

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПЕРЕБУВАННЯ ТА НАВАНТАЖЕННЯ НА МЕТАНТЕНК

Скляр О.Г., к.т.н., Скляр Р.В., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Наведена методологія визначення часу перебування збродженої маси та навантаження на метантенк.

Постановка проблеми. Застосування технології метанізації органічних відходів на основі анаеробної їх переробки в сільськогосподарському виробництві дозволяє вирішити не тільки екологічні проблеми, що встають перед тваринницькими підприємствами, але й збільшити його рентабельність за рахунок отримання високоякісних органічних добрив і біогазу, придатного для отримання електричної або теплової енергії.

Аналіз останніх досліджень. Одним з ключових факторів будь-якого мікробіологічного процесу є час перебування мікроорганізмів у середовищі (час утримання). Для забезпечення ефективного розкладання складних органічних речовин до CH_4 і CO_2 необхідно, щоб мікроорганізми були в достатній кількості, а час їх перебування у середовищі був достатній для забезпечення метаболізму субстрату та при цьому не відбувалося вимивання бактерій. Тобто, за цим параметром необхідно розраховувати об'єм реактора.

Час перебування (ЧП) по суті є відношення об'єму осаду в реакторі до об'єму осаду, що завантажується (вивантажується) за добу. Для звичайних метантенків, які працюють за принципом реакторів-змішувачів з однорідною концентрацією мулової суміші, ЧП відповідає гідравлічному ЧП (ГЧП), тобто часу перебування в реакторі всієї мулової суміші. В реакторах, де використовується принцип утримання біомаси на спеціальних носіях, $\text{ЧП} > \text{ГЧП}$.

Зниження вологості осаду, що завантажується в метантенк, при одному й тому ж часі перебування забезпечує збільшення навантаження і, навпаки, при одному й тому ж навантаженні збільшується тривалість зброджування. При зброджуванні осаду однакової вологості збільшення навантаження призводить до відповідного зниження тривалості зброджування. При видаленні з осадів води і відповідним підвищенням їх концентрації здійснюється збільшення їх зольності внаслідок видалення з надосадової рідиною або фугатом частини органічних речовин. Як показав Х. Димовський, зі збільшенням зольності осаду знижується практична межа розпаду, а при збільшенні зольності до 76,7% зброджування практично припиняється. Це пов'язано, вочевидь, зі зменшенням в осаді кількості біорозкладаних органічних речовин.

Характер взаємозалежності параметрів d і τ , який слідує з їх фізичної сутності, де навантаження d характеризує масу органічної речовини субстрату, що завантажується за добу до метантенку об'ємом 1 м^3 , а тривалість зброджування τ - гідравлічний час перебування осаду в метантенку, доба, може

бути представлений виразом

$$S = d\tau, \quad (1)$$

де S – концентрація сухої беззольної (органічної) речовини в осаді, що завантажується в метантенк, кг/м³.

Визначення добутку S саме по собі не дає представлення про значення співмножників d і τ . Встановлення залежності між усіма цими параметрами є складною задачею, тому що приходиться враховувати багато факторів (швидкість зростання мікроорганізмів при різних температурах процесу, обмеження по концентраціям субстратів, у тому числі із-за зміни їх плинності, об'єм метантенку та ін.). Від параметрів S , d і τ , також, залежать основні технологічні показники процесу – розпад органічної речовини і вихід біогазу. Крім того, за даними ряду досліджень, зміна кількості води у субстратах може безпосередньо впливати на показники анаеробного зброджування. При надмірно низькій (менше 91%) і при підвищеній (більше 97%) вологості в традиційному процесі зброджування рідких осадів відбуваються порушення, які призводять до зниження виходу біогазу. При цьому спостерігаються відхилення від норм лужності середовища і вмісту амонійного азоту в муловій рідині. При використанні традиційних конструкцій метантенків низька вологість осадів може призвести до повного порушення процесу зброджування із-за погіршення їх плинності [1]

Формулювання цілей статті. Підвищення ефективності використання органічних ресурсів тваринницьких об'єктів на основі анаеробної переробки органічної сировини шляхом інтенсифікації процесу метанового зброджування субстрату за рахунок оптимізації його структури.

