

УДК 631.333.92 : 631.22.018

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТУ В МЕТАНТЕНКАХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

О. Г. Скляр, Р. В. Скляр

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна.

Стаття з спеціальності: 162 – біотехнології та біоінженерія.

Кореспонденція авторів: radmila.skliar@tsatu.edu.ua.

Історія статті: отримано – серпень 2019, акцептовано – листопад 2019.

Бібл. 10, рис. 5, табл. 2.

Анотація. В роботі проведено аналіз існуючих способів і засобів для перемішування субстрату в метантенках біогазових установок (БГУ). В останніх необхідно використовувати високоякісні мішалки, оскільки вони підтримують гомогенність субстрату, рівномірно розподіляють біомасу і теплоту та запобігають утворенню донних відкладень та плаваючого шару. Необхідні інтервали перемішування визначаються для кожної біогазової установки індивідуально шляхом проб. Після запуску перемішувати краще дещо частіше, ніж в звичайному режимі і уповільнювати після того, як вже можна розрізнити утворення плаваючої кірки. Бактерії зростають колоніями і утворюють грудки. Швидке перемішування їх розбиває і заважає бактеріям розвиватися, оптимальною є їх повільна робота. Тому, нами обгрунтовані галузі використання різних засобів перемішування в метантенках, переваги і недоліки в процесі їх роботи, особливості експлуатації і конструкції. Розглянуті вимоги, що пред'являються до механічних мішалок. Традиційна техніка для змішування, в першу чергу, високооборотні пропелерні заглиблені мішалки, були запозичені з техніки для роботи з гноем, яку пристосували для біогазової технології. Через зростання використання поновлюваної сировини, застосовуються субстрати з високим вмістом сухої речовини, які негативно впливають на текучі властивості субстратів, тому необхідно зменшувати кількість оборотів лопатей. Оскільки при цьому перемішування буде проходити не досить добре, то необхідно підвищувати діаметр лопатей мішалки або їх кількість. Гідравлічне перемішування має ту перевагу, що необхідні для перемішування механічні блоки розташовані за межами реактора і внаслідок цього знос їх незначний, а технічне обслуговування менш витратне. Використання гідравлічних та пневматичних систем обмежується лише субстратами невеликої в'язкості з незначною схильністю до утворення піни, плаваючою кіркою і осадовими нашаруваннями.

Ключові слова: біогазова установка, метантенк, мішалка, гній, субстрат, способи перемішування.

Постановка проблеми

Із зростанням цін на енергоносії збільшується інтерес до енергії з відновлюваних ресурсів [1, 2, 8]. Біогазові установки є однією з небагатьох технологій, які можуть працювати як на національному, так і на місцевому рівні. Щоб досягти економічної експлуатації, біогазова установка повинна бути надійною. Складність технології вимагає застосування високоякісних компонентів на всіх етапах, від планування і проектування до безперервної роботи.

Сировина в метантенку в процесі протікання реакції має тенденцію розділятися на фракції. На дні метантенку накопичується нерозчинний осад, більш легкі частинки, що захоплюються бульбашками газу, піднімаються наверх і утворюють кірку. Все це істотно уповільнює швидкість реакції. Для того, щоб реакція протікала рівномірно і ефективно, масу всередині реактора необхідно час від часу перемішувати. Також перемішування покращує рівномірність прогріву сировини. Але перемішування хімічно активної маси всередині герметичного реактора – складне завдання. Перемішуючі деталі повинні бути зроблені з корозійностійкого матеріалу. Привід перемішуючого пристрою повинен перебувати або всередині метантенку, або необхідно застосувати високоякісну перехідну муфту.

Аналіз останніх досліджень

За способом перемішування в метантенку біогазові установки підрозділяються на установки, в яких перемішування може здійснюватися з допомогою механічних засобів, гідравлічними системами та під тиском пневматичної системи.

Механічні мішалки ефективні при переробці важких субстратів з вмістом сухої речовини (СР) до 20% [1] або в саморобних біогенераторах малого об'єму з ручними мішалками. Велика частина перемішуючих пристроїв представляє собою горизонтально або вертикально встановлений вал, на якому закріплені лопаті або інші елементи з гвинтовою поверхнею, що забезпечують переміщення маси. Механічні мішалки забезпечують досить високу турбулентність біомаси у всіх

зонах реактора, але при цьому вимагають підвищених витрат електроенергії [3, 4].

В промислових біогазових установках великого обсягу переважно використовують гідравлічні перемішувачі пристрої. Подаючи струмінь рідини під тиском через сопло вдається досягти якісного перемішування у всіх зонах реактора. При цьому можна використовувати гідравлічні системи з нерухомим соплом і з рухомим, здатним переміщатися навколо осі біореактору [5, 6, 7].

