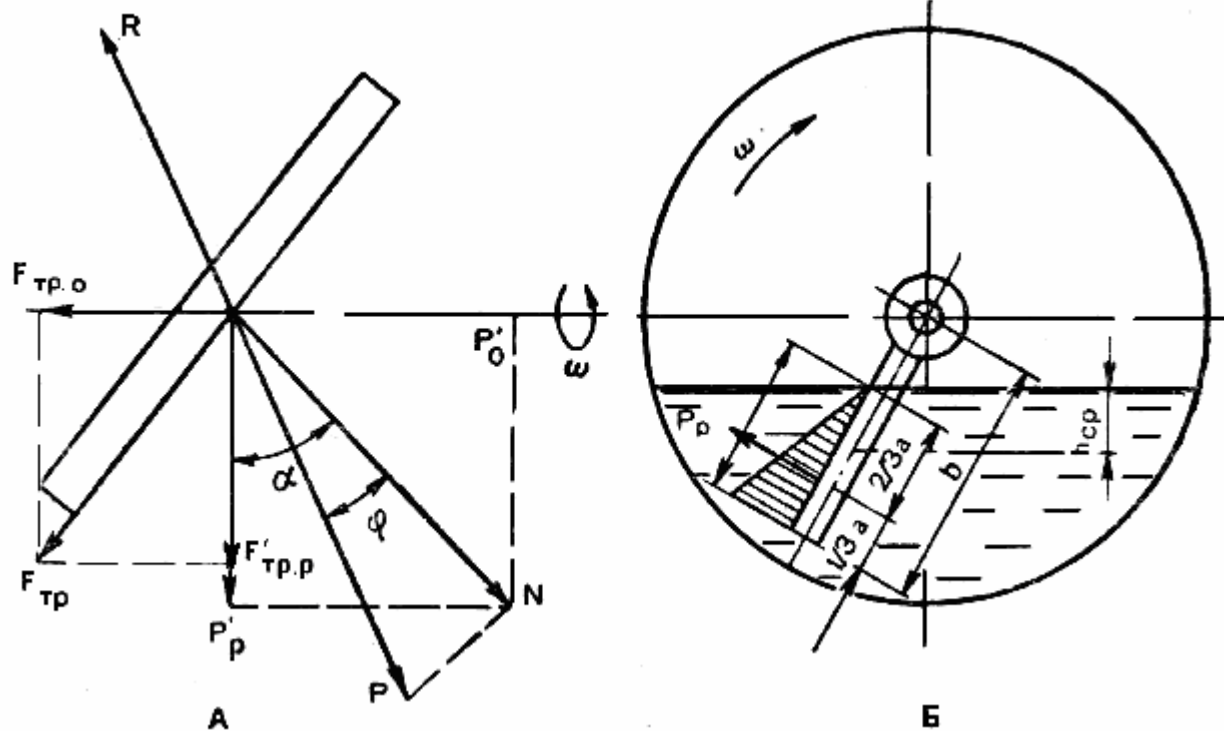
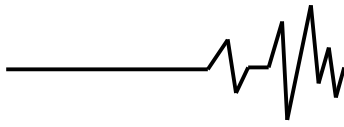


Рис. 7. Схема сил, діючих на лопать (А) і розрахункова схема (Б) лопатевого змішувача: a — довжина частини лопаті, зануреної в корм; b — загальна довжина лопаті

Для подолання цієї сили необхідно прикласти з боку лопатей рівне їй, але протилежно направлене зусилля P . Нормальну складову P_n цього зусилля розкладемо по напрямках окружної і осьової швидкостей, в результаті одержимо зусилля P_p , що передає

частинкам обертальний рух, і зусилля P_o , переміщуючи ці частинки в осьовому напрямі. При цьому $P'_p = P_n \cos \alpha$ і $P'_o = P_n \sin \alpha$ (тут α — кут нахилу лопаті до осі обертання валу мішалки, град).



Крім того, під дією нормальної складової сили R в площині руху частинок по лопаті виникає сила тертя $F_{тр} = fP_n$, направлена проти відносного руху частинок по лопаті. Розкладемо силу тертя $F_{тр}$ на оточуючу і осьову складові:

$$F'_{тр,p} = F_{тр} \sin \alpha = fP_n \sin \alpha \quad (22)$$

$$F'_{тр,o} = F_{тр} \cos \alpha = fP_n \cos \alpha. \quad (23)$$

Підсумовуючи одержані вектори по напрямках, отримаємо значення окружного зусилля:

$$P_p = P'_p + F'_{тр,p} = P_n (\cos \alpha + f \sin \alpha) \quad (24)$$

і осьового зусилля:

$$P_o = P'_o - F'_{тр,o} = P_n (\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (25)$$

При рухові зануреної в матеріал лопаті опори, уздовж неї розподіляються за законом трикутника (рис. 6, б) і точка додатку рівнодіючої R знаходиться в центрі тяжіння цього трикутника, тобто на відстані r_{cp} , рівному $2/3$ довжини лопаті від осі обертання. При незаповненій до норми місткості і обертанні лопаті глибина занурення останньої є величиною змінної. В цьому випадку нормальна складова P_n , H , сил опорів визначається по формулі:

$$P_n = 9,81 \eta_{cp} F_l t_g^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right), \quad (26)$$

де η_{cp} — середня глибина, дорівнює половині найбільшої глибини занурення лопаті, м; F_l — проекція площі лопаті, зануреної в матеріал, на направлені обертання, m^2 ; φ — кут внутрішнього тертя, град.

Поставлені під кутом лопаті змішувача діють подібно гвинту і передають масі, що перемішується, окружну (обертальну) V_p і осьову V_o швидкості.

Окружна швидкість: $V_p = \omega r_{cp}$ (тут r_{cp} — середній радіус, або відстань від осі обертання до точки додатку рівнодіючої сил опору).

Осьова швидкість: $V_o = V_p \cos \alpha \sin \alpha$ (тут α — кут нахилу лопаті до осі обертання валу мішалки, град.).

Необхідна потужність приводу лопатей (N_l , кВт) мішалки визначається виразом:

$$N_l = \frac{1}{100} (P_p V_p + P_o V_o) Z_l, \quad (27)$$

де Z_l — число одночасно занурюваних лопатей.

Висновки

1. Перемішування слід проводити регулярно. Нечасте перемішування сировини призведе до розшарування сировинної маси і утворення кірки, знижуючи тим самим ефективність газоутворення. Якісне перемішування сировина може дати на 50% більше біогазу.

2. Дуже часте перемішування може нашкодити процесам ферментації всередині реактора. До того ж, це може привести до вивантаження не повністю переробленої сировини. Ідеальним є обережне, але інтенсивне перемішування кожні 4-6 годин.

3. Для ефективного проходження технологічного процесу виділення біогазу необхідно в залежності від типу та об'єму субстрату в реакторі, а також технічних можливостей вибрати тип мішалки, та згідно викладеної методики розрахувати основні геометричні та силові параметри.

Література

1. Калетнік Г.М. Пришляк В.М. Біопалива: ефективність їх виробництва та споживання в АПК України. Навч. посібник. – К: Аграрна наука, 2010. – 327 с.
2. Семенов І.В. Проектирование биогазовых установок. – Суммы, 1994.
3. Коновалов С.В. Ткаченко С.И. Проектирование биогазовых энергетических установок // Будівництво України. – №4. – 2003. – С.37-39.
4. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова книга, 2004. – 288 с.