Основна частина. Згідно сучасним представленням математичний опис любого мікробіологічного процесу, в тому числі анаеробного зброджування, та його розрахунок повинні базуватися на адекватній кінетичній моделі. Як відомо, предметом кінетики є вивчення швидкості той чи іншої реакції або процесу. При вивченні кінетики мікробіологічних процесів головну увагу звертають на швидкості видалення субстрату, а також на швидкості утворення цільових продуктів мікробіологічного синтезу, до яких можуть бути віднесені мікробна маса (дріжджі, мікроводорості та інш.) і біохімічні продукти складного (антибіотики, вітаміни, органічні кислоти, ферменти, спирти та інш.) та простого (метали при вилуговуванні руд, біогаз та інш.) складу.

Незважаючи на багаторічні дослідження й практичне використання анаеробного зброджування різних органічних відходів досі не отримано загально признаний математичний опис цього процесу, який би дозволив розрахувати даний процес при всіх багатоваріантних умовах його здійснення.

В літературі частіше наводяться два рівняння, засновані на залежностях Моно і Міхаеліса-Ментен, які звичайно використовують для опису мікробіологічних процесів:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{K_m Sx}{K_s + S}; \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = \gamma \left(-\frac{dS}{dt} \right) - b_0 x, \quad (3)$$

де $\frac{dS}{dt}$ – швидкість конверсії органічного субстрату, кг/(м³·добу);

K_m – максимальна питома швидкість утилізації субстрату, кг/(кг·добу);

K_s – константа Моно, яка дорівнює концентрації субстрату, при якій $\mu = 1/2 \mu_m$, кг/м³ (μ – питома швидкість зростання біомаси, діб.);

μ_m – максимальна питома швидкість зростання біомаси, діб.);

x – концентрація біомаси, кг/м³;

$\frac{dx}{dt}$ – швидкість приросту біомаси бактерій, кг/(м³·добу);

γ – приріст бактерій при утилізації субстрату, кг/кг;

b_0 – швидкість отримання бактерій, доба⁻¹.

Підставивши рівняння (2) в рівняння (3) і поділивши на x , отримаємо вираз

$$\left(\frac{dx}{d\mu} \right) / x = \mu = \frac{\gamma \cdot K_m \cdot S}{K_s + S} - b_0 x, \quad (4)$$

в якому питома швидкість зростання біомаси μ пов'язана з утилізацією субстрату. Значення може змінюватися в широких межах в залежності від видових ознак мікроорганізмів й умов їх культивування. Зворотна величина питомої швидкості зростання відповідає часу перебування (обороту) біомаси в реакторі або її віку, який може бути визначений за відношенням загального об'єму біомаси в реакторі до об'єму добового завантаження:

$$\frac{1}{\mu} = \tau = \frac{V}{Q} \quad (5)$$

Класичні рівняння (2)-(5) не описують стадії процесу й, строго кажучи, стосовно до метанового зброджування можуть бути віднесені до формально кінетичних моделей, які описують «вхід-вихід», але тільки по біомасі й субстратам, без розгляду виходу біогазу.

Зокрема, модель Моно не використовується для зброджування субстратів з великою кількістю летючих жирних кислот, які гальмують процес.

Ендрюс запропонував для цього випадку ввести функцію інгібування:

$$\mu = \mu_m \frac{1}{1 + \frac{K_s}{S} + \frac{S}{K_i}}, \quad (6)$$

де K_i – коефіцієнт інгібування, кг/м³.

Практичне використання класичних моделей ускладнено з-за відсутності способів оцінки живої біомаси в метантенку. Спроба дати постадійний опис процесу зроблена спеціалістами МДУ (Росія). Але отримані значення поки що

мають чисто теоретичний характер.

