

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ТРОХИМЧУК Михайло Вікторович

УДК 620.92

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Технічне обґрунтування виробництва біогазу в малих
аграрних підприємствах**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ М.В.Трохимчук

Керівник роботи
Кухарець С. М.
Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Трохимчук Михайло Вікторович. Технічне обґрунтування виробництва біогазу в малих аграрних підприємствах. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі встановлено, що малими біогазовими установками вважають такі, що мають об'єм до 300 м³, використовують процес ферментації чи метаногенезу при температурі від 36 град до 42 град за Цельсієм (мезофільний режим роботи). Для активного протікання процесу метаногенезу необхідно забезпечити кислотність не вище 6 рН, вологість субстрату при цьому становить більше 90 %. За добу завантажують та вивантажують (оновлюють) до 10 % субстрату Доза добового завантаження 10 %, тобто за 10 днів проходить повна циркуляція субстрату в біореакторі. Для перемішування сировини та протікання процесу метаногенезу пропонується в складі малої біогазової установки використовувати обертовий реактор, що розроблений науковцями Поліського національного університету та Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Мінімальні питомі витрати на перемішування субстрату на рівні 8,3 Вт/м³ спостерігаються при зануренні реактора у воду на 84% за висотою (діаметром) реактора та при заповненні його субстратом на 80%. Раціональні межі заповнення реактора субстратом лежать в межах від 78 до 90%, при меншому заповненні силу тяжіння переважає сила Архімеда, тим самим збільшуючи споживану потужність, а також не раціонально використовується реактор. При збільшенні рівня заповнення субстратом зростає сила тяжіння, вона перевищує силу Архімеда, навантаження на підшипники збільшується і, відповідно, також зростає необхідна потужність на обертання реактора.

Експериментально встановлено, що кутова швидкість 0,1 рад/с забезпечить рівномірне змішування та взаємопроникнення компонентів субстрату. При швидкості обертання менше 0,05 рад/с інтенсивність перемішування недостатня.

Ключові слова: реактор, метантенк, обертання, дослідна установка, субстрат

ANNOTATION

Trokhimchuk Mykhailo. Feasibility study for biogas production in small agricultural enterprises. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The paper found that small biogas plants are considered to have a volume of up to 300 m³, use the process of fermentation or methanogenesis at a temperature of 36 degrees to 42 degrees Celsius (mesophilic mode of operation). For the active process of methanogenesis it is necessary to ensure the acidity is not higher than 6 pH, the humidity of the substrate is more than 90%. Up to 10% of the substrate is loaded and unloaded (updated) per day. The daily loading dose is 10%, ie the complete circulation of the substrate in the bioreactor takes place in 10 days. To mix raw materials and the process of methanogenesis, it is proposed to use a rotating reactor developed by scientists of Polissya National University and the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine as part of a small biogas plant.

The minimum specific costs for mixing the substrate at the level of 8.3W/m³ are observed when the reactor is immersed in water by 84% in height (diameter) of the reactor and when filling the substrate by 80%. Rational limits of filling the reactor with substrate are in the range from 78 to 90%, with less filling the force of gravity prevails, the Archimedes force, thereby increasing the power consumption, and not rationally used reactor. As the level of filling with the substrate increases, the force of gravity increases, it exceeds the Archimedes force, the load on the bearings increases and, accordingly, also increases the required power to rotate the reactor.

It is experimentally established that the angular velocity of 0.1 rad / s will provide uniform mixing and interpenetration of the substrate components. When the speed is less than 0.05 rad / s, the mixing intensity is insufficient.

Key words: reactor, methane tank, rotation, experimental installation, substrate

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 5 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ В РОБОТІ МАЛОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ | 7 |
| Висновок до розділу 1 | 10 |
| РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ МАЛОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ..... | 11 |
| Висновок до розділу 2 | 18 |
| РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВОГО РЕАКТОРА | 19 |
| Висновок до розділу 3 | 24 |
| ВИСНОВКИ..... | 25 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 27 |

ВСТУП

Використання дизельного біогазу або біометану в аграрному виробництві дозволить знизити викиди вуглекислого газу в атмосферу, та може забезпечити тепловою та електричною енергією аграрні підприємства

Досвід експлуатації великих біогазових установок у Україні значний та свідчить про великі питомі капіталовкладення у таке виробництво. Тому біогазові установки не набувають поширення в малих аграрних підприємствах. Тому необхідне проводити обґрунтування процесу роботи та дослідження параметрів малих біогазових установок

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити рівень ефективності використання біогазу внаслідок обґрунтування процесу роботи та раціоналізації параметрів малих біогазових установок.

Згідно до мети магістерської роботи сформовано наступні задачі:

- виконати аналіз проблем в роботі малої біогазової установки;
- провести обґрунтування процесу роботи малої біогазової установки та розробити методику її дослідження;
- виконати експериментальні досліджень ефективності реактора малої біогазової установки.

Об'єкт дослідження: мала біогазова установка із обертовим реактором

Предмет дослідження: показники роботи обертового реактора малої біогазової установки.

Методи дослідження: Експериментальні дослідження проведено із застосуванням методів теорії імовірності, математичної статистики.

Практичне значення одержаних результатів. Дослідження направлені на вдосконалення виробництва біогазу в малих аграрних підприємствах. На основі проведених досліджень обґрунтовано процес роботи малої біогазової

установки та встановлено ефективність перемішування субстрату в реакторі такої установки.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота містить вступ, три розділи, висновки, список інформаційних джерел з 12 джерел. Загальний обсяг роботи становить 28 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 8 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ В РОБОТІ МАЛОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

Елементом безвідходного виробництва сільськогосподарської продукції є переробка і використання гною. Ведення інтенсивного аграрного виробництва викликає погіршення біологічних властивостей ґрунту і його деградацію. Тому, виникає необхідність у переробці гною великої рогатої худоби та свиней в повноцінні органічні добрива з використанням технологій біогазового зброджування і компостування. Використання отриманого біопалива дає змогу частково замінити покупні енергоресурси [1, 2].

Біогазові установки можуть бути використані для виробництва поновлюваної енергії та екологічно чистих органічних добрив. Вони забезпечують поліпшення санітарно-епідеміологічного стану довкілля. Можуть використовувати широкий різновид сировини [3].

Використання біогазових установок в сільському господарстві є актуальним. Для підвищення ефективності їх функціонування необхідна оптимізація технологічних процесів, обґрунтування і вибір раціональних параметрів машин та обладнання.

Розшарування біомаси субстрату значно знижує ефективність виділення біометану через із-за просторового розподілу метаноутворюючих мікроорганізмів та органічних речовин, якими вони живляться. Ефективна взаємодія анаеробних бактерій із біомасою забезпечується за рахунок перемішування субстрату. Проте, занадто інтенсивне перемішування може призвести до погіршення анаеробного зброджування [4, 5]. Компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу [6, 7, 8]. Проте, неможливо повністю усунути розшарування біомаси в реакторі на мінеральний осад та органічну плаваючу біомасу [6, 8].