Для перемішування рідких субстратів чудово себе зарекомендувала пневматична система перемішування газом, який під надлишковим тиском подається назад в реактор. Така система дозволяє при мінімальних витратах електроенергії забезпечувати рівномірне перемішування субстрату без використання механічних приводів. Газ може нагнітатися через дно, бічну стінку або купол. Сідиганов Ю. М., Шамшуров Д. М., Костромін Д. М. провели ряд робіт над тим, щоб підвищити якість перемішування, нагнітаючи в рідкий субстрат біогаз [1]. Єрмоловим М.А. було запропоновано використовувати для перемішування вилучений з біогазу діоксид вуглецю [1].

З усіх трьох способів найдешевшим і надійним для малих установок виходить [8, 9] застосування перемішувачого пристрою, що знаходиться всередині реактора. Спеціальні перехідні муфти не є стандартним виробом, тому застосування їх в малих і середніх біогазових установках доцільно при їх серійному випуску [10]. Для пневматичного перемішування потрібен якісний пожежо- і вибухобезпечний компресор, а для гідравлічного перемішування – потужний фекальний насос. Тому два останні способи доцільніше застосовувати у великих установках.

Мета досліджень

Мета досліджень полягає у проведенні аналізу сучасних способів і засобів для перемішування субстрату в метантенках біогазових установок, їх переваг і недоліків, особливостей експлуатації і конструкції.

Результати досліджень

Попереднє перемішування вихідного субстрату відбувається при завантаженні свіжого субстрату, з-за термічних конвекційних течій і спливання газових бульбашок. Але такого перемішування недостатньо, тому необхідно забезпечити додаткову активність у зброджуваному середовищі.

В метантенку необхідно використовувати високоякісні мішалки, оскільки вони підтримують гомогенність субстрату, рівномірно розподіляють біомасу і теплоту та запобігають утворенню донних відкладень та плаваючого шару.

Необхідні інтервали перемішування визначаються для кожної біогазової установки індивідуально шляхом проб. Після запуску перемішувати краще дещо частіше, ніж в звичайному режимі і зменшувати після того як вже можна розрізнити утворення плаваючої кірки. Бактерії ростуть колоніями і утворюють грудки.

Швидко перемішування їх розбиває і заважає бактеріям розвиватися, оптимальною є їх повільна робота.

Механічні мішалки. Використання механічних мішалок (рис. 1) залежить від в'язкості і вмісту твердих речовин в субстраті. Пропелерні мішалки. Результат перемішування в значній мірі визначається швидкістю та ефективністю потоку, створюваного в усьому обсязі резервуара. Величина цього потоку, в свою чергу, залежить від сили тяги. Факторами, що визначають споживання енергії при створенні сили тяги, є гідравлічна ефективність, швидкість обертання і діаметр пропелера.

У вертикальних реакторах, які працюють за принципом ємності з мішалкою, використовуються мішалки з заглибленим двигуном (рис. 2). Вони повністю заглиблені в субстрат, тому їх кожухи водонепроникні і стійкі до впливу корозії. Вони охолоджуються під впливом навколишнього середовища (таблиця 1).

Пропелер, в залежності від свого розташування, виробляє течію в горизонтальному або вертикальному напрямку. Зручним для запобігання утворенню плаваючих кірок і осаду є можливість змінювати висоту розташування мішалки.

В якості напрямної використовується прямокутна труба. Якщо мішалка не повинна повертатися навколо вертикальної осі, то для газонепроникної ізоляції буде досить труби, нижній кінець якої занурюється в гній і по якій проводять кабель і трос до мішалки. Вона буде надійно захищати проводку. Для мішалки, яка буде повертатися в різні боки, трос направляється роликками. Крім того, на рухомий опорі необхідно встановити заглиблену ємність, що наповнюється водою і ущільнює рухливу обсадну трубку і нерухомий штатив.

Слід також враховувати, що заглиблені двигуни можна використовувати при температурному режимі до 40 °С, оскільки в іншому випадку вони не будуть в достатній мірі охолоджуватися. Мішалки з заглибленими двигунами з прямим електроприводом працюють з високою кількістю оборотів до 1500 хв.⁻¹ і тому переважно придатні для резервуарів в яких бродить виключно один гній, або для роботи в дображувачах або лагунах, де вже відбулося суттєве розкладання сухої речовини. Якщо вони все-таки використовуються в метантенках з відповідним співвідношенням резервуар-діаметр і для яких застосовуються поновлювані джерела сировини, то найкраще встановлювати два пристрої, які монтуються в протилежних кінцях один проти одного. Крім того, з метою запобігання утворенню осаду можна встановити додатково ще третю мішалку.