Для інженерних розрахунків значний інтерес представляє модель Конто, яка використовується для математичного опису процесу анаеробного зброджування ряду органічних відходів:

$$\overline{b/\tau} = \overline{B} \cdot \left(\overline{S/\tau} \left(1 - \frac{K}{\mu_m \tau - 1 + K} \right) \right), \quad (7)$$

де $\overline{b/\tau}$ – швидкість виходу метану, $\text{м}^3\text{CH}_4/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$;

\overline{B} – граничний вихід метану на одиницю маси завантаженої в метантенк органічної речовини при безкінечно великій тривалості процесу, $\text{м}^3\text{CH}_4/\text{кг}$;

S – концентрація органічної речовини в осаді, що завантажується, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ – тривалість зброджування, днів;

$K = f(S)$ – кінетичний параметр процесу.

Максимальна питома швидкість зростання біомаси μ_m залежить від температури зброджування й розраховується за формулою:

$$\mu_m = 0.013 \cdot t - 0.129, \quad \text{доба}^{-1} \quad (8)$$

де t – температура зброджування, $^{\circ}\text{C}$.

Як бачимо з виразу (7), швидкість виходу метану залежить від концентрації органічної речовини S у початковому субстраті. Концентрація органічної (сухої беззольної) речовини в осаді, $\text{кг}/\text{м}^3$, залежить від вологості W , зольності на суху масу A та об'ємної щільності осаду $\rho_{об}$:

$$S = \rho_{об} (100 - W) \cdot (100 - A) \cdot 10^{-4}. \quad (9)$$

Як відзначалося вище, зольність осаду впливає на межу зброджування.

Межа зброджування осаду залежить від хімічного складу органічних речовин, що входять до нього. Як відомо, об'ємна щільність осаду $\rho_{об}$ залежить від його істинної щільності $\rho_{ист}$, яка, у свою чергу, залежить від щільності мінеральної ρ_m органічної $\rho_{орг}$ частини сухої речовини осаду. Сухий осад внаслідок його горючості можливо розглядати як тверде паливо. Тому справедливо щільність органічної речовини осаду визначати як для твердого палива за відомими методиками, згідно з якими $\rho_{орг}$ залежить від вмісту в горючій масі палива вуглецю C^{Γ} й водню H^{Γ} .

Оцінюючи роль трьох показників у формулі (9) – вологості W , зольності A та об'ємної щільності $\rho_{об}$, можна констатувати, що всі вони впливають на процес зброджування. Тому концентрацію органічної речовини S можливо розглядати як комплексний критерій, що характеризує властивості осаду як субстрату при анаеробному зброджуванні. Експериментальні дослідження показують, що величина S впливає на тривалість зброджування,

необхідне для досягнення технічної межі зброджування, яка зі збільшенням S зростає. При перевищенні визначеної (критичної) концентрації органічної речовини $S_{кр}$ (для ряду органічних відходів $S_{кр} = 60-100 \text{ кг/м}^3$) процес зброджування гальмується, при цьому значення кінетичного параметру K у виразі (7) різко зростає. Вважають, що збільшення K свідчить про інгібування процесу, який викликано перевантаженням системи, наявністю інгібувальних речовин, які перевищують допустимі рівні, погіршенням контакту між бактеріями й органічним субстратом, внаслідок високої концентрації останнього та іншими причинами.

Технологічний параметр – симплекс b/τ (або $\overline{b/\tau}$) – раніше у практиці розрахунків процесу анаеробного зброджування не використовувався. Замість нього використовувався параметр b – вихід газу на одиницю об'єму метантенку або, що практично одне й теж, на одиницю об'єму зароджуваного осаду. Цей параметр використовувався для грубої орієнтувальної оцінки загального виходу біогазу на очисних спорудах. Між тим збільшення швидкості виходу біогазу b/τ дає експлуатаційним службам можливість збільшити загальний вихід біогазу без зміни технології зброджування. Інший шлях регулювання виходу біогазу, що полягає у зміні об'єму метантенка, наразі навряд чи здійснимо, тому що більшість конструкцій метантенків має незмінну геометрію та об'єм, а тримати резервні метантенки економічно недоцільно. Збільшення навантаження d дозволяє при інших рівних умовах пропустити через існуючий апарат пропорційно велику кількість осаду. При проектуванні нових споруд це значить скорочення витрат на будівництво метантенків меншого об'єму. При цьому зменшуються і тепловтрати через огорожувальні конструкції метантенків. На практиці реальні можливості збільшення навантаження на метантенк для осаду заданої концентрації бувають вичерпані вже при проектуванні, тому що на цій стадії, як правило, передбачаються гранично можливі за умови надійності процесу дози завантаження й відповідно мінімальна тривалість зброджування та максимальне навантаження на метантенк.