Для підготовки біомаси до збродження використовується значна кількість прісної води. Для зменшення використання води необхідно розробити технології отримання субстрату необхідної густини, безпосередньо при видаленні гною із тваринницьких приміщень.

Ефективність виробництва біогазу залежить від характеристик біомаси (густина, вмісту сухої речовини, розміру частинок сухої речовини) та характеристик метантенка (інтенсивність перемішування, геометричні розміри, характер розміщення лопаток, мішалок й перегородок всередині метантенка [9, 10]. Ефективність залежить і від контролю роботи метантенка [2]. Для усунення розшарування біомаси можливе використання занурених обертових метантенків. [11]. Для підвищення ефективності виробництва біогазу в обертових реакторах необхідне зниження енерговитрат на перемішування субстрату. Потрібне дослідження ефективності роботи обертових метантенків.

В роботах [2, 12] пропонується (рис. 1) збір суміші гною і підстилки вздовж зони утримання тварин, поділ на гноївку і підстилковий гній, видалення їх з тваринницького приміщення. Гноївка використовується для анаеробного збродження з отриманням біогазу. Відпрацьований субстрат та підстилковий гній використовується для компостування. Отриманий компост, використовується як органічні добрива.

Розділення гною на гноївку і підстилковий гній виконується транспортером-розділювачем. Підготовка гноївки до метанового бродіння проводиться у підігрівачі. Далі проводиться анаеробне збродження гноївки. Процес переробки завершується компостуванням підстилкового гною та забродженої гноївки. Отриманий компост використовується в якості органічних добрив.

Для перемішування субстрату науковцями пропонується використовувати обертання реактора. Причому сам реактор має форму циліндра, який горизонтально розміщено на опорних підшипниках. Для зменшення

навантаження на підшипники, а відтак і енергетичних затрат на перемішування циліндричний реактор опускають у ванну, що заповнена водою. Виникає сила Архімеда, що і розвантажує реактор.

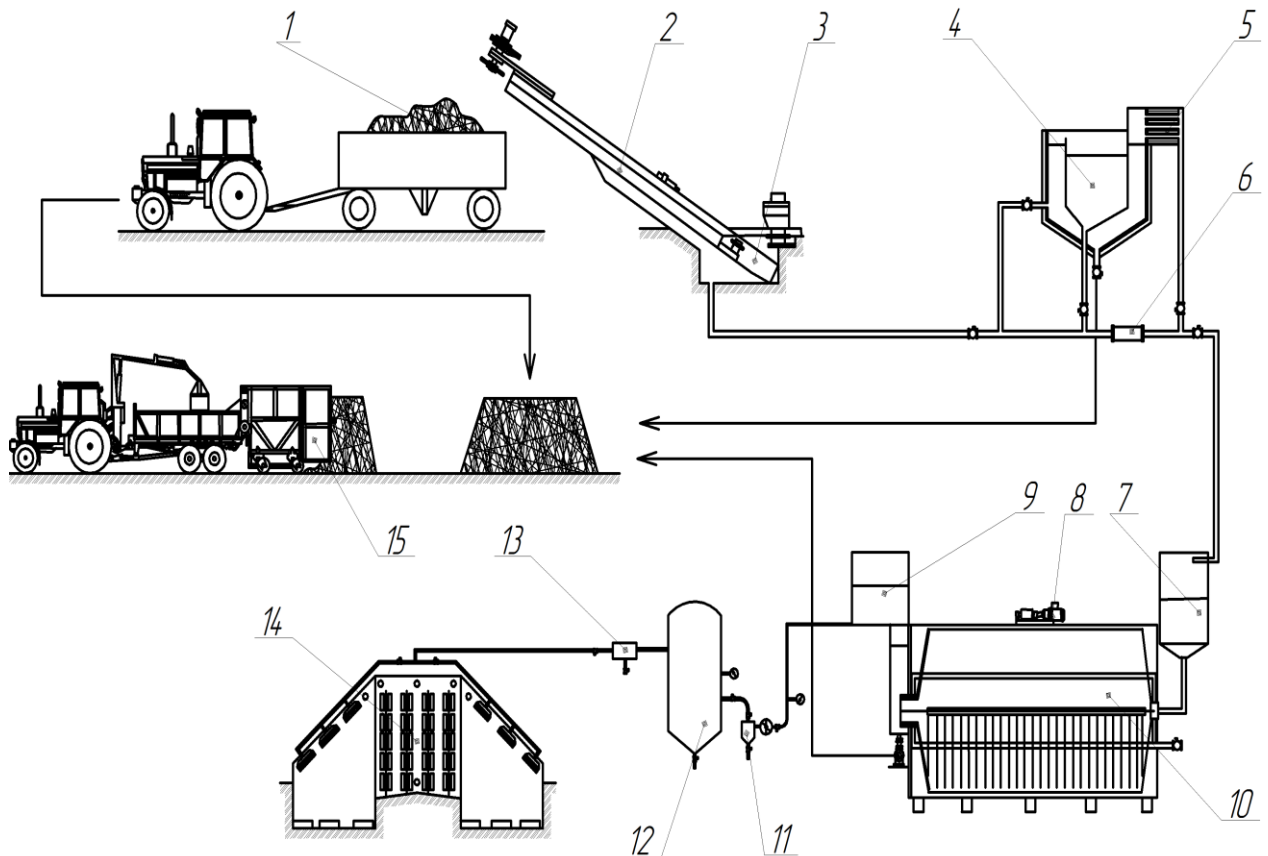


Рис. 1.1. Технологічна схема роботи малої біогазової установки [2, 12]

1 – відходи тваринництва - гній; 2 –роздільник твердої фракції та гноївки; 3 – збирач гноївки; 4 – нагрівач; 5, 7 – накопичувач теплової енергії; 6 – насосна станція; 8 – приводний двигун для обертання реактора; 9 – резервуар для внесення бактерій у субстрат; 10 – обертовий реактор; 11 – вологовідбійник; 12 – резервуар для газу; 13 – клапан; 14 – споживач теплової енергії; 15 – виробництво компосту

Обертובה конструкція реактора, також спрощує перемішування біомаси.

Висновок до розділу 1

Для малих агарних підприємств пропонується збір суміші гною і підстилки вздовж зони утримання тварин, поділ на гноївку і тверду фракцію в процесі видалення їх з тваринницького приміщення. Гноївка використовується для метаногенезу з отриманням біогазу. Відпрацьований субстрат та підстилковий гній використовується для виробництва копосту.

Доречним є використання обертових реакторів, але необхідно продовжити дослідження енергетичних витрат для такого реактора та визначити якість перемішування біомаси.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ МАЛОЇ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ТА МЕТОДИКА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Опишемо процес роботи малої біогазової установки. Малими біогазовими установками вважають такі, що мають об'єм до 300 м³, використовують процес ферментації чи метаногенезу при температурі від 36 град до 42 град за Цельсієм (мезофільний режим роботи). Для активного протікання процесу метаногенезу необхідно забезпечити кислотність не вище 6 рН, вологість субстрату при цьому становить більше 90 %. За добу завантажують та вивантажують (оновлюють) до 10 % субстрату. Доза добового завантаження 10 %, тобто за 10 днів проходить повна циркуляція субстрату в біореакторі. Схематично процес роботи такої установки показано на рис. 2.1

В процесі метаногенезу відбувається розклад біомаси на органічні кислоти, які потім розпадаються, під дією бактерій, на суміш газів – до 65% метану та 50% вуглекислого газу із домішками сірководню та водяної пари. Тому отриманий газ необхідно додатково очищувати.

Крім того, необхідно вважати, що бактерії мають вищу щільність ніж речовина яку вони розкладають, і тому вони занурюються на дно установки, а органічна маса концентрується у верхній частині субстрату. Тому необхідне перемішування.

Для перемішування сировини та протікання процесу метаногенезу пропонується в складі малої біогазової установки використовувати обертовий реактор, що розроблений науковцями Поліського національного університету та Національного університету біоресурсів і природокористування України (рис. 2.2) [10, 11].

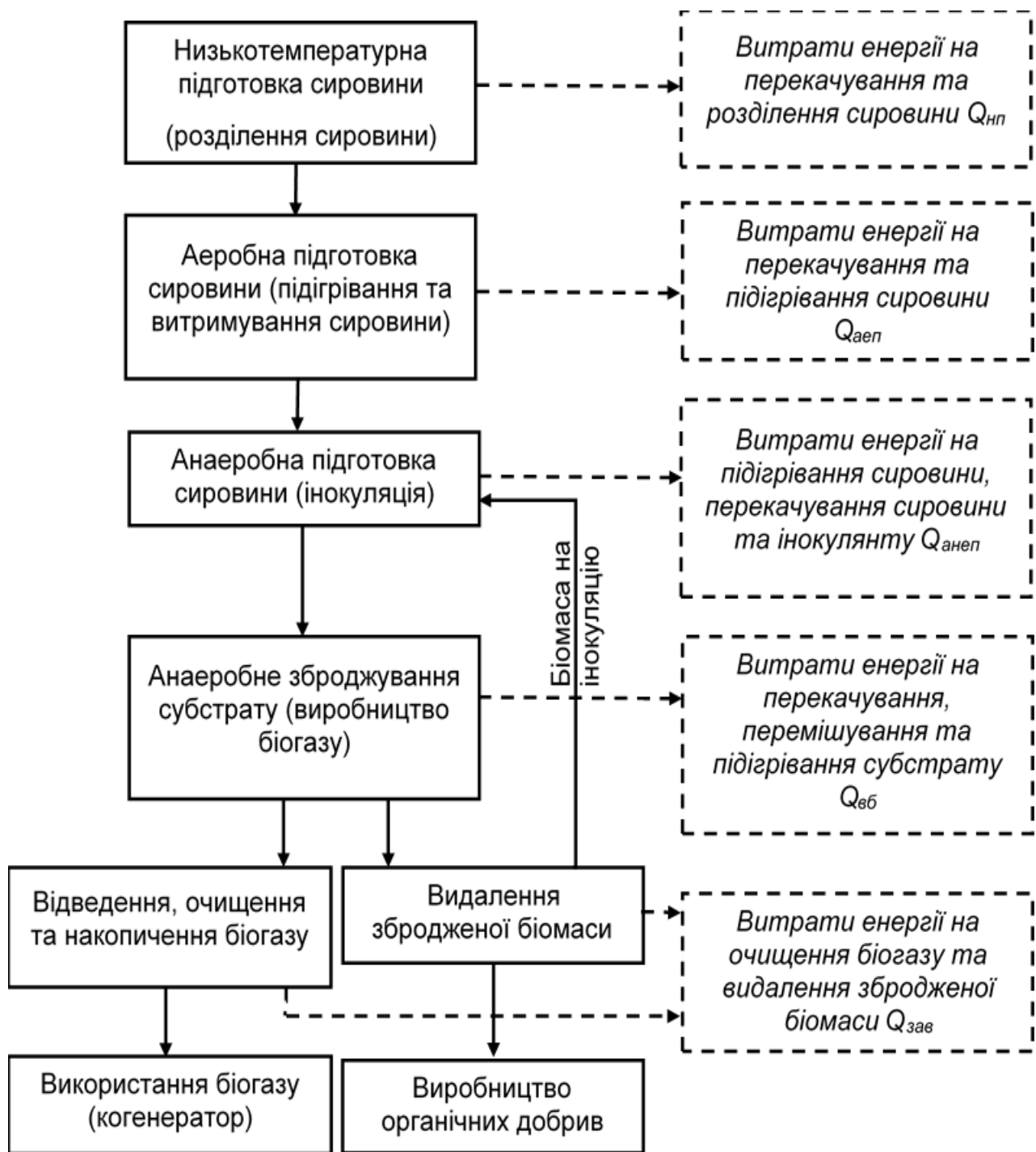


Рис. 2.1. Схема роботи малої біогазової установки [10, 11]

Процес роботи такого обортового реактора описано в розділі 1 даної роботи. Для перемішування субстрату науковцями пропонується

використовувати обертання реактора. Причому сам реактор має форму циліндра, який горизонтально розміщено на опорних підшипниках. Для зменшення навантаження на підшипники, а відтак і енергетичних затрат на перемішування циліндричний реактор опускають у ванну, що заповнена водою. Виникає сила Архімеда, що і компенсує силу тяжіння (рис 2.3).

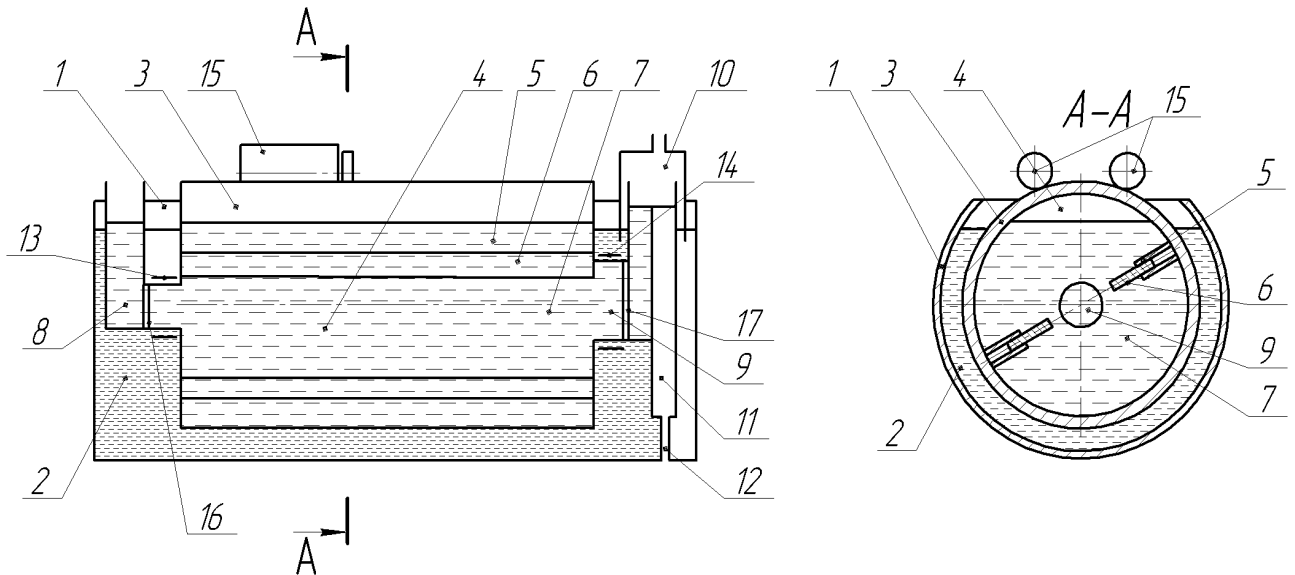


Рис. 2.2. Схема реактора малої біогазової установки

1 – ванна в яку занурюється центральний реактор; 2 – вода; 3 – горизонтальний обертовий реактор; 4 – робоча область реактора; 5 – пластини; 6 – додаткові пластини; 7 – субстрат; 8, 9, 12 – трубопроводи; 10 – мінігазгольдер; 11 – вивантаження відпрацьованого субстрату; 13, 14 – підшипники ковзання; 15 – електродвигун для обертання реактора; 16, 17 – ущільнюючі кільця [10, 11]

Необхідно враховувати, що сила тяжіння залежить від маси реактора, маси субстрату, що знаходиться в реакторі та маси газу, що знаходиться в реакторі. А сила Архімеда залежить від об'єму води, що виштовхує реактор, тобто вага води, що відповідає об'єму реактора і становитиме силу Архімеда. Для досягнення мінімального тертя в підшипниках, а відтак і мінімальних витрат на обертання

реактора необхідно щоб сила Архімеда дорівнювала силі тяжіння. Причому ці сили будуть залежати від рівня наповнення реактора субстратом та його глибини опускання у ванну із водою

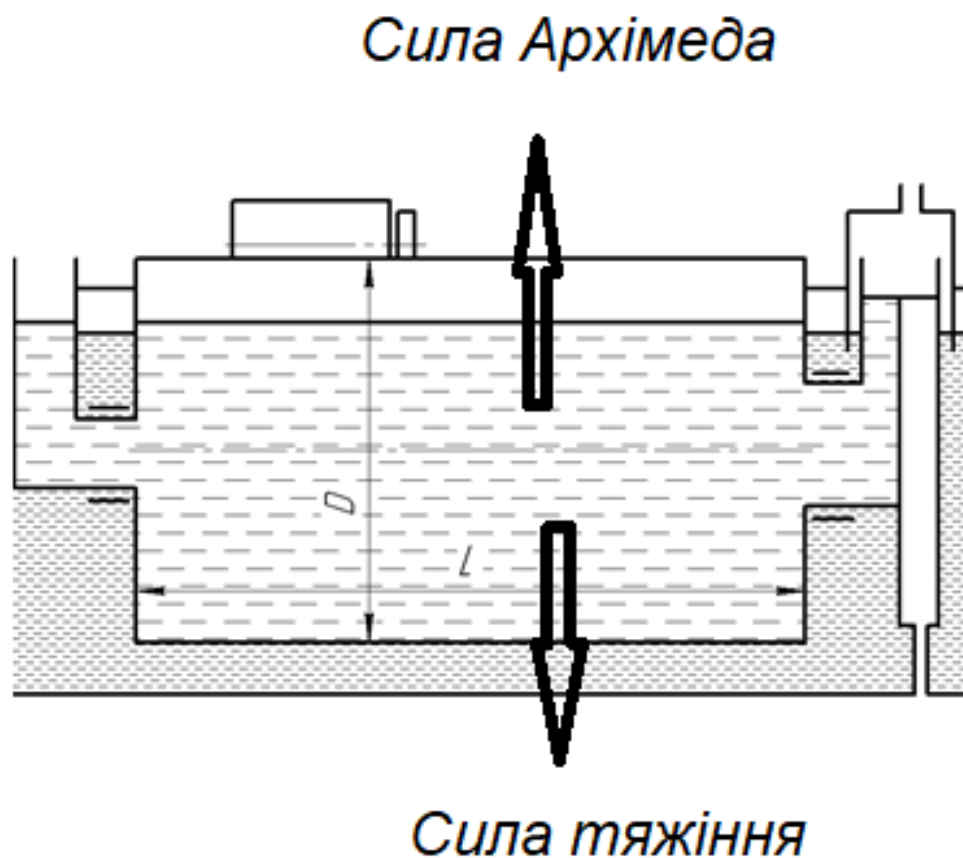


Рис. 2.3. Схема сил, що діють на реактор

Експериментальна установка що використовувалася для встановлення рівня наповнення реактора субстратом та його глибини опускання у ванну із водою містила (рис. 2.4) обертовий реактор – 1, ванну для занурення реактора (на рисунку не показано) , перетворювача частоти – 2, ноутбука – 3 та приладу для контролю споживаної потужності – 4.

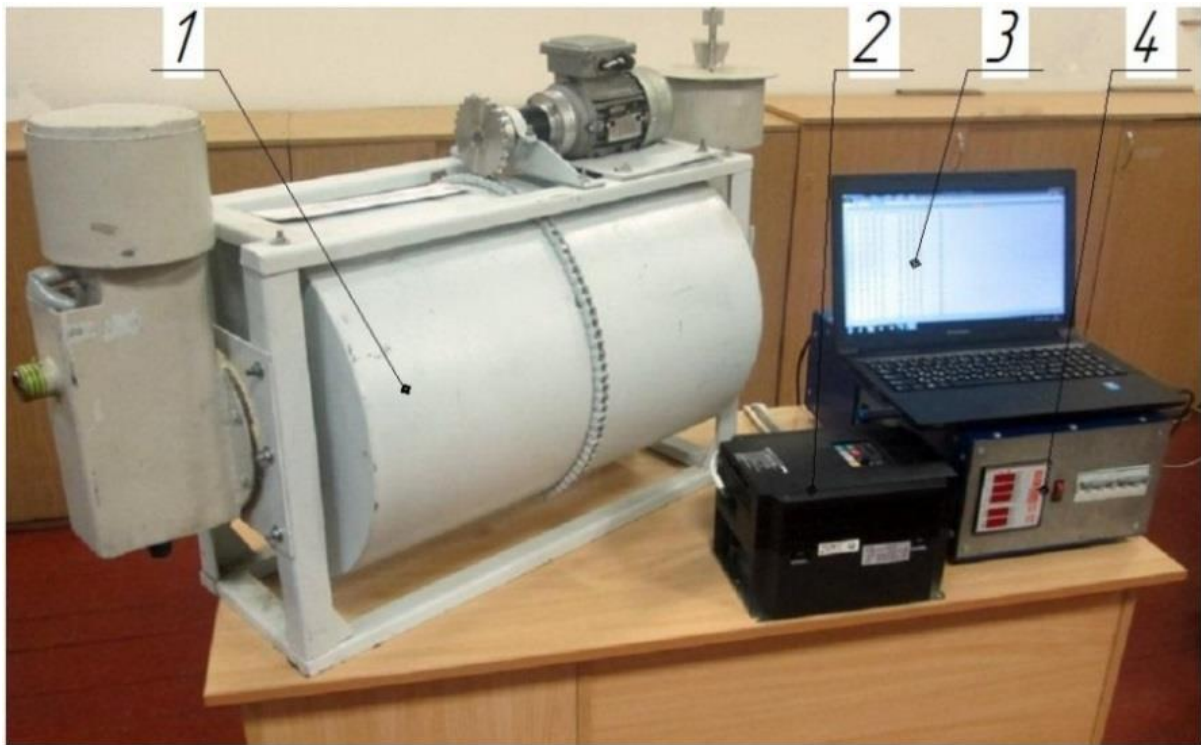


Рис. 2.3. Експериментальна установка: обертовий реактор – 1, перетворювач частоти – 2, ноутбук – 3, прилад для контролю споживаної потужності – 4



Рис. 2.4. Реактор поміщено у ванну із водою

Під час досліджень у ванну для занурення був встановлений реактор (із такими розмірами внутрішній діаметр 0,4 м, робоча довжина 0,6 м), який заповнювався біомасою на рівень від 0 до 100% об'єму. Занурення реактора імітувалося рівне заповнювання ванни від 0 до 100%. Вага реактора варіювалась від 110 до 1020 Н. Частоту обертання приводного двигуна регулювали за допомогою перетворювача частоти, що дозволило отримати діапазон кутових швидкостей реактора від 0,05 до 0,5 рад/с. Потужність, споживану приводним двигуном, визначали за допомогою цифрового лічильника потужності і реєстрували за допомогою спеціального програмного забезпечення на ноутбучі. Для обертання реактора використовувався асинхронний однофазний двигун номінальною потужністю 100 Вт.

Для дослідження ефективності перемішування було використано ще одну дослідну установку, що показана на рис. 2.5

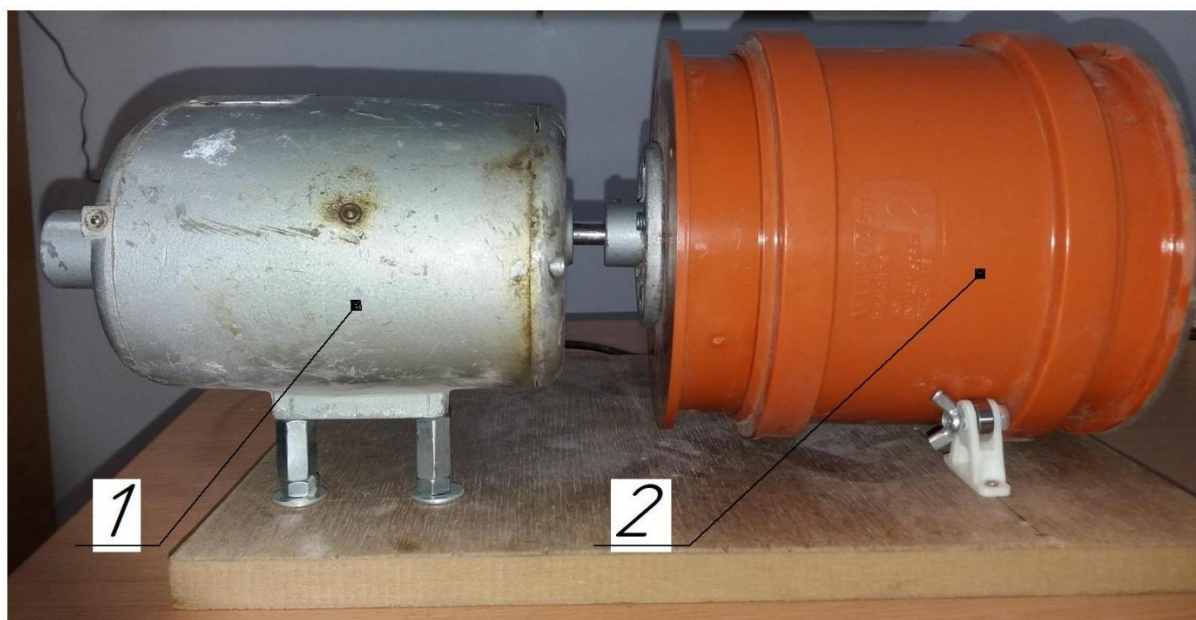


Рис. 2.5. Дослідна установка для визначення частоти обертання реактора на інтенсивність перемішування компонентів субстрату: 1 – електродвигун, 2 – реактор (корпус)

Корпус експериментальної установки виконаний у вигляді горизонтального циліндра, який обертається навколо горизонтальної осі. У середині корпусу є дві плоскі лопаті. Внутрішній радіус корпусу 0,2 м, довжина лопаті 0,15 м. Електропривод може змінювати частоту обертання установки.

Для цього дослідження були обрані компоненти субстрату, які забезпечують середню густину субстрату в діапазоні 1010...1040 кг/м³, щільність мінеральної частини субстрату в діапазоні 1150...1245 кг/м³ (імітувалася зернівками рису) і густину органічної частини субстрату в межах 800-900 кг/м³ (імітувалася опилками та чорним перцем в горошку). Вміст органічної частини субстрату становив близька 10% від усього обсягу субстрату, вміст мінеральної частини субстрату становив близько 5% від всього об'єму субстрату.

Висновок до розділу 2

Малими біогазовими установками вважають такі, що мають об'єм до 300 м³, використовують процес ферментації чи метаногенезу при температурі від 36 град до 42 град за Цельсієм (мезофільний режим роботи). Для активного протікання процесу метаногенезу необхідно забезпечити кислотність не вище 6 рН, вологість субстрату при цьому становить більше 90 %. За добу завантажують та вивантажують (оновлюють) до 10 % субстрату Доза добового завантаження 10 %, тобто за 10 днів проходить повна циркуляція субстрату в біореакторі. Для перемішування сировини та протікання процесу метаногенезу пропонується в складі малої біогазової установки використовувати обертовий реактор, що розроблений науковцями Поліського національного університету та Національного університету біоресурсів і природокористування України.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЕФЕКТИВНОСТІ ОБЕРТОВОГО РЕАКТОРА

Результати експериментальних досліджень рівня занурення реактора у воду та рівня заповнення реактора субстратом наведено на в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Значення питомих витрат потужності на перемішування субстрату
 Вт/м³

| Параметр | | Відсоток рівня води у ванній (умовний відсоток занурення метантенка) | | | | | | | | | | |
|---|----|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 92 | 94 | 96 | 98 | 100 |
| Відсоток заповнення реактора субстратом | 96 | 14,3 | 13,3 | 13,1 | 13,2 | 13,4 | 13,5 | 13,7 | 13,8 | 14,0 | 14,1 | 14,3 |
| | 94 | 13,1 | 12,4 | 12,2 | 12,4 | 13,0 | 13,3 | 13,7 | 14,1 | 14,5 | 14,1 | 14,3 |
| | 92 | 11,9 | 11,5 | 11,5 | 11,6 | 12,6 | 13,1 | 13,8 | 14,4 | 15,1 | 14,1 | 14,3 |
| | 90 | 10,7 | 10,6 | 10,5 | 10,8 | 12,2 | 12,9 | 13,8 | 14,7 | 15,6 | 14,1 | 14,3 |
| | 88 | 9,5 | 9,7 | 9,4 | 10,0 | 11,8 | 12,7 | 13,9 | 15,0 | 16,2 | 14,1 | 14,3 |
| | 86 | 8,3 | 8,8 | 8,3 | 9,2 | 11,4 | 12,5 | 13,9 | 15,3 | 16,7 | 14,1 | 14,3 |
| | 84 | 9,7 | 9,3 | 9,2 | 9,4 | 9,6 | 9,8 | 10 | 10,2 | 10,4 | 10,6 | 10,8 |
| | 82 | 11,1 | 9,8 | 10,7 | 10,8 | 10,9 | 11,0 | 11,1 | 11,2 | 11,3 | 11,4 | 11,5 |
| | 80 | 12,5 | 11,9 | 11,8 | 11,9 | 12 | 12,1 | 12,2 | 12,3 | 12,4 | 12,5 | 12,6 |

Значення наведені в таблиці можна представити у вигляді поверхні (рис 3.1)

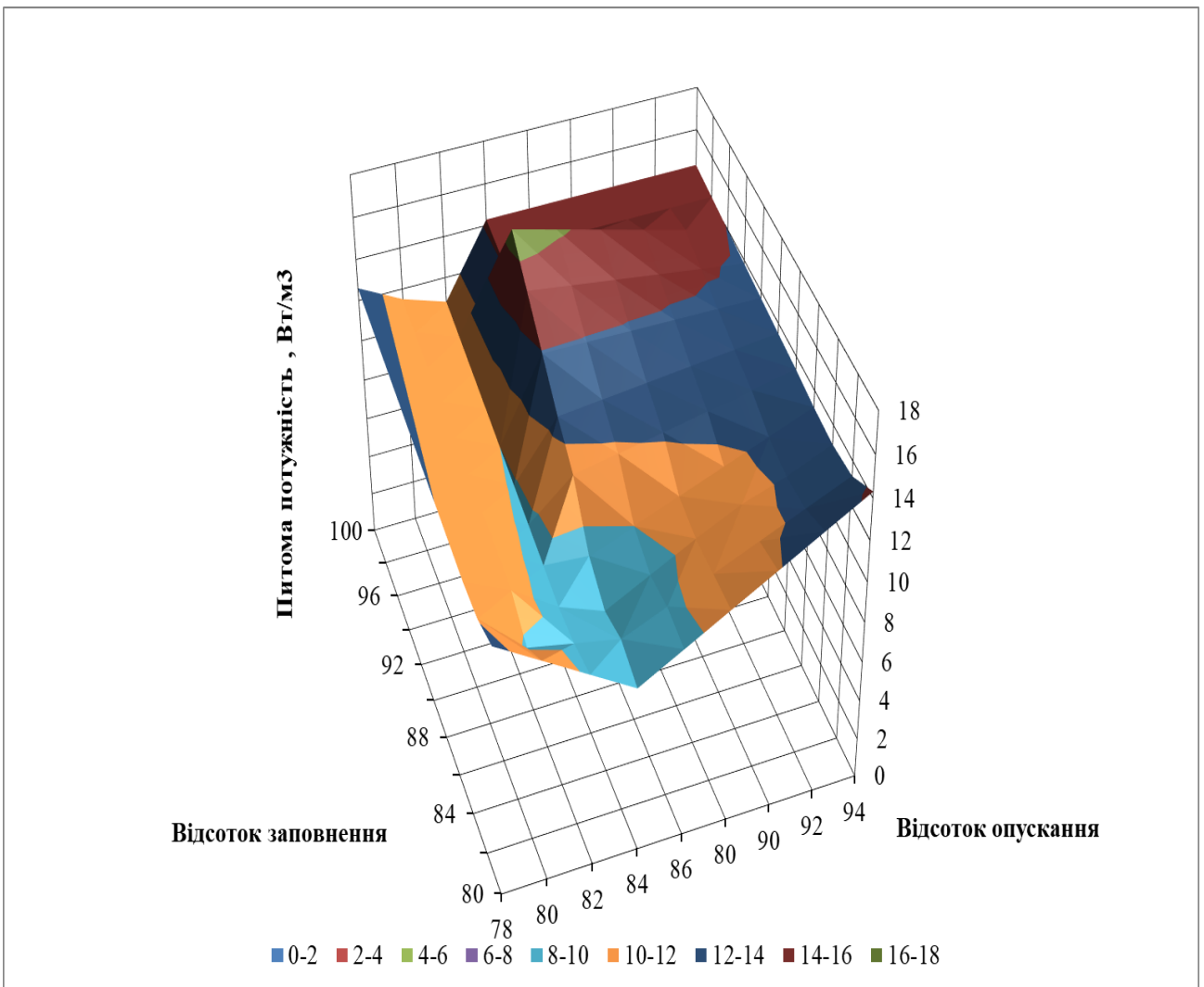


Рис. 3.1. Результати графічного відображення результатів експериментальних досліджень рівня занурення реактора у воду та рівня заповнення реактора субстратом на споживану питому потужність в процесі перемішування субстрату

Використовуючи регресійний аналіз даних таблиці 3.1. отримано рівняння залежності питомої потужності p (Вт/м^3) на перемішування субстрату від рівня занурення реактора у воду r_1 (%) та рівня заповнення реактора субстратом r_2 (%):

$$p = 805,5 - 1,588r_1 + 0,313r_2 + 0,0098r_1^2 - 0,0058r_1 r_2 + 0,00115r_2^2, \quad (3.1)$$

Аналіз рівняння 3.1. на екстремуми дозволив визначити, що мінімальні питомі витрати на перемішування субстрату на рівні $8,3 \text{ Вт/м}^3$ спостерігаються при зануренні реактора у воду на 84% за висотою (діаметром) реактора та при заповненні його субстратом на 80%.

Далі проведено уточнюючий експеримент, щодо зміни витрат споживаної потужності від заповнення ректора субстратом при рівні опускання у ванну на 84%.

Результати експерименту відображено на рис. 3.2.

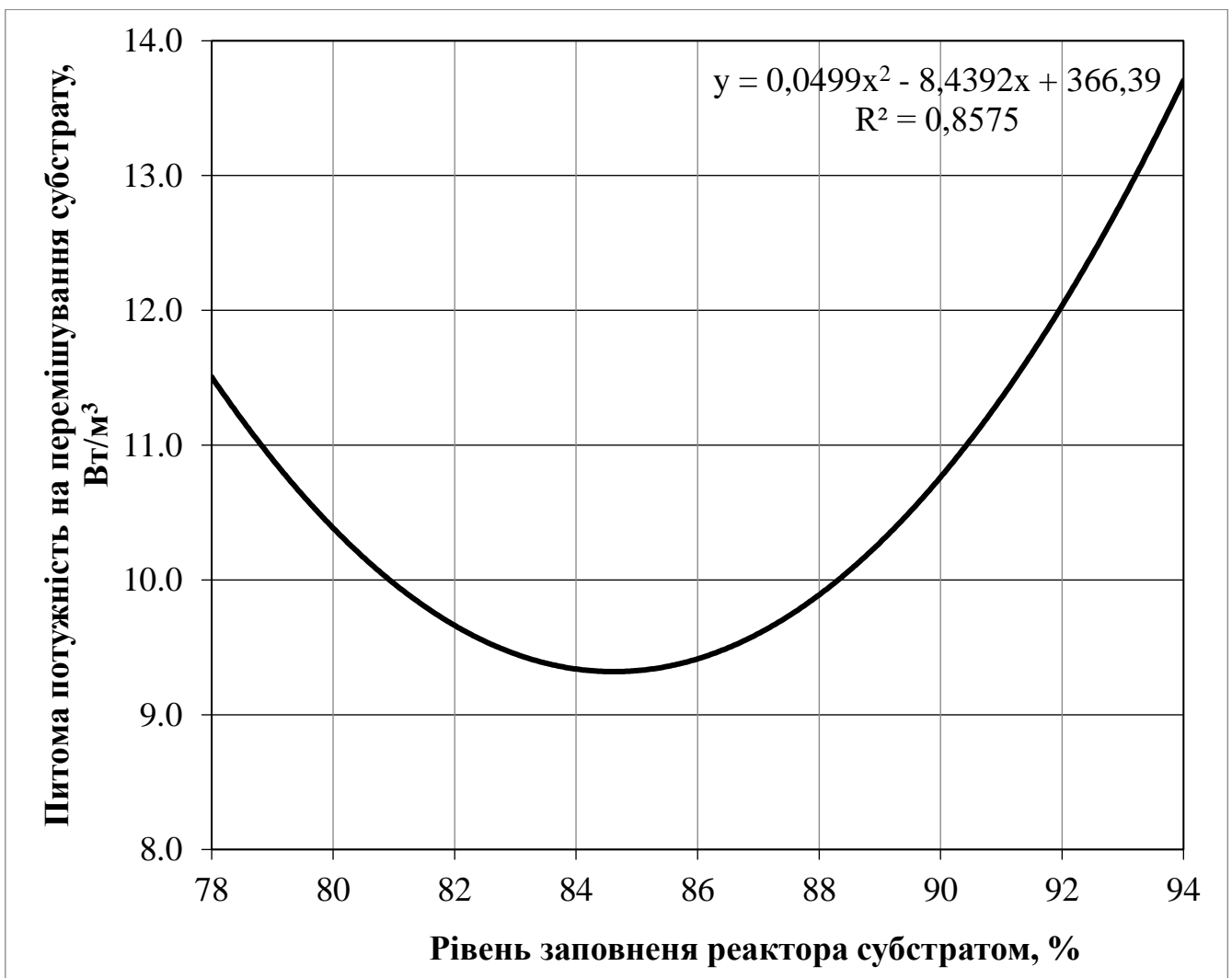


Рис. 3.2. Вплив рівня заповнення реактора субстратом на потужність перемішування

Аналіз графіка на рис. 3.2. дозволяє зробити висновок, що раціональні межі заповнення реактора субстратом лежать в межах від 78 до 90%, при меншому заповненні силу тяжіння переважає сила Архімеда, тим самим збільшуючи споживану потужність, а також не раціонально використовується реактор. При збільшенні рівня заповнення субстратом зростає сила тяжіння, вона перевищує силу Архімеда, навантаження на підшипники збільшується і, відповідно, зростає необхідна потужність на обертання реактора.

Для підтвердження ефективності перемішування компонентів субстрату було проведено візуалізацію на різних кутових швидкостях обертання реактора.

Для цього кутова швидкість обертання реактора змінювалася від 0,03 до 0,11 рад/с. На кожному етапі робилося фото внутрішньої частини реактора та візуально оцінювалася інтенсивність та достатність перемішування компонентів субстрату (рис. 3.3 та рис. 3.4).

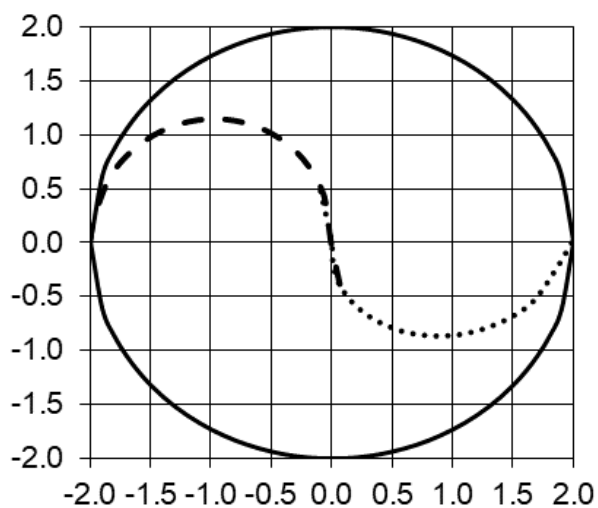
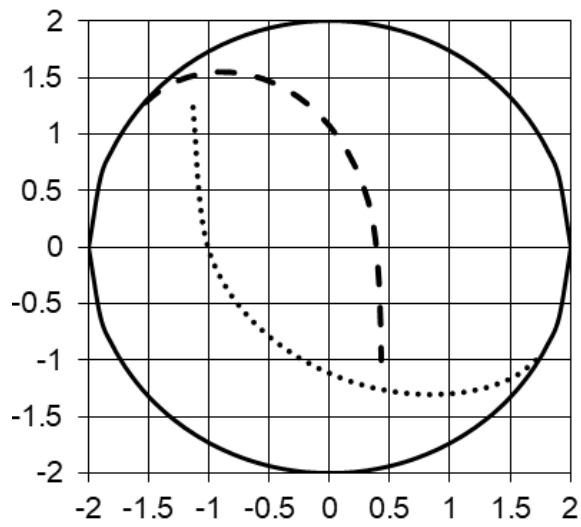


Рис. 3.3. Візуалізація інтенсивності перемішування субстрату при кутовій швидкості обертання реактора 0,05 рад/с (інтенсивність недостатня)



a)



b)

Рис. 3.4. Візуалізація інтенсивності перемішування субстрату при кутовій швидкості обертання реактора 0,1 рад/с (інтенсивність достатня)

Експериментально встановлено, що кутова швидкість 0,1 рад/с забезпечить рівномірне змішування та взаємопроникнення компонентів субстрату. При швидкості обертання менше 0,05 рад/с інтенсивність перемішування недостатня.

Висновок до розділу 3

Мінімальні питомі витрати на перемішування субстрату на рівні $8,3 \text{ Вт/м}^3$ спостерігаються при зануренні реактора у воду на 84% за висотою (діаметром) реактора та при заповненні його субстратом на 80%. Раціональні межі заповнення реактора субстратом лежать в межах від 78 до 90%, при меншому заповненні силу тяжіння переважає сила Архімеда, тим самим збільшуючи споживану потужність, а також не раціонально використовується реактор. При збільшенні рівня заповнення субстратом зростає сила тяжіння, вона перевищує силу Архімеда, навантаження на підшипники збільшується і, відповідно, також зростає необхідна потужність на обертання реактора.

Експериментально встановлено, що кутова швидкість $0,1 \text{ рад/с}$ забезпечить рівномірне змішування та взаємопроникнення компонентів субстрату. При швидкості обертання менше $0,05 \text{ рад/с}$ інтенсивність перемішування недостатня.

ВИСНОВКИ

Для малих агарних підприємств пропонується збір суміші гною і підстилки вздовж зони утримання тварин, поділ на гноївку і тверду фракцію в процесі видалення їх з тваринницького приміщення. Гноївка використовується для проведення процесу метаногенезу з отриманням біогазу. Відпрацьований субстрат та підстилковий гній використовується для виробництва копосту.

Доречним є використання обертових реакторів, але необхідно продовжити дослідження енергетичних витрат для такого реактора та визначити якість перемішування біомаси.

Малими біогазовими установками вважають такі, що мають об'єм до 300 м³, використовують процес ферментації чи метаногенезу при температурі від 36 град до 42 град за Цельсієм (мезофільний режим роботи). Для активного протікання процесу метаногенезу необхідно забезпечити кислотність не вище 6 рН, вологість субстрату при цьому становить більше 90 %. За добу завантажують та вивантажують (оновлюють) до 10 % субстрату. Доза добового завантаження 10 %, тобто за 10 днів проходить повна циркуляція субстрату в біореакторі. Для перемішування сировини та протікання процесу метаногенезу пропонується в складі малої біогазової установки використовувати обертовий реактор, що розроблений науковцями Поліського національного університету та Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Мінімальні питомі витрати на перемішування субстрату на рівні 8,3 Вт/м³ спостерігаються при зануренні реактора у воду на 84% за висотою (діаметром) реактора та при заповненні його субстратом на 80%. Рациональні межі заповнення реактора субстратом лежать в межах від 78 до 90%, при меншому заповненні силу тяжіння переважає сила Архімеда, тим самим збільшуючи споживану потужність, а також не рационально використовується реактор. При збільшенні

рівня заповнення субстратом зростає сила тяжіння, вона перевищує силу Архімеда, навантаження на підшипники збільшується і, відповідно, також зростає необхідна потужність на обертання реактора.

Експериментально встановлено, що кутова швидкість 0,1 рад/с забезпечить рівномірне змішування та взаємопроникнення компонентів субстрату. При швидкості обертання менше 0,05 рад/с інтенсивність перемішування недостатня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альтернативна енергетика: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів / [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, І. П. Григорюк, В. М. Поліщук, Г. А. Голуб, В. С. Таргоня, С. В. Драгнєв, І. В. Свистунова, С. М. Кухарець]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с.
2. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems/ Golub G.A., Kukharets S.M., Yarosh Y.D., Kukharets V.V // INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 51, No.1. P. 93–100
3. <http://www.qclub.org.ua/wp-content/uploads>
4. Кухарець В.В., Кухарець С.М. Деякі аспекти диверсифікації виробничої діяльності органічного аграрного підприємства. Органічне виробництво і продовольча безпека: 2018 рік : матеріали V Міжн. наук.-практ. конф., 24–25 трав. 2018 р. Житомир : ЖНАЕУ, 2018. С. 52–55.)
5. Biogas Production / R. Borja, B. Rincón // Instituto de la Grasa (CSIC), Seville, Spain. - Reference Module in Life Science – 2017.
6. <http://uabio.org/img/files/news/pdf/development-of-biogas.pdf>
7. Кухарець С. Н. Производство биометана в сельском хозяйстве /С. Н. Кухарець // AgroOne. – 2016. №3 (5). – С.24–25.
8. Голуб Г. А. Газова автономія / Г. А. Голуб, С. М. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. - №3. – С. 181-182.
9. Кузьменко М. Фермерський біогаз / М. Кузьменко, Г. Голуб, С. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. - №7. – С. 70-71.
10. Biogas installations with rotational type of anaerobic digesters / G. Golub, S. Kukharets, O. Marus // International energy & engineering conference 2016, 13–14 October, 2016.Turkey, Gaziantep University, 2016. P. 670–673..

11. Пат. 110077 Україна, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Метантенк (Methane Tank) / Г. А Голуб ., С. М. Кухарець; заявник і патентовласник Нац. ун.-т. біоресурсів і природокристування України. – № а201409259; заявл. 19.08.2014; дата публікації 10.11.2015, Бюл. № 21.

12. Golub G., Kukharets S., Zavadska O., Marus O. Determination of the Rate of Organic Biomass Decomposition in Biogas Reactors with Periodic Loading. International Journal of Renewable Energy Research, Vol.9, No.4, 2019, pp. 1741-1750.