Діаметр ротора дво- або трилопатевого мішалок залежить переважно від кількості оборотів і перебуває в межах 300...700 мм. Крім гвинтових заглиблених мішалок з електричним приводом, застосовуються також пропелерні мішалки з тяговим приводом.

Схожу функцію, як і пропелерні заглиблені мішалки (таблиця 1) виконують мішалки з подовжений валом (рис. 3, а), які вводять або через перекриття резервуара, або через стіну. В цьому випадку двигун знаходиться зовні і через подовжений вал приводить в рух пропелер. Ці мішалки на відміну від гвинтових заглиблених мішалок можуть працювати при температурі субстрату істотно вище 40 °С.



Рис. 1. Класифікація способів і засобів для перемішування субстрату в метантенку біогазової установки.

Fig. 1. Classification of methods and means for mixing the substrate in the methane tank of the biogas plant.

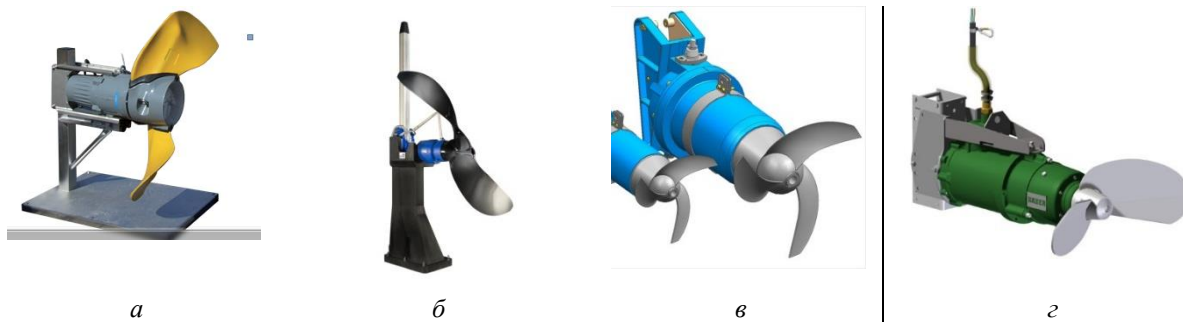


Рис. 2. Види мішалок з заглибленим двигуном: а) «бананова» Flygt; б) низькооборотна крупнолопатева Аmaprop, в) високооборотна Amamix, г) Bauer MSXH.

Fig. 2. Types of submersible mixers: a) "banana" Flygt; b) low-speed large-bladed Amaprop, c) high-speed Amamix, d) Bauer MSXH.

Для в'язких, що містять волокна субстратів слід звернути увагу на те, щоб мішалка могла повертатися не тільки в вертикальному, а й горизонтальному напрямку. Такі міксери можуть бути також оснащені ріжучими пристроями для подрібнення волокон. Для цього застосовують або пропелери з навареними зубцями (наплавлений валик) або спеціальні, серповидні ріжучі пристрої, що встановлюються додатково крім пропелерів на валу мішалки.

Ріжучі пристрої не тільки розпушують субстрат в ферментаторі, але також подрібнюють і розріджують твердий гній в резервуарі попереднього зберігання. Центральну мішалку (рис. 3, б) встановлюють зверху переважно в ферментаторах з об'ємом понад 1000 м³ і співвідношенням діаметр-висота близько 1: 1,2. Електромотор і коробка передач в цьому випадку розташовуються зовні. Залежно від геометричної форми резервуара і субстрату, на вісь встановлюють одну або більше лопатей. На відміну від названих вище ферментаторів, в яких перемішування відбувається переважно

в горизонтальному напрямку, такі мішалки повинні генерувати постійну течію в напрямку зверху в низ і біля стін вгору.

У горизонтальних ферментаторах з цистерн, незалежно від того, зроблені вони зі сталі (круглі) або з бетону (прямокутні), встановлюються механічні лопатеві мішалки (рис. 4, а). Типовим для цих низькооборотних мішалок є те, що вони охоплюють всю бродильну камеру, не створюють зайвих течій і переважно працюють в поперек до напрямку течії субстрату.

Субстрат протікає по трубі у вигляді пробки, без змішування свіжого субстрату з перебродженим матеріалом. Такий принцип «пробочної течії» має позитивні ефекти щодо гігієнізації і для біології процесу.

Окремі лопаті мішалки розташовані на центральному приводному валу і мають на своїх закінченнях невеликі лопатки. Оскільки при запуску мішалки, з осадом стикаються завжди лише деякі лопатки, але всі контактують з плаваючою кіркою, то не виникає ніяких великих піків обертаючих моментів.