Таким чином, для традиційного процесу зброджування можливо лише збільшення навантаження за рахунок підвищення концентрації осаду. Використання концентрованих осадів дозволить не тільки зменшити об'єм метантенків, але й, відповідно зменшення об'єму осадів, додатково скоротити витрати теплоти на їх підігрів для підтримки заданої температури зброджування.

З рівнянь (2) і (7) слідує, що при визначеному навантаженні $d = S/\tau$ швидкість виходу метану b/τ залежить від гранично можливого виходу метану \overline{B} , часу перебування біомаси, що зброджується в метантенку і кінетичних параметрів μ_m і K .

У дослідах з відходами тваринництва встановлено, що \overline{B} залежить від породи тварин, що виділяють гній, раціону їх живлення, строку та способу

зберігання гною, кількості чужорідних матеріалів та інших факторів, які визначають хімічний склад гною. Температура зброджування на граничний вихід метану не впливає. У відповідності з визначенням завжди справедливі наступні вирази для розрахунку питомого виходу метану (біогазу) на одиницю маси органічної речовини початкового субстрату:

$$\overline{B_{y\delta}} = \frac{\overline{b}}{\tau} \cdot \frac{S}{\tau} \quad (11)$$

або

$$\overline{B_{y\delta}} = \frac{\overline{b}}{\tau} \cdot d, \quad (12)$$

то можливо записати:

$$\overline{B_{y\delta}} = \overline{B} \left(1 - \frac{K}{\mu_m - 1 + K} \right). \quad (13)$$

Зі збільшенням тривалості й температури зброджування підвищується питомий вихід біогазу та відповідно розпад органічної речовини.

Величина $\frac{\overline{b}}{\tau}$ має яскраво виражений екстремум. Значення $\frac{\overline{b}}{\tau}$ і d в точці перегину позначимо з індексом (m) . Розрахунки показують, що:

$$\overline{b/\tau}_{(m)} = \overline{B} \frac{\mu_m S}{(1 + \sqrt{K})^2}; \quad (14)$$

$$d_{(m)} = \mu_m S / (1 + \sqrt{K}); \quad (15)$$

$$\overline{B_{y\delta}}_{(m)} = \overline{B} / (1 + \sqrt{K}). \quad (16)$$

Найбільша швидкість виходу метану досягається при $S = S_{кр}$ тому, що в цьому випадку $K = 1$. Тоді формули (14) - (16) будуть мати наступний вигляд:

$$\overline{b/\tau}_{(m)} = \overline{B} (\mu_m S_{кр} / 4) \quad (17)$$

$$d_{(m)} = \mu_m S_{кр} / 2 \quad (18)$$

$$\overline{B_{y\delta}}_{(m)} = \overline{B} / 2 \quad (19)$$

При мезофільному режимі зброджування навантаження на метантенк звичайно складає, кг/(м³·добу): у Франції – 0,8-1,2; в Англії – 1,0-2,0; в Німеччині – 2,5-4,0; в Америці – 2,5-5,0.

Згідно методики, наведеної в СНІП 2.04.03-85, розрахунок розпаду сухої беззольної речовини осадів, що завантажуються в метантенк, здійснюється за формулою:

$$R_r = R_{lim} - K_r D_{mt} \quad (20)$$

Беручи до уваги кореляцію між розпадом сухої беззольної речовини R_r і

питомим виходом біогазу $B_{уд}$ при постійній щільності біогазу ρ_r ($R_r = B_{уд}\rho_r \cdot 100\%$) і враховуючи постійною долю метану в біогазі, можна показати, що величина $B_{уд}$ при розрахунках за вказаним СНіП і за кінетичною моделлю Конто для випадку, коли $S \leq S_{кр}$ визначається за єдиним рівнянням:

