

Винахід відноситься до біотехнології, та зокрема, до технологій пов'язаних з бродінням, наприклад до технології отримання біогазу або анаеробного знешкодження рідких органічних відходів.

При виробництві біогазу в реакторах безперервнозмішуючого типу [1], біля 70 – 80% втрати метаногенеруючих мікроорганізмів припадає на їх віднесення з потоком суспензії, яка виходить з реактору, і тільки 20 – 30% втрати мікроорганізмів обумовлено їх "природним" відмиранням у біологічному реакторі. Тому, зменшивши кількість мікроорганізмів, що виходять з біологічного реактору разом із потоком суспензії, можливо суттєво збільшити їх чисельність всередині реактору, і таким чином, збільшити продуктивність біологічного реактору не збільшуючи його об'єму. З цієї метою всередині біологічного реактору розміщують різноманітні пристрої для іммобілізації метаногенеруючих мікроорганізмів. Прилипаючи до поверхні цих пристроїв, мікроорганізми втрачають рухомість і не виносяться потоком суспензії, який виводиться з біологічного реактору.

Герметичні біологічні реактори, заповнені насадкою з часток або гранул, на поверхні яких формується плівка з метаногенеруючих мікроорганізмів, отримали назву анаеробних фільтрів. Для кращого відведення біогазу, який в них утворюється, органічні відходи звичайно прокачують крізь насадку таких фільтрів знизу догори.

У відомих конструкціях таких приладів розміри гранул мають розмір біля 10-20мм, що відповідає питомій поверхні насадки, яка дорівнює $100-150\text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму біологічного реактору. У реакторах такої конструкції швидкість розкладання органічних речовин та вихід біогазу, у порівнянні з безперервнозмішуючими реакторами, збільшується приблизно на порядок і може сягати 10 м^3 біогазу на 1 м^3 об'єму реактору за добу. Але, через необхідність багаторазового проштовхування відходів, що переробляються, крізь досить щільну насадку, витрата енергії на здійснення такої технології стає близькою до витрати енергії на аеробну переробку органічних відходів у аерофільтрах, і значно перевищує кількість енергії, яку можна отримати при використанні біогазу, що при цьому виділяється. Удосконалення анаеробних фільтрів здебільшого йде шляхом інтенсифікації переробки відходів, яка досягається за рахунок збільшення питомої поверхні насадки або шляхом проведення реакції у псевдозрідженому шарі, що супроводжується різким збільшенням витрати енергії на обробку такої ж кількості відходів.

Найбільш близьким технічним рішенням можливо вважати спробу знаходження компромісу між високою витратою енергії у анаеробних фільтрах і низькою продуктивністю безперервнозмішуючих біологічних реакторів, у якій до реактору безперервнозмішуючого типу додавався керамзит для іммобілізації метаногенеруючих мікроорганізмів [2]. При цьому, суттєвими ознаками прототипу є те, що всередині біологічного реактору безперервнозмішуючого типу розташований пристрій для іммобілізації метаногенеруючих мікроорганізмів – керамзит, і те, що цей пристрій може рухатися у біологічному реакторі, наприклад, при перемішуванні суспензії.

Основний недолік прототипу полягає у його низькій ефективності -збільшення виробництва біогазу за рахунок іммобілізації мікроорганізмів лише на декілька відсотків перебільшує зменшення його виробництва внаслідок зменшення корисного об'єму біологічного реактору.

Низька ефективність прототипу обумовлена двома причинами: по-перше, внаслідок того, що іммобілізуючі поверхні майже нерухомі відносно суспензії, яка бродить у біологічному реакторі, ефективність масообміну мікроорганізмів залишається низькою; і по-друге, відношення поверхні для іммобілізації мікроорганізмів до об'єму часток керамзиту досить низьке, тому збільшення поверхні для іммобілізації мікроорганізмів супроводжується різким зменшення об'єму суспензії у біологічному реакторі, що зводить нанівець і без того малий ефект від іммобілізації метаногенеруючих мікроорганізмів у прототипі.

В наш час відома також конструкція пристрою для іммобілізації мікроорганізмів у аеробних мікробіологічних процесах розкладу органічних відходів [3], у якій мікроорганізми іммобілізуються на "окремих вільно підвішених вертикально гнучких нитках". Запатентована конструкція пристрою для іммобілізації мікроорганізмів спрямована, в першу чергу, на забезпечення найкращих умов для постачання кисню мікроорганізмам. У цьому пристрої, бульбашки повітря, які виходять із полинного зазору, підіймаються догори строго вертикально, тобто вздовж поверхонь для іммобілізації мікроорганізмів. Саме таке розташування поверхонь для іммобілізації мікроорганізмів забезпечує найкращий доступ кисню до бактерій, які прикріплені на цих поверхнях. Виконання конструкції такої поверхні у вигляді гнучких ниток автоматично забезпечує вертикальне розташування цієї поверхні у просторі, навіть тоді, коли сам апарат має деякий нахил.

Завдання по іммобілізації одноклітинних організмів вирішувалося і Природою, тому, знайдене в процесі тривалої еволюції рішення [4], також заслуговує ретельного вивчення. З цієї та з еволюційної точок зору багатоклітинні водорості можна розглядати як іммобілізовані одноклітинні водорості. Так як освітлення під водою здебільшого дифузне, то освітленість поверхні водоростей мало залежить від їх розташування у просторі. Тому, на відміну від наземних рослин, форма слань морських водоростей визначається головним чином вимогами найбільш ефективного засвоєння розчинених у воді живильних речовин та віддачі до оточуючого середовища продуктів метаболізму, які виділяються клітинами. Таким чином, завдання вирішене Природою у процесі формування слань багатоклітинних водоростей практично повністю співпадає з завданням створення оптимального пристрою для іммобілізації мікроорганізмів. Тому, є всі підстави вважати, що найкращою формою поверхнею для іммобілізації мікроорганізмів у процесі бродіння рідкої суспензії буде поверхня гнучких ниток, джгутів або стрічок, один кінець яких закріплений, а другий вільний, так як саме таку форму має переважна більшість багатоклітинних водоростей.

Загальновідомо, що у нерухомій воді багатоклітинні водорості звичайно не ростуть. Це пояснюється тим, що в таких умовах іммобілізація одноклітинних організмів не дає їм ніяких переваг, а лише сприяє посиленню конкуренції між окремими клітинами за розчинені у воді поживні речовини та приводить до взаємного отруєння мікроорганізмів продуктами метаболізму. Тому, у нерухомій воді краще розвиваються одноклітинні водорості, що і приводить до "цвітіння" таких водоймищ. І навпаки, у водоймищах з сильною течією величезні переваги мають багатоклітинні водорості. Це пояснюється тим, що при русі рідини у

великому об'ємі помітні дотичні напруги, а отже і взаємне ковзання шарів рідини, виникають тільки у відносно тонкому пограничному шарі, розташованому поблизу нерухомих поверхонь. У основній масі рідини дотичні напруги і взаємне переміщення шарів рідини практично відсутні. Тому на поверхні багатоклітинних водоростей, які знаходяться у потоці води, утворюються значно кращі умови для дифузії поживних речовин і продуктів метаболізму, ніж для окремих клітин, які практично не рухаються відносно оточуючої їх води.

Форма водоростей у яких один кінець закріплений, а другий вільний, як раз і забезпечує максимальну швидкість течії рідини вздовж їх поверхні, так як ця поверхня автоматично встановлюється вздовж напрямку руху рідини.

В зоні прибою, де швидкість води може досягати дуже великих значень, водорості мають форму порівняно коротких, гладких ниток, що пояснюється необхідністю погодження міцності водоростей і їх гідравлічного опору. На великих глибинах, де швидкості течій не великі, слані водоростей приймають хвилясту форму, яка сприяє турбулізації обтікаючого їх потоку та інтенсифікації масообміну з оточуючим середовищем. Тому, поверхню насадки для іммобілізації мікроорганізмів, особливо коли вона має форму стрічки, доречно зробити хвилястою або гофрованою.

Усі наведені факти вказують на те, що пристрій для іммобілізації мікроорганізмів може бути ефективним тільки тоді, коли забезпечується постійний рух суспензії, яка бродить, вздовж його поверхні. Краще всього, тобто з найменшою витратою енергії, цього можливо досягти якщо іммобілізуючи поверхні прикріпити до рухомої рами, розташованої всередині біологічного реактору. У цьому випадку більша частина механічної енергії буде витрачатися на подолання гідравлічного опору поверхонь для іммобілізації мікроорганізмів, що у даному випадку, слід вважати корисним використанням цієї енергії.

З урахуванням вищевикладеного, оптимальну конструкцію пристрою для іммобілізації мікроорганізмів можливо подати у вигляді, який показаний на фіг. Пристрій складається з рухомої рами 1, розташованих всередині корпусу 2 біологічного реактору, який має, наприклад, циліндричну форму. Рухомі рами 1 приводяться у обертання за допомогою електродвигуна 3, з'єднаного через редуктор 4 з валом 5 рухомої рами. На рухомій рамі 1 укріплена насадка 6 для іммобілізації мікроорганізмів, виконана в формі еластичних ниток, джгутів або стрічок. Насадка повинна бути виготовленою із матеріалів стійких до довгострокового впливу субстрату, який бродить, наприклад, із , синтетичних волокон або тканин.

Пристрій працює таким чином. Після завантаження у біологічний реактор необхідної для бродіння кількості суспензії, яка заражена метаногенеруючою асоціацією мікроорганізмів, вмикається електродвигун 3, який рухає рухомі рами 1. За рахунок обертання рухомої рами забезпечується рух рідини вздовж поверхонь для іммобілізації мікроорганізмів, закріплених на рухомій рамі. Через деякий час мікробний склад та чисельність мікроорганізмів у біологічному реакторі стабілізується, при цьому більша їх частина осідає на насадці 6 для іммобілізації мікроорганізмів.

Оцінимо ефективність описаного пристрою. Ефективність масовіддачі може бути оцінена за допомогою критерію Шервуда

$$Sh = \frac{K_2 \cdot d}{D}$$

де K_2 – коефіцієнт масовіддачі на поверхні для іммобілізації мікроорганізмів;

d – характерний розмір поверхні для іммобілізації мікроорганізмів;

D – типове значення коефіцієнту дифузії для поживних речовин та продуктів метаболізму.

У російськомовній літературі очевидно маючи на увазі подібність процесів дифузії та теплообміну, критерій Шервуда часто називають дифузійним критерієм Нусельта,

Так як значення критерію Шервуда для нерухомої поверхні дорівнює одиниці, то значення цього критерію у середовищі, що рухається, покаже нам у скільки разів інтенсивніше протікає масообмін. Для оцінки критерію Шервуда у запропонованому пристрої можливо використати формулу

$$Sh = 0,023 \cdot Re^{0,83} \cdot Sc^{0,44}$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{D}$$

де Re – критерій Рейнольдса,

w – швидкість руху суспензії відносно поверхні пристрою для іммобілізації мікроорганізмів;

ν – кінематична в'язкість суспензії;

$$Sc = \frac{\nu}{D}$$

Sc – критерій Шмідта,

Заданося такими параметрами пристрою: характерний коефіцієнт дифузії поживних речовин візьмемо рівним $D = 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$, середня швидкість руху суспензії вздовж поверхні для іммобілізації мікроорганізмів хай дорівнює $0,1 \text{ м/с}$. Характерний розмір поверхні для іммобілізації мікроорганізмів приймемо рівним відстані між двома сусідніми поверхнями, так як при відносно великій довжині цих поверхонь, саме цей розмір буде визначати дотичні напруги у рідині. Заданося характерним розміром поверхні для іммобілізації мікроорганізмів, який дорівнює $0,01 \text{ м}$, що відповідає питомій поверхні пристрою, яка дорівнює 100 м^2 на 1 м^3 об'єму. Густина та в'язкість суспензії, у першому приближенні, можна прийняти рівними густині та в'язкості води: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$.

Підставивши ці значення у раніше наведену формулу, знаходимо значення критерію Шервуда

$$Sh = 0,023 \cdot \frac{(0,1 \cdot 0,001)^{83}}{(5,5 \cdot 10^{-7})^{83}} \cdot \frac{(5,5 \cdot 10^{-7})^{44}}{10^{-9}} = 190$$

Таким чином, інтенсивність масообміну мікроорганізмів закріплених на поверхні приладу, що

пропонується, у порівняння з масообміном не закріплених мікроорганізмів, збільшується майже у двісті разів.

Для визначення потужності приводу пристрою, що пропонується, визначимо коефіцієнт гідралічного опору щільного каналу шириною d в якому рухається рідина зі швидкістю w [5]

$$\lambda = \frac{96,0}{Re} = 96,0 \cdot \frac{5,5 \cdot 10^{-7}}{0,1 \cdot 0,01} = 0,0528$$

Звідси, знаходимо перепад тисків на одному метрі щільного каналу, що розглядається

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \cdot \frac{2}{d} = 0,0528 \cdot \frac{2 \cdot 1000 \cdot 0,1^2}{2 \cdot 0,01} = 52,8 \text{ Па}$$

Отже, сила, яка діє на 1 м^2 поверхні дня іммобілізації мікроорганізмів, дорівнює

$$F = \Delta P \cdot d \cdot 1 = 52,8 \cdot 0,01 \cdot 1 = 0,528 \text{ Н}$$

Звідси, для реактору об'ємом 100 м^3 , в якому встановлений пристрій, що пропонується, для іммобілізації мікроорганізмів з питомою поверхнею $100 \text{ м}^2/\text{м}^3$, потужність приводу становить

$$N = 100 \cdot 100 \cdot F \cdot \omega = 528 \text{ Вт},$$

що приблизно на два порядки менше потужності, яка необхідна для приводу насосів у анаеробному фільтрі такої ж продуктивності.

Така висока ефективність пристрою, що пропонується для іммобілізації мікроорганізмів, пояснюється такими причинами:

- у анаеробних фільтрах традиційної конструкції 60-70% об'єму біологічного реактору займає насадка, шпаристість, якої відповідно дорівнює 30-40%. Конструкція, що пропонується, дозволяє знизити об'єм насадки для іммобілізації мікроорганізмів до 20-30% від загального об'єму біологічного реактору, при такій же величині поверхні для іммобілізації мікроорганізмів; це, в свою чергу, дозволяє збільшити живий переріз біологічного реактору приблизно удва рази і відповідно зменшити гідралічний опір та витрату енергії;