Таблиця 1. Аналіз механічних мішалок в метантенках біогазових установок
Table 1. Analysis of mechanical stirrers in digesters of biogas plants

Мішалка із заглибленим двигуном	Мішалка з подовженим валом	Центральна мішалка	Лопатева мішалка
Придатність			
1) усі субстрати за технологією мокрого зброджування 2) не підходить для дуже високої вологості	усі субстрати за технологією мокрого зброджування, тільки в реакторах вертикального розташування	усі субстрати за технологією мокрого зброджування, тільки в реакторах вертикального розташування	усі субстрати за технологією мокрого зброджування (особливо для субстратів з великим вмістом СР)
Переваги			
1) утворює турбулентний потік, таким чином забезпечує добре перемішування в реакторі та видалення піни і осаду 2) завдяки дуже добрій рухомості можливе цілеспрямоване перемішування в усіх зонах реактора	1) можливо досягнути якісного перемішування в реакторі 2) практично ніяких рухомих частин у реакторі 3) привід за межами реактора, зручне технічне обслуговування 4) при безперервній експлуатації можливо запобігти осадженню та спливанню	1) можливо досягнути якісного перемішування в реакторі 2) практично ніяких рухомих частин у реакторі 3) привід за межами реактора, зручне технічне обслуговування 4) тонкі шари піни можуть засмоктуватися вниз 5) в істотному ступені запобігають безперервним процесам осадження та спливання	1) можливо досягнути якісного перемішування в реакторі 2) привід простий у технічному обслуговуванні за межами реактора, також можливе підключення валів з цапфою 3) запобігання процесам осадження та спливання
Недоліки			
<i>загальні:</i> 1) із-за напрямних шин багато рухомих частин у реакторі 2) для технічного обслуговування необхідно отвір у реакторі, але у більшості випадків випорожнення можливо запобігти (у випадку оснащення лебідкою) 3) із-за періодичного перемішування можливі процеси осадження і спливання <i>пропелер:</i> при збагачених СР субстратах можливо утворення каверн (мішалка обертається «у власному соку») <i>пропелер з великими лопатями:</i> положення мішалки повинно бути визначено перед введенням в експлуатацію	1) внаслідок стаціонарної установки можливе неповне перемішування 2) із-за цього можливе утворення осаду і піни 3) із-за періодичного перемішування можливі процеси осадження і спливання 4) якщо двигуни знаходяться за межами реактора, можливі проблеми із-за їх шумності 5) підшипники і вали, що знаходяться в реакторі, схильні до неполадок, іноді може знадобитися часткове або повне спорожнення реактора	1) внаслідок стаціонарної установки можливе неповне перемішування 2) із-за цього можливе утворення осаду і піни, в особливості до цього схильні зони по краям реактора 3) підшипник вала піддається великим навантаженням, тому може потребувати інтенсивного технічного обслуговування	1) для технічного обслуговування лопатей реактор потрібно спорожнити 2) при аваріях на реакторах зброджування твердих речовин необхідне ручне розвантаження усього реактора (іноді можливо використовувати розпушувач (додаткова мішалка) і відкачування насосами) 3) можливе не повне перемішування із-за стаціонарної установки, течія в реакторі повинна забезпечуватися за допомогою додаткових агрегатів (у реакторах горизонтального розташування у більшості випадків за допомогою живильних шнеків, у реакторах вертикального розташування за допомогою мішалок тягової дії)
Особливості експлуатації			
1) отвір для прямої труби у перекритті реактора не повинен пропускати біогаз 2) періодичне керування, наприклад, за допомогою реле часу або інше керування процесами 3) корпуси двигунів повинні бути повністю непроникними для рідини, іноді можливо рекомендувати систему автоматичного знаходження течії в корпусі двигуна 4) охолодження двигуна повинно забезпечуватися і при високих температурах у реакторі 5) можливий повільний пуск і регулювання швидкості обертання за допомогою перетворювачів частоти	1) отвори для осі мішалки повинні бути газонепроникними 2) періодичне керування, наприклад, за допомогою реле часу або інше керування процесами 3) можливий повільний пуск і регулювання швидкості обертання за допомогою перетворювачів частоти	1) отвори для осі мішалки повинні бути газонепроникними 2) можливе регулювання швидкості обертання за допомогою перетворювачів частоти	1) отвори для осі мішалки повинні бути газонепроникними 2) можливе регулювання швидкості обертання за допомогою перетворювачів частоти
Особливості конструкції			
6) заглиблені безредукторні або редукторні електродвигуни з пропелером 7) можливий діаметр пропелерів близько 2,0 м 8) матеріал: стійкий до впливу корозії, нержавіюча сталь або чавун із покриттям	1) розташовані за межами реактора електродвигуни з/без редуктора, вісь мішалки внутрішнього розташування з одним або декількома пропелерами або парами лопатей (за необхідністю з подрібнювачами) 2) частково кінець вісі, зафіксований на дні, виконано у плаваючій або поворотній формі 3) можливе підключення валів із цапфою	1) електродвигуни зовнішнього розташування з редуктором, вісь мішалки внутрішнього розташування з одним або декількома пропелерами і/або лопатями, в якості стоячих або підвішених мішалок 2) монтаж пропелерів можливо виконувати в напрямній трубі для утворення течії 3) можливе ексцентрикове розташування	електродвигуни зовнішнього розташування з редуктором, вісь мішалки внутрішнього розташування з декількома лопатями, наприклад, можливий монтаж труб-теплообмінників в якості додаткових агрегатів, що зміщують, на осі та/або в якості вузла з лопатями (на реакторах горизонтального розташування)