$$B_{уд} = B - K_r \tau^{-1}, \quad (21)$$

де B – граничний вихід біогазу на одиницю маси завантаженої в метантенк органічної речовини при безкінечній тривалості зброджування, $\text{м}^3/\text{кг}$;
 τ – тривалість зброджування, діб;
 K_r – коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^3 \cdot \text{добу}/\text{кг}$, який визначається за формулою:

$$K_r = BKS / [\mu_m S - d(1 - K)]. \quad (22)$$

Враховуючи, що при $K = 1$ вираз (22) має вигляд $K_r = B / \mu_m$, отримаємо:

$$S_{кр} = [100B\mu_m - 1(t - 17,8) + 205] / (38 P). \quad (25)$$

Наявність токсичних речовин і зменшення кількості органічних речовин, що легко розкладаються, веде до додаткового збільшення коефіцієнта K_r , який визначається за експериментальними даними.

Висновки. Незважаючи на багаторічні дослідження й практичне використання анаеробного зброджування різних органічних відходів досі не отримано загально признаний математичний опис цього процесу, який би дозволив розрахувати даний процес при всіх багатоваріантних умовах його здійснення. Практичне використання класичних моделей ускладнено з-за відсутності способів оцінки живої біомаси в метантенку. Швидкість виходу метану залежить від концентрації органічної речовини у початковому субстраті. Концентрація органічної (сухої беззольної) речовини S в осаді залежить від вологості, зольності на суху масу та об'ємної щільності осаду. Експериментальні дослідження показують, що величина S впливає на тривалість зброджування, необхідне для досягнення технічної межі зброджування, яка зі збільшенням S зростає. При перевищенні визначеної (критичної) концентрації органічної речовини $S_{кр}$ (для ряду органічних відходів $S_{кр} = 60-100 \text{ кг}/\text{м}^3$) процес зброджування гальмується, при цьому значення кінетичного параметру різко зростає. Збільшення навантаження дозволяє при інших рівних умовах пропустити через існуючий апарат пропорційно велику кількість осаду. При проектуванні нових споруд це значить скорочення витрат на будівництво метантенків меншого об'єму. При цьому зменшуються і тепловтрати через огорожувальні конструкції метантенків.

Список використаних джерел

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

2. Баадер В. Биогаз: теория и практика/ В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. - М.: Колос, 1982. – 148 с.
3. Веденев А.Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике / А.Г. Веденев, Т.А. Веденева. – Бишкек: Типография «Евро», 2006. – 90 с.
4. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития/ Научный аналитический обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. - 204 с.
5. Гюнтер Л.Л. Метантенки/ Л.Л. Гюнтер, Л.Л. Гольдфарб. – М.:Стройиздат, 1991. - 128 с.
6. Ратушняк Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання: навчальний посібник / Г.С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К.В. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 170 с.

Аннотация

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ И НАГРУЗКИ НА МЕТАНТЕНК

Скляр А., Скляр Р.

Приведена методология определения времени пребывания сбраживаемой массы и нагрузки на метантенк.

Abstract

METHODOLOGY CERTAIN RESIDENCE TIME AND LOAD ON THE DIGESTER

A. Skliar, R. Skliar

Induced methodology to determine the residence time of the fermentation mass and load on the digester.

УДК 621.891:631.361.02

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТА ТОРЦЮВАННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БУРЯКОРІЗАЛЬНИХ НОЖІВ

Фабричнікова І.А. к.т.н.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Досліджується вплив кута косоного торцювання на зносостійкість ножів для зрізування цукрових буряків у стружку при виробництві цукру. Встановлені розрахункові залежності між геометричними параметрами леза та величиною, яка визначає місце злому різальної кромки під дією сили, що вигинає лезо ножа.

Постановка проблеми. На кожному етапі бурякопереробного процесу вдосконалення діючого обладнання сприяє підвищенню рентабельності цукрового виробництва. У фахівців бурякоцукрової галузі існує така приказка: