

УДК 621.313:621.365:663.033

DOI <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.35>

Рудь А. В.

*андидат технічних наук, доктор філософії в галузі технічних наук, професор,
завідувач кафедри агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: anatoliyrujd@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7206-7103*

Краснолуцький П. П.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: kraspp@ukr.net
ORCID: 0000-0003-2469-3190*

Грушецький С. М.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: g.sergiy.1969@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0487-6152*

Корчак М. М.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: korchak_nikolay@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8726-1881*

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОМЕХАНІЧНОЇ МІШАЛКИ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Анотація

Серед комплексу актуальних інженерних завдань під час розроблення малогабаритних біогазових установок, доступних для впровадження в умовах фермерських господарств і малих аграрних підприємств, важливе місце посідає створення надійних і порівняно дешевих систем перемішування маси, оскільки від цієї операції значною мірою залежить ефективність роботи установки у цілому. Мета даного дослідження – обґрунтувати принципову схему гідромеханічної мішалки комбінованої дії, сформулювати теоретичні положення та методику розрахунку її основних параметрів і визначити подальші етапи розроблення системи перемішування. Під час проектування системи перемішування субстрату ключовими етапами є такі: визначення типу мішалки з урахуванням в'язкості, густини фракційного складу субстрату; розрахунок розмірів елементів, необхідної швидкості обертання, потужності приводу з урахуванням геометрії метантенка; вибір матеріалів, стандартних деталей та серійних виробів, що відповідають хімічним властивостям субстрату та умовам експлуатації (наприклад, корозійностійкість). При цьому на всіх етапах слід враховувати вимоги забезпечення належної якості перемішування, надійності та доступності технічного обслуговування, дотримання ергономічних, екологічних і безпекових умов.

Для перемішування субстрату переважно застосовуються механічні мішалки різних типів, кожна з яких досить ефективно працює у певних діапазонах в'язкості субстрату, але спільною особливістю їх є те, що вони створюють локальні зони надмірної швидкості перемішування. Через це спільним недоліком механічних мішалок є недостатньо якісне перемішування маси по всьому об'єму реактора, а також проблематичність надійного і безпечного приводу. У Подільському державному університеті розроблено схему багатосекційної біогазової установки, у якій для перекачування маси між секціями передбачено застосування одного фекального насоса, який слугує також для приводу гідрореактивної мішалки. Установлено, що для забезпечення належної якості роботи мішалки потрібно доповнити її вертикальними змішувальними елементами (щитками), а розрахунок

проводити виходячи з технологічно припустимої швидкості перемішування. Для цього розроблено методику послідовного розрахунку необхідної колової швидкості лопаті (залежно від розмірів її дії та в'язкості субстрату), частоти обертання мішалки, зусилля та крутний момент для її приводу. На підставі цих даних далі проводяться гідравлічні розрахунки системи подачі субстрату: потрібної швидкості витікання струменю через сопла, розхід субстрату, діаметри каналів, загальну подачу, напір і потужність приводу фекального насоса. Таким чином, особливістю цієї методики є те, що вона поєднує механічні та гідравлічні розрахунки і може слугувати основою для розроблення алгоритму автоматизованого проектування біогазових установок.

Ключові слова: біогаз, реактор, мішалка, лопать, струмінь.