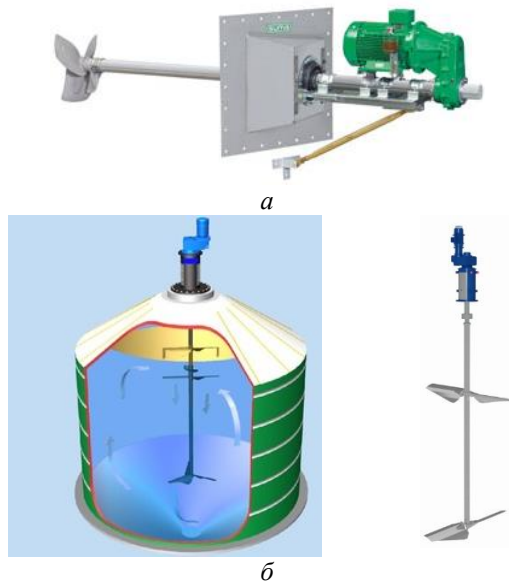


Рис. 3. Види мішалок: а) з подовженим валом Zörg; б) центральна Agimix.

Fig. 3. Types of stirrers: a) with an elongated Zörg shaft; b) central Agimix.

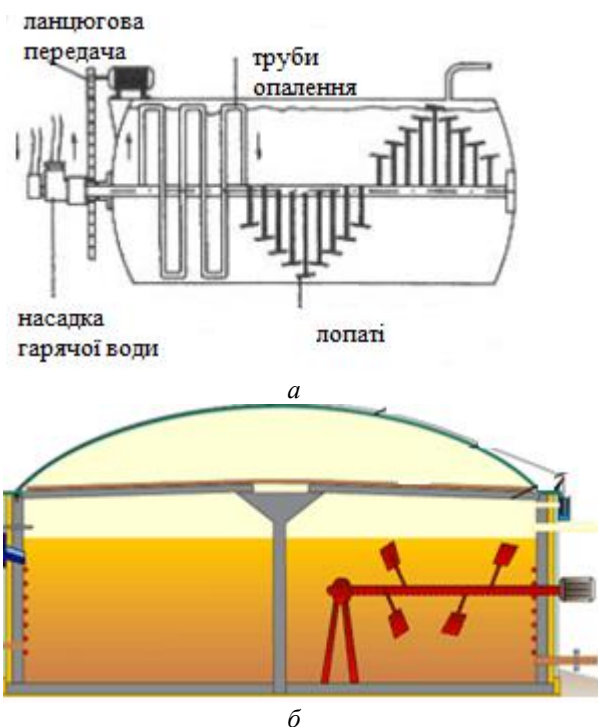


Рис. 4. Лопатеві мішалки в метантенках: а) горизонтальна витиска з трубами опалення; б) на штативі Zörg.

Fig. 4. Shovel mixers in methane tanks: a) horizontal outlet with heating pipes; b) on a Zörg tripod.

Вал, в залежності від довжини резервуара, повинен мати крім основного ще два-три кріплення. У таких випадках застосовують підшипники ковзання з твердої деревини або штучних матеріалів.

Привод валу, як правило, відбувається за допомогою розташованого зовні приводного двигуна. Для редукції кількості оборотів використовують ланцюгові

передачі або планетарні коробки передач. Якщо кількість оборотів становить 2...4 хв⁻¹, то необхідна приводна потужність для резервуара об'ємом 100 м³ становитиме лише 1...1,5 кВт.

Для нещодавно розроблених біогазових установок з проточною течією субстратів, все частіше, застосовують лопатеві мішалки з гідравлічним приводом, на яких змінювати кількість оборотів можна за допомогою гідравлічного приводу.

Залежно від складу субстрату і в залежності від схильності до утворення плаваючої кірки і осадових нашарувань, такі мішалки можуть працювати протягом доби 6...12 разів, тривалістю 5...10 хв.

За допомогою таких мішалок можна надійно перемішувати дуже важкі субстрати з вмістом СВ до 20%, а також з великою кількістю волокон.

Підігрів субстрату відбувається за допомогою обертючих змісподібних лопатей мішалки, всередині яких протікає гаряча вода.

Через їх надійну, потужну і енергозберігаючу роботу, на сьогоднішній день практично тільки цей тип застосовують для горизонтальних установок з цистернами.

У разі поломки, необхідно повністю звільнити ферментатор для демонтажу мішалки.

Лопатеві мішалки (низькооборотні), як правило, мають кількість оборотів менше 40 хв⁻¹ і розраховані на режим роботи в тривалих інтервалах. Лопаті мають розмах від 1 до 2 м, а іноді і більше

Загальна споживана потужність становить близько 0,1 кВт/м³ об'єму метантенку – якщо обсяг від 100 м³, то це порівняно небагато. Бродильний субстрат повинен постійно підтримуватися в гомогенному стані. Через це відпадає необхідність у додатковій продуктивності мішалки з руйнування розшарувань, що утворились.

У реакторах вертикального розташування вал мішалки розміщується горизонтально на сталевій конструкції. Напрямок валу змінити не можна (рис. 4, б).

Понад 80% метантенків мають форму вертикальних круглих метантенків. Для резервуарів такого типу вимоги, які пред'являються до мішалок найрізноманітніші: вони дуже змінилися внаслідок застосування енергетичних культур рослин. Принципово варто звернути увагу:

- традиційна техніка для змішування, в першу чергу високооборотні пропелерні заглиблені мішалки, були запозичені з техніки для роботи з гноєм, яку пристосували для біогазової технології;

- через зростання використання поновлюваної сировини, застосовуються субстрати з високим вмістом СВ;

- субстрати з високим вмістом СВ негативно впливають на текучі властивості субстратів. В такому разі необхідно зменшувати кількість оборотів лопатей;

- оскільки при зниженні кількості оборотів перемішування буде проходити не досить добре, то необхідно підвищувати діаметр лопатей мішалки або їх кількість (рис. 5).

Таблиця 2. Аналіз гідравлічних і пневматичних систем.
Table 2. Analysis of hydraulic and pneumatic systems.

Гідравлічні системи	Пневматичні системи
Придатність	
усі субстрати, що легко перекачуються при мокрому зброджуванні	дуже малов'язкі субстрати з незначним утворенням піни)
Переваги	
якісне перемішування в реакторі досягається заглибними центр обіжними насосами або напрямними трубами, що регулюються, завдяки цьому можливо і видалення осаду та піни	1) можливо досягнути якісного перемішування в реакторі 2) зручне для техобслуговування розташування газових компресорів за межами реактора 3) запобігають утворенню осаду
Недоліки	
1) із зовнішніми насосами без цілеспрямованого напрямку течії можливо утворення осаду та піни 2) із зовнішніми насосами без цілеспрямованого напрямку течії осад і піну видалити не можливо	для техобслуговування приладів для подачі біогазу реактор потрібно випорожнити
Особливості експлуатації	
залежність продуктивності насосів від фізико-механічних властивостей субстрату	компресорна техніка повинна підходити до складу газу
Особливості конструкції	
1) заглибний відцентровий насос або сухої установки відцентровий, ексцентриковий шнековий насос або роторно-поршневий насос 2) при використанні насосів зовнішнього розташування місця входу можливо забезпечувати рухомими напрямними трубами або форсунками, можливе перемішування різних місць входу	1) рівномірне розташування форсунок по усьому днищу реактора або принцип ерліфту для нагнітання біогазу до вертикальної напрямної труби 2) використовується комбінація з гідравлічним або механічним перемішуванням

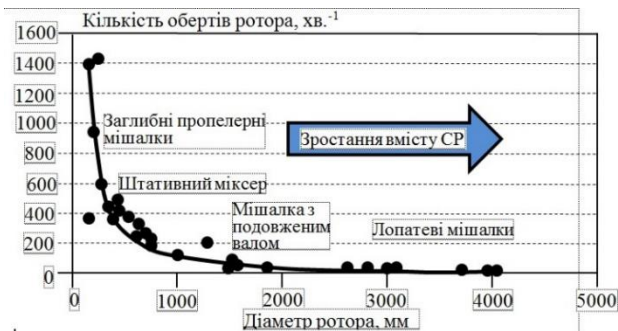


Рис. 5. Графік залежності кількості оборотів ротора від діаметру різних видів мішалок та зростання вмісту СР.

Fig. 5. A graph of the rotation speed of the rotor on the diameter of different types of stirrers and the increase in the content of DM.

В системах гідравлічного перемішування (таблиця 2) використовують, як правило, потужний відцентровий насос, який буде відповідати також за наповнення ферментатора з змішувального резервуара, а також за наповнення цистерн з резервуара зберігання. Бажана функція встановлюється шляхом зміни напрямку подачі субстрату за допомогою запірної шибера. Відсмоктування і подача субстрату повинні відбуватися таким чином, щоб вміст метантенку, по можливості, повністю перемішувався. Найкращого ефекту перемішування вдається досягти за допомогою агрегатів, в яких струмінь подачі проходить через 3-ступінчастий шибера, після чого потрапляє в кратер в нижній і верхній частині метантенку. Гідравлічне перемішування має таку перевагу, що необхідні для перемішування

механічні блоки (насоси та компресори) розташовані за межами реактора і внаслідок цього знос їх незначний, а технічне обслуговування менш витратне. Використання гідравлічних систем обмежується лише субстратами невеликої в'язкості з незначною схильністю до утворення піни, плаваючою кіркою і осадовими нашарувань.

Пневматичні системи. Бульбашки біогазу, що піднімаються, створюють лише вертикальний рух в субстраті. Такий тип перемішування придатний лише для субстрату (табл. 2), для якого важливим є неповне перемішування, щоб досягти ефекту гомогенізації. Щоб зробити більш цілеспрямовану дію компресора на субстрат, слід розподілити подачу газу на багато вентилів. Цей спосіб придатний, в першу чергу, для таких видів субстратів, як і при гідравлічному перемішуванні.

Висновки

1. Мішалки метантенку з метою оптимізації енергоспоживання повинні бути приведені у відповідність з геометричною формою резервуара і особливостей субстрату. Для субстратів з яскраво вираженою схильністю до розшарування найкраще підходять централізовані вмонтовані в перекриття штативні міксери, розраховані на тривалі цикли роботи (низькооборотні мішалки) порівняно з зануреними мішалками (як правило високооборотні).

2. Для вертикальних резервуарів вимоги, що пред'являються до мішалок змінилися внаслідок застосування енергетичних культур рослин.

3. За допомогою лопатевих мішалок з гідравлічним приводом можна надійно перемішувати важкі субстрати з вмістом СВ до 20%, а також великою кількістю волокон. Через їх надійну, потужну і енергозберігаючу роботу, на сьогоднішній день практично тільки цей тип застосовують для горизонтальних установок з цистернами.

Список літератури

1. Руководство по биогазу: от получения до использования. Германия: Агентство по возобновляемым ресурсам (FNR), 2010. 215 с.

2. Болтянская Н. И. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве. Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. 2016. Vol. 18. No 13, b. P. 49-54.

3. Болтянский Б. В. Обгрунтування конструктивно-функціональної схеми біореактора – установки для переробки органічних відходів (гною). Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 3. С. 182-188.

4. Шацький В. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Солодка О. О. Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т.3. С. 3-12.

5. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз методів визначення часу перебування та навантаження на метантенк. Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2014. Вип. 148. С. 405-412.

6. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз конструкцій біогазових установок з вібраційною інтенсифікацією процесу анаеробного бродіння. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2014. Вип. 14. Т. 3. С. 196-203.

7. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Методи інтенсифікації процесів метанового зброджування. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2014. Вип.4. Т.1 С. 3-9: сайт. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf4t1/3.pdf>.

8. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. Lublin, 2014. Vol. 16. No2, b. P. 183-188.

9. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Аналіз енергетичної ефективності метантенка. Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т.2. С. 316-322.

10. Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М. Програма та методика експериментальних досліджень на лабораторній біогазовій установці. Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2019. Вип. 199. С. 267-275.

References

1. A guide to biogas: from receipt to use. (2010). Germany: Agency for Renewable Resources (FNR), 215.

2. Boltyanskaya, N. I. (2016). Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Vol. 18. No13, 49–54.

3. Boltyansky, B. V. (2015). Substantiation of the structural and functional scheme of the bioreactor - installations for the processing of organic waste (manure). Proceedings of the Taurida State Agrotechnological University. Melitopol: TSATU. Vol. 15. No.3, 182-188.

4. Shatsky, V. V., Skliar, A. G., Skliar, R. V., Solodka O. O. (2013). Influence of substrate structure on biogas yield in methane digestion. Proceedings of the Taurida State Agrotechnological University. Melitopol: TSATU. Vol. 13. No.3, 3-12.

5. Skliar A. G., Skliar R. V. (2014). Analysis of methods of determination of residence time and load on methane tank. Bulletin of KhNTUSG them. P. Vasilenko. Kharkov. Vol. 148, 405-412.

6. Skliar A. G., Skliar R. V. (2014). Analysis of designs of biogas plants with vibration intensification of anaerobic fermentation process. Proceedings of the Taurida State Agrotechnological University. Melitopol: TSATU. Vol. 14. No 3, 196-203.

7. Skliar A. G., Skliar R. V. (2014). Methods of intensification of methane digestion processes. TSATU Scientific Bulletin. Melitopol. Vol. 4. No.1, 3-9: site. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf4t1/3.pdf>.

8. Skliar A., Skliar R. (2014). Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. Lublin. Vol.16. No.2, 183-188.

9. Skliar A. G., Skliar R. V. (2015). Energy efficiency analysis of methane tank. Tavriya State Agrotechnological University. Melitopol: TSATU. Vol. 15. No.2, 316-322.

10. Skliar, A. G., Skliar, R. V., Grigorenko S. M. (2019). Program and methodology of experimental research on laboratory biogas plant. Bulletin of Kharkiv National University them. P. Vasylenko: scientific professional publication. Kharkov, No.199, 267-275.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ І СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ СУБСТРАТА В МЕТАНТЕНКАХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

А. Г. Скляр, Р. В. Скляр

Аннотация. В работе проведен анализ существующих способов и средств для перемешивания субстрата в метантенках биогазовых установок (БГУ). В последних необходимо использовать высококачественные смесители, поскольку они поддерживают гомогенность субстрата, равномерно распределяют биомассу и теплоту, предотвращают образование донных отложений и плавающего слоя. Необходимые интервалы перемешивания определяются для каждой биогазовой установки индивидуально путем проб. После запуска перемешивать лучше несколько чаще, чем в обычном режиме и замедлять после того, как уже можно различить образования плавающей корки. Бактерии растут колониями и образуют комки. Быстрое перемешивание их разбивает и мешает бактериям развиваться, оптимальной является их медленная работа. Поэтому, нами обоснованы области использования

различных способов перемешивания в метантенках, преимущества и недостатки в процессе их работы, особенности эксплуатации и конструкции. Рассмотрены требования, предъявляемые к механическим мешалкам. Традиционная техника для смешивания, в первую очередь, высокооборотные пропеллерные погруженные мешалки, были заимствованы из техники для работы с навозом, которую приспособили для биогазовой технологии. Из-за роста использования возобновляемого сырья, применяются субстраты с высоким содержанием сухого вещества, которые негативно влияют на текучие свойства субстратов, поэтому необходимо уменьшать количество оборотов лопастей. Поскольку при этом перемешивание будет проходить недостаточно хорошо, то необходимо повышать диаметр лопастей мешалки или их количество. Гидравлическое перемешивание имеет то преимущество, что необходимые для перемешивания механические блоки расположены за пределами реактора и вследствие этого износ их незначителен, а техническое обслуживание менее затратное. Использование гидравлических и пневматических систем ограничивается лишь субстратами небольшой вязкости с незначительной склонностью к образованию пены, плавающей корки и осадочных отложений.

Ключевые слова: биогазовая установка, метантенк, мешалка, навоз, субстрат, способы перемешивания.

ANALYSIS OF METHODS AND MEANS FOR MIXING THE SUBSTRATE IN THE METHANE KIT OF BIOGAS PLANTS

A. G. Skliar, R. V. Skliar

Abstract. The paper analyzes the existing methods and means for mixing the substrate in the digesters of biogas plants (BSU). In the latter, it is necessary to use high-quality mixers, since they maintain the homogeneity of the substrate, evenly distribute biomass and heat, and prevent the formation of bottom sediments and a floating layer. The necessary mixing intervals are determined individually for each biogas plant by sampling. After starting, it is better to mix somewhat more often than in normal mode and slow down after it is already possible to distinguish the formation of a floating crust. Bacteria grow in colonies and form lumps. Quick mixing breaks them up and prevents bacteria from developing, their slow work is optimal. Therefore, we substantiated the use of various mixing methods in digesters, advantages and disadvantages in the process of their operation, operation and construction features. The requirements for mechanical mixers are considered. The traditional mixing technique, first of all, high-speed propeller submersible mixers, was borrowed from the technique for working with manure, which was adapted for biogas technology. Due to the increase in the use of renewable raw materials, substrates with a high dry matter content are used, which negatively affect the flowing properties of the substrates, therefore it is necessary to reduce the number of revolutions of the blades. Since in this case the mixing will not proceed well enough, it is necessary to increase the diameter of the agitator blades or their number. Hydraulic mixing has the advantage that the mechanical blocks necessary for mixing are located outside the reactor and, as a result, their wear is negligible and maintenance is

less expensive. The use of hydraulic and pneumatic systems is limited only by substrates of low viscosity with a slight tendency to foam, floating crust and sediment.

Key words: biogas plant, methane tank, mixer, manure, substrate, methods of alteration.

О. Г. Скляр ORCID 0000-0002-0456-2479.

Р. В. Скляр ORCID 0000-0002-1547-5100.