Вступ. Метанове зброджування гною або інших видів органічних відходів завдяки життєдіяльності метаноутворюючих бактерій дає змогу здійснити достатньо якісне знезараження маси, перетворити її на якісне органічне добриво і водночас отримати біогаз із досить високим умістом метану. Кількість та потужність біогазових установок (загальноприйнята абревіатура БГУ) впродовж останніх десятиліть стрімко зросли, і вони вже відіграють вагомий роль в енергобалансі багатьох країн. При цьому можна чітко виокремити дві тенденції. У Китаї, Індії, країнах Африки найбільш поширені примітивні малогабаритні установки з об'ємом метантенка (біореактора) $1 \text{ м}^3 \dots 10 \text{ м}^3$. У Європі та США пріоритет мають біогазові станції та біогазові заводи з крупними метантенками на $3000 \dots 5000 \text{ м}^3$ [2; 4]. В Україні нині переважає саме така тенденція. Для прикладу, біогазовий завод, збудований відомою фірмою Zorg-biogaz на замовлення ТОВ «Геофіпольська енергетична компанія», після уведення в роботу другої черги з 6 біореакторами на 22600 м^3 став одним із найбільш крупних об'єктів у Європі, виробляючи в середньому понад 107 тис м³ біогазу на добу. Однак упроваджувати біогазові комплекси таких розмірів по силах лише окремим крупним підприємствам, тому частка біогазу в загальному обсязі первинної енергії в Україні становить лише близько 3%, хоча потенціал генерації біометану становить щонайменше 7,8 млрд м³ на рік, або 25% від поточного споживання газу [4]. Цей потенціал можна було б використати більшою мірою, якби був ринок доступних за ціною малогабаритних установок, але такі установки не пропонуються ні зарубіжними, ні вітчизняними фірмами. Тому розроблення малогабаритних БГУ, доступних для використання в умовах фермерських господарств і малих аграрних підприємств, є актуальним.

Серед комплексу інженерних завдань у цьому аспекті важливе місце посідає створення надійних і порівняно дешевих систем перемішування маси, оскільки від цієї операції значною мірою залежить ефективність роботи установки у цілому [7; 9].

Мета роботи – обґрунтувати принципову схему гідромеханічної мішалки комбінованої дії, сформулювати теоретичні положення та методику розрахунку її основних параметрів і визначити подальші етапи розроблення системи перемішування. Об'єктом дослідження є процес метанового бродіння гною або інших відходів біомаси в агропромисловому виробництві. Предметом дослідження є технологічна операція перемішування субстрату в метантенку (біореакторі).

Виклад основного матеріалу дослідження. Важливими елементами біогазової технології є перемішування, яке потрібне для рівномірного розподілу концентрації речовин та бактерій у просторі реактора, вирівнювання теплового поля, руйнування поверхневої кірки, яка ускладнює перебіг бродіння. Тому всі дослідники і фахівці-практики одноставні у тому, що біогазова установка повинна обов'язково обладнуватися пристроями для перемішування, яке слід проводити регулярно, але з невеликою швидкістю зміщення шарів субстрату (на рівні 0,5 м/с), щоб не пошкодити бактеріальні плівки [9–12].

Інтенсифікації технологічних процесів шляхом перемішування субстрату присвячено праці А. Д. Гарькавого, П. С. Берника, Л. П. Середи, Р. Д. Ісковича-Лотоцького, Г. С. Ратушняка, І. Б. Матвеева та інших учених. У результаті сьогодні існує досить багато ефективних інженерних рішень біогазових установок із різноманітними пристроями для перемішування, розроблено відповідні методики їх розрахунку. Водночас практично всіма дослідниками зазначається, що універсального інженерного рішення не існує і в конкретних випадках слід шукати способи адаптації відомих конструкцій до специфічних умов використання.

Під час проектування системи перемішування субстрату ключовими етапами є такі завдання:

1. Визначення типу мішалки з урахуванням в'язкості, густини фракційного складу субстрату.
2. Розрахунок розмірів елементів, необхідної швидкості обертання, потужності приводу з урахуванням геометрії метантенка.
3. Вибір матеріалів, стандартних деталей та серійних виробів, що відповідають хімічним властивостям субстрату та умовам експлуатації (наприклад, корозійностійкість).

При цьому на всіх етапах слід враховувати вимоги забезпечення належної якості перемішування, надійності та доступності технічного обслуговування, дотримання ергономічних, екологічних і безпекових умов.

Перемішування переважно виконується механічними мішалками, барботажем (біогазом, який компресором продувається через субстрат) і перекачуванням сировини з верхньої зони в нижню. Найбільш поширеним є механічне перемішування. Робочими органами механічних мішалок є пропелери, лопаті різноманітних конфігурацій, шнеки. Кожний із цих типів мішалок оптимально працює у певних діапазонах в'язкості субстрату, але спільною особливістю їх є те, що вони створюють локальні зони надмірної швидкості перемішування.

Основним спільним недоліком різноманітних механічних мішалок є недостатньо якісне перемішування маси по всьому об'єму реактора [7; 8], а також проблематичність надійного і безпечного приводу [7; 12]. Цей

недолік можна частково усунути, якщо мішалка приводиться у дію від рухомого ковпака реактора, який може підніматися від тиску «подушки» біогазу [1]. Але тоді конструкція установки значно ускладнюється, і робота мішалки не регулюється, а спонтанно залежить від інтенсивності виділення біогазу.

Гідродинамічні мішалки складаються із системи трубопроводів та живильного насоса, який засмоктує масу з реактора і повертає її назад через форсунки. Утворений під час виходу з форсунки струмінь унаслідок дії сил в'язкого тертя спричинює рух усїєї маси субстрату. Ці мішалки порівняно з механічними мають на 30% меншу енергоємність і на 20% – металоємність, але не забезпечують належного перемішування глибинних шарів і повного руйнування поверхневої кірки [7; 8].

Ураховуючи вищезазначене, привертає увагу комбінація гідродинамічної і лопатевої мішалки, що працює за принципом колеса Сегнера. Така гідрореактивна мішалка являє собою вертикальний трубчастий стояк, установлений у реакторі, з можливістю обертання. До стояка під деяким кутом приєднано радіальні лопаті з тангенціальними соплами. Субстрат насосом подається до стояка і через лопаті та сопла викидається всередину реактора, створюючи реактивний обертальний момент. Проведені М. Павленко та Г. Голубом комплексні дослідження подібної мішалки у складі установки для виготовлення біодизеля підтвердили її високу ефективність [7]. Але ці дослідження проводилися з метою мінімізації питомих енергозатрат за забезпечення належної якості перемішування речовини з конкретними величинами густини та в'язкості. Між тим для процесу метанового зброджування надзвичайно важливим параметром, насамперед, є максимально припустима швидкість перемішування, якою вважається лінійна швидкість відносного зсуву прошарків субстрату близько 0,5 м/с, що на порядок менше від швидкості перемішування у відомих конструкціях гідрореактивних мішалок [7].

У Подільському державному університеті розроблено схему багатосекційної біогазової установки, у якій для перекачування маси між секціями передбачено застосування одного фекального насоса, який застосовується також для приводу гідрореактивної мішалки [5]. Проведені попередні пошукові дослідження показали, що для забезпечення належної якості роботи мішалки у складі метантенка потрібно доповнити її вертикальними змішувальними елементами (щитками), а розрахунок проводити виходячи з технологічно припустимої швидкості перемішування [6].

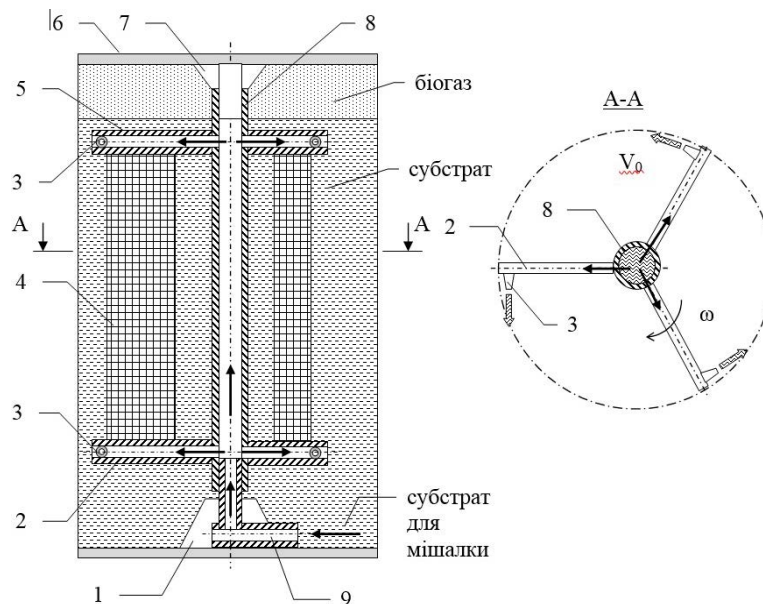


Рис. 1. Принципова схема мішалки: 1 – опора нижня; 2 – лопать радіальна нижнього ярусу; 3 – форсунка; 4 – щиток лопаті; 5 – лопать радіальна верхнього ярусу; 6 – кришка реактора; 7 – опора верхня; 8 – стояк; 9 – трубопровід подачі

Для того щоб частинки субстрату не прилипали до стінок метантенка, слід надати масі у пристінних зонах певну мінімальну швидкість V_{\min} , за якої рух матиме турбулентний характер. За законом Рейнольдса [3].

$$V_{\min} = \frac{Re \cdot \vartheta}{4R_r}, \quad (1)$$

де Re – число Рейнольдса, для забезпечення турбулентності воно повинно перевищувати критичне значення $Re_{кр} = 2320$;

ϑ – кінематична в'язкість субстрату, m^2/s ;

R_r – гідравлічний радіус умовного каналу, який співпадає із зоною дії мішалок, м.

$$R_r = \frac{S_c}{x}, \quad (2)$$

де S_c – площа однієї секції, м²;

x – змочений периметр по горизонтальному перерізу секції, м².

Із закону Ньютона для в'язкого тертя, урахувавши параболічну залежність зміни швидкості по поперечному перетину потоку за турбулентного руху, можна прийняти, що максимальна швидкість лопаті (м/с), за якої розпочнеться закручування усієї маси в секції:

$$V_{max} = V_{min} + \frac{\tau R_m^2}{\mu}. \quad (3)$$

Відповідно кутова швидкість і частота обертання становлять:

$$\omega = \frac{V_{max}}{R_m}; \quad n = \frac{\omega}{2\pi}; \quad (4)$$

Із теореми про зміну кількості руху:

$$m \cdot V_{max} = \Delta F \cdot \Delta t, \quad (5)$$

де ΔF – проекція на напрямку руху всіх діючих сил; можна припустити, що у даному разі ΔF є тільки силою опору; m – маса субстрату (кг) в об'ємі криволінійної призми з висотою секції h та перетином у формі сектора кола радіусом R_m і центральним кутом $\omega \Delta t$:

$$m = \frac{2\rho\pi R_m h}{360} \omega \Delta t \quad (6)$$

Після нескладних перетворень одержимо вирази для визначення сили опору, потрібного обертального моменту і теоретичної потужності приводу:

$$F = \frac{2\rho\pi R_m h}{360} \omega \quad (7)$$

$$M = F \cdot R_m, \quad (8)$$

$$N_m = M \cdot \omega \quad (9)$$

На наступному етапі проектування потрібно уточнити величини діючих сил на лопаті залежно від їх конкретної конструкції та орієнтації у просторі, для чого доцільно скористатися відомими методиками, інтегрованими у сучасні САПР (наприклад, FLOW VISION) [8].

Знаючи уточнені величини діючих сил і крутного моменту, слід провести гідравлічні розрахунки із визначення параметрів форсунок, трубопроводів і насосу для подачі субстрату. Основою методики цих розрахунків слугують класичні положення гідродинаміки з урахуванням особливостей обраної схеми гідравлічних ліній установки [3].

Фактично на мішалці є деяка кількість лопаток z , тоді зона їхньої дії матиме квадратний переріз h/z .

Сила, що прикладається до 1 лопатки, H :

$$F_i = \frac{F}{z} \quad (10)$$

Відомо, що сила струменя за витікання з насадки [4]:

$$F_H = 2 \cdot \rho \cdot S_n \cdot V_0^2 \cdot \epsilon \quad (11)$$

де ρ – густина речовини струменя, кг/м³;

V_0 – швидкість витікання струменя, м/с;

S_n – площа живого перерізу насадки, з конструктивних міркувань найменший діаметр $d_n=12$ мм, при цьому отвори насадок практично не будуть забиватися, тоді $S_n=1,1 \cdot 10^{-4}$ м².

За нормального розташування насадок $F_H=F_i$, і тоді необхідна швидкість витікання струменя, м/с:

$$V_0 = \sqrt{\frac{F}{2 \cdot \rho \cdot S_n}} \quad (12)$$

З іншого боку, швидкість витікання V_0 залежить від напору рідини перед насадкою H_n [4]:

$$V_0 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}, \quad (13)$$

де φ – коефіцієнт швидкості насадки, для конічних насадок із кутом сходження $\alpha=13^\circ$ значення $\varphi=0,96$,

Звідси, необхідний напір H_n (м):

$$H_n = \frac{V_0^2}{\varphi^2 \cdot 2 \cdot g} \quad (14)$$

Тоді розхід рідини через насадку, м³/с [10]:

$$q_n = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n}, \quad (15)$$

де μ – коефіцієнт витрати, $\mu=0,945$.

Розхід через мішалку повинен становити (м³/с):

$$q_M = z \cdot q_n \quad (16)$$

Розхід у всій системі за кількості мішалок Z_M :

$$Q = Z_M \cdot q_M \quad (17)$$

Діаметр стояка мішалки розраховується з тієї умови, щоб швидкість рідини в ній не перевищувала рекомендованого для стандартної водопровідної арматури $V=1,2 \dots 2,5$ м/с:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot q_M \cdot \mu}{\pi \cdot V}} \quad (18)$$

Аналогічно визначаємо діаметр магістралі:

$$d_M = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (19)$$

Утрати напору у системі розраховуємо, як під час розрахунку тупикового трубопроводу:

$$H_B = (A_1 \cdot l_1 \cdot Q^2 + A_2 \cdot l_2 \cdot q_M^2) \cdot K_M, \quad (20)$$

де l_1, l_2 – відповідно довжина магістралі і відгалуження, м;

K_M – коефіцієнт, що враховує місцеві втрати напору, $K_M=1,1$;

A_1, A_2 – питомий опір труб, с/м².

Напір, який повинен створювати насос у системі, м вод. ст.:

$$H = H_n + H_b \quad (21)$$

Потужність для приводу насоса [3]:

$$N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} \cdot K_{зан}, \quad (22)$$

де η_1 – ККД насосу;

η_2 – ККД приводу;

$K_{зан}$ – коефіцієнт запасу потужності, $K_{зан}=1,1$.

За заданих параметрів Q, H і N слід вибрати з каталогу відповідний фекальний насос і за необхідності уточнити його робочу точку за його графічною характеристикою та характеристикою трубопроводів.

Висновки. Біогазова установка повинна обов'язково обладнуватися пристроями для перемішування, яке слід проводити регулярно, але з невеликою швидкістю зміщення шарів субстрату (на рівні 0,5 м/с), щоб не пошкодити бактеріальні плівки. Практично всіма дослідниками зазначається, що універсального інженерного рішення не існує і в конкретних випадках слід шукати способи адаптації відомих конструкцій до специфічних умов використання.

Під час проектування системи перемішування субстрату ключовими етапами є такі завдання: визначення типу мішалки з урахуванням в'язкості, густини фракційного складу субстрату; розрахунок розмірів елементів, необхідної швидкості обертання, потужності приводу з урахуванням геометрії метантенка; вибір матеріалів, стандартних деталей та серійних виробів, що відповідають хімічним властивостям субстрату та умовам експлуатації (наприклад, корозійностійкість). При цьому на всіх етапах слід урахувувати вимоги забезпечення належної якості перемішування, надійності та доступності технічного обслуговування, дотримання ергономічних, екологічних і безпекових умов.

Проведений нами аналіз конструкцій мішалок з урахуванням означених вище етапів показав, що для перемішування субстрату, вологість і якість якого коливаються у широких межах, доцільно застосовувати гідромішалки із циркуляцією маси від фекального насоса через форсунки у простір реактора. Ці мішалки порівняно з механічними мають на 30% меншу енергоємність і на 20% – металоємність, але не забезпечують належного перемішування глибинних шарів і повного руйнування поверхневої кірки. Більш ефективною є комбінація гідродинамічної і лопатевої мішалок, що працює за принципом колеса Сегнера. Така гідрореактивна мішалка являє собою вертикальний трубчастий стояк, до якого під деяким кутом приєднано радіальні лопаті з тангенціальними соплами. Субстрат насосом подається до стояка і через лопаті та сопла викидається всередину реактора, створюючи реактивний обертальний момент. Однак подібні конструкції якісно перемішують масу лише за високої швидкості обертання, занадто надмірної для умов протікання бродіння.

Нами запропоновано для забезпечення належної якості роботи мішалки у складі метантенка доповнити її вертикальними змішувальними елементами (щитками) збільшених розмірів, а розрахунок проводити виходячи з технологічно припустимої швидкості перемішування. Для цього розроблено методику послідовного розрахунку потрібної колової швидкості лопаті (залежно від розмірів її дії та в'язкості субстрату), частоти обертання мішалки, зусилля та крутний момент для її приводу. На підставі цих даних далі проводяться гідравлічні розрахунки системи подачі субстрату: потрібної швидкості витікання струменю через сопла, розхід субстрату, діаметри каналів, загальну подачу, напір і потужність приводу фекального насоса. Таким чином, особливістю цієї методики є те, що вона поєднує механічні та гідравлічні розрахунки та може слугувати основою для розроблення алгоритму автоматизованого проектування біогазових установок.

Зауважимо, що запропонована конструкція усуває необхідність улаштування окремого електроприводу мішалок, і усувається загроза витоку газу через порушення ущільнення валів мішалок.

У подальшому необхідно більш детально дослідити безпосередній контакт лопаті із субстратом, щоб визначити раціональні параметри змішувальних елементів, а саме їх профіль та вид поверхні – суцільна, перфорована або решітчаста.

Список використаних джерел

1. Біореактор: Пат. 61816 Україна: С02F 11/04 (2006.01), С02F 3/28. №201101529; заявл. 10.02.2011; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. 4 с.
2. Виробництво та використання біометану в європейських країнах : звіт ЕВА 2024. URL: <https://saf.org.ua/news/2196/>
3. Гідравліка: навчально-методичний комплекс : навчальний посібник / В.І. Дуганець та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2013. 572 с.
4. Голуб Г., Гайденко О. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок. *Агробізнес сьогодні*. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8386-suchasni-tendentsii-rozvytku-biohazovykh-ustanovok.html> (дата звернення 08.09.2025).
5. Краснолуцький П. Обґрунтування гідравлічної схеми системи завантаження і розвантаження реактора біогазової установки. *Сучасні проблеми землеробської механіки* : зб. наук. праць XVIII міжн. наук. конф., м. Кам'янець-Подільський, 2017. С. 130–133.
6. Краснолуцький П.П. До питання організації пошукових експериментів на моделі мішалки біогазової установки. *Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., секція 5: Інженерія, енергетика та інформаційні технології в умовах війни та післявоєнній відбудові країни, м. Київ, 25 травня 2023 р. Київ, 2023. С. 299.
7. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок із відновлюваними джерелами енергії. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 201 с.
8. Проектування сільськогосподарських машин : навчальний посібник / за ред. І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. 640 с.
9. Сидоров Ю.І. Сучасні біогазові технології. *Biotechnologia Acta*. 2013. № 1. С. 46–61. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/biot_2013_6_1_6
10. Сподоба М.О. Електротепломеханічна система біогазового реактора для фермерських господарств : дис. ... д-ра філософії : 141. Київ, 2023. 361 с.
11. Zablodskiy M., Spodoba M. Mathematical Model of Thermal Processes During the Fermentation of Biomass in a Biogas Reactor. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. P. 227–231. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9250048/proceeding>
12. Zablodskiy M., Spodoba M. Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption when Heating the Substrate in a Biogas Reactor. *In 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. 2022. P. 101–104. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10005607/proceeding>

Rud A. V.

Candidate of Technical Sciences, Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Agricultural Engineering and System Engineering Names Mykhaila Samokisha, Higher educational institution "Podillia State University"

Kamianets-Podilskiy, Ukraine

E-mail: anatoliyrudj@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7206-7103

Krasnolutskiy P. P.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering and System Engineering
Names Mykhaila Samokisha,
Higher educational institution "Podillia State University"*

Kamianets-Podilskiy, Ukraine

E-mail: kraspp@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2469-3190

Hrushetskiy S. M.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering and System Engineering
Names Mykhaila Samokisha,
Higher educational institution "Podillia State University" Kamianets-Podilskiy, Ukraine*

E-mail: g.sergiy.1969@gmail.com

ORCID: 0000-0002-0487-6152

Korchak M. M.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering and System Engineering
Names Mykhaila Samokisha,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: korchak_nikolay@ukr.net
ORCID: 0000-0002-8726-1881*

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE HYDROMECHANICAL MIXER OF A BIOGAS PLANT

Abstract

Creation of reliable and relatively cheap mass mixing systems is an important project among the complex of current engineering tasks in the development of small-sized biogas plants, available for implementation at farms and small agricultural enterprises as the efficiency of the whole plant depends to a large extent on this operation. Therefore, the purpose of this study is to substantiate the schematic diagram of a combined-action hydromechanical mixer; to formulate theoretical provisions and a method for calculating of its main parameters, and to determine further stages of developing a mixing system. When designing a substrate mixing system, the key stages are as follows: determining the type of mixer taking into account the viscosity, density of the fractional composition of the substrate; calculating the dimensions of the elements, the required rotation speed, drive power taking into account the geometry of the methane tank; selecting materials, standard parts and serial products that correspond to the chemical properties of the substrate and operating conditions (for example, corrosion resistance). At the same time, at all stages, the requirements for ensuring proper mixing quality, reliability and accessibility of maintenance, compliance with ergonomic, environmental and safety conditions should be taken into account.

For mixing the substrate, mechanical mixers of various types are mainly used, each of which works quite effectively in certain ranges of substrate viscosity, but their common feature is that they create local zones of excessive mixing speed. Because of this, a common drawback of mechanical mixers is insufficient quality of mixing of the mass throughout the reactor volume, as well as the problematic nature of a reliable and safe drive. Podillia State University has developed a scheme for a multi-section biogas plant, where one fecal pump that also serves to drive the hydro jet mixer is used to pump the mass between sections. It has been established that to ensure proper quality of operation of the mixer it is necessary to supplement it with vertical mixing elements (shields), and the calculation should be carried out based on the technologically permissible mixing speed. For this purpose, a method has been developed for sequential calculation of the required circular speed of the blade (depending on the size of its operation and the viscosity of the substrate), the frequency of rotation of the mixer; the force and torque for its drive. Based on these data, hydraulic calculations of the substrate supply system are then carried out: the required flow rate through the nozzles, the substrate consumption, the diameters of the channels, the total flow, the pressure and the power of the fecal pump drive. Thus, the peculiarity of this method is that it combines mechanical and hydraulic calculations and can serve as the basis for developing an algorithm for automated design of biogas plants.

Key words: *biogas, biogas plant, reactor, substrate, mixer, Segner wheel, blade, jet, flow rate, calculation method.*

References

1. Klius, V.P., Klius, S.V., Dovzhenko, D.S., Chetveryk, H.O. (2011). Pat. No 61816 UA. Bioreaktor. MKP C02F 11/04 (2006.01), C02F 3/28. No 201101529; declared: 10.02.2011; published: 25.07.2011, Bul. No 14. 4 p. [in Ukrainian].
2. Vyrobnystvo ta vykorystannia biometanu v Yevropeyskykh krainakh: zvit EBA (2024). [Biomethane production and use in European countries: EBA report]. URL: <https://saf.org.ua/news/2196/> [in Ukrainian].
3. Duhanets, V.I., et. al. (2013). Hidravlika: nachalno-metodychnyi kompleks. Navchalnyi posibnyk [Hydraulics: educational and methodological complex. Textbook]. Kamianets-Podilskyi: FOP Sysyn O.V., 572 p. [in Ukrainian].
4. Holub, H., Haidenko, O. (2025). Suchasni tendentsii rozvytku biohazovykh ustanovok. [Current trends in the development of biogas plants]. Ahrobiznes sohodni: veb-sait – *Agribusiness Today*: website. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8386-suchasni-tendentsii-rozvytku-biohazovykh-ustanovok.html>. [in Ukrainian].
5. Krasnolutskyi, P. (2017). Obgruntuvannia hidravlichnoi skhemy systemy zavantazhennia i rozvantazhennia reaktora biohazovoi ustanovy. [Justification of the hydraulic scheme of the loading and unloading system of the biogas plant reactor]. *Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky: zb. nauk. prats XVIII mizhn. nauk. konf. – Modern problems of agricultural mechanics: collection of scientific papers of the 18th international scientific conference*. Kamianets-Podilskyi]. P. 130–133. [in Ukrainian].
6. Krasnolutskyi, P. (2023). Do pytannia orhanizatsii poshukovykh eksperymentiv na modeli mishalky biohazovoi ustanovy. [On the issue of organizing exploratory experiments on a model of a biogas plant mixer]. *Prodovolcha ta ekolohichna bezpeka v umovakh viiny ta povoiennoi vidbudovy: vyklyky dlia Ukrainy ta svitu: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf., sektiia 5: Inzheneriia, enerhetyka ta informatsiini tekhnolohii v umovakh viiny ta pislivoiennii vidbudovi krainy. Kyiv: 25 trav. 2023 – Food and environmental security in conditions of war and post-war reconstruction: challenges for Ukraine and the world: materials of the International Scientific and Practical Conference, section 5: Engineering, energy and information technologies in conditions of war and post-war reconstruction of the country, Kyiv, May 25, 2023*. Kyiv: NUBiP, 2023. P. 299–309. [in Ukrainian].
7. Kudria, S.O., Holovko, V.M. (2015). Osnovy konstruiuvannia enerhoustonovok z vidnovliuvanymy dzherelamy enerhii. [Fundamentals of designing renewable energy power plants]. Kyiv: NTUU KPI., 201 p. [in Ukrainian].
8. Bendera, I.M., Rud, A.V., Koziiia, Ya.V. (Ed) (2011). Proiektuvannia silskohospodarskykh mashyn. Navchalnyi posibnyk dlia vykonannia kursovykh proiektiv z rozrobky silskohospodarskoi tekhniki pry pidhotovtsi fakhivtsiv napriamu 6.100202 «Protsesty, mashyny ta obladnannia ahropromysloвого vyrobnystva. [Design of agricultural machinery. A textbook for the implementation of

course projects on the development of agricultural machinery in the training of specialists in the direction 6.100202 «Processes, machines and equipment of agro-industrial production». Kamianets-Podilskyi: FOP Sysyn O.V., 640 p. [in Ukrainian].

9. Sydorov Yu.I. (2013). Suchasni biohazovi tekhnolohii [Modern biogas technologies]. *Biotechnologia Acta*. 2013. № 1. P. 46–61. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/biot_2013_6_1_6 [in Ukrainian].

10. Spodoba, M.O. (2023). Elektroteplomekhanichna systema biohazovoho reaktora dlia fermerskykh hospodarstv: dys. d-ra filosofii : 141. [Electrothermal mechanical system of a biogas reactor for farms: PhD thesis: 141]. Kyiv, 361 p. [in Ukrainian].

11. Zablodskiy, M., Spodoba, M. (2020). Mathematical Model of Thermal Processes During the Fermentation of Biomass in a Biogas Reactor. [2020 *IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*]. P. 227–231. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9250048/proceeding> [in English].

12. Zablodskiy, M., Spodoba, M. (2022). Comparison of Theoretical and Experimental Data of Energy Consumption when Heating the Substrate in a Biogas Reactor. [In 2022 *IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*]. P. 101–104. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/10005607/proceeding> [in English].

Отримано: 25.09.2025

Рекомендовано: 23.10.2025

Опубліковано: 16.12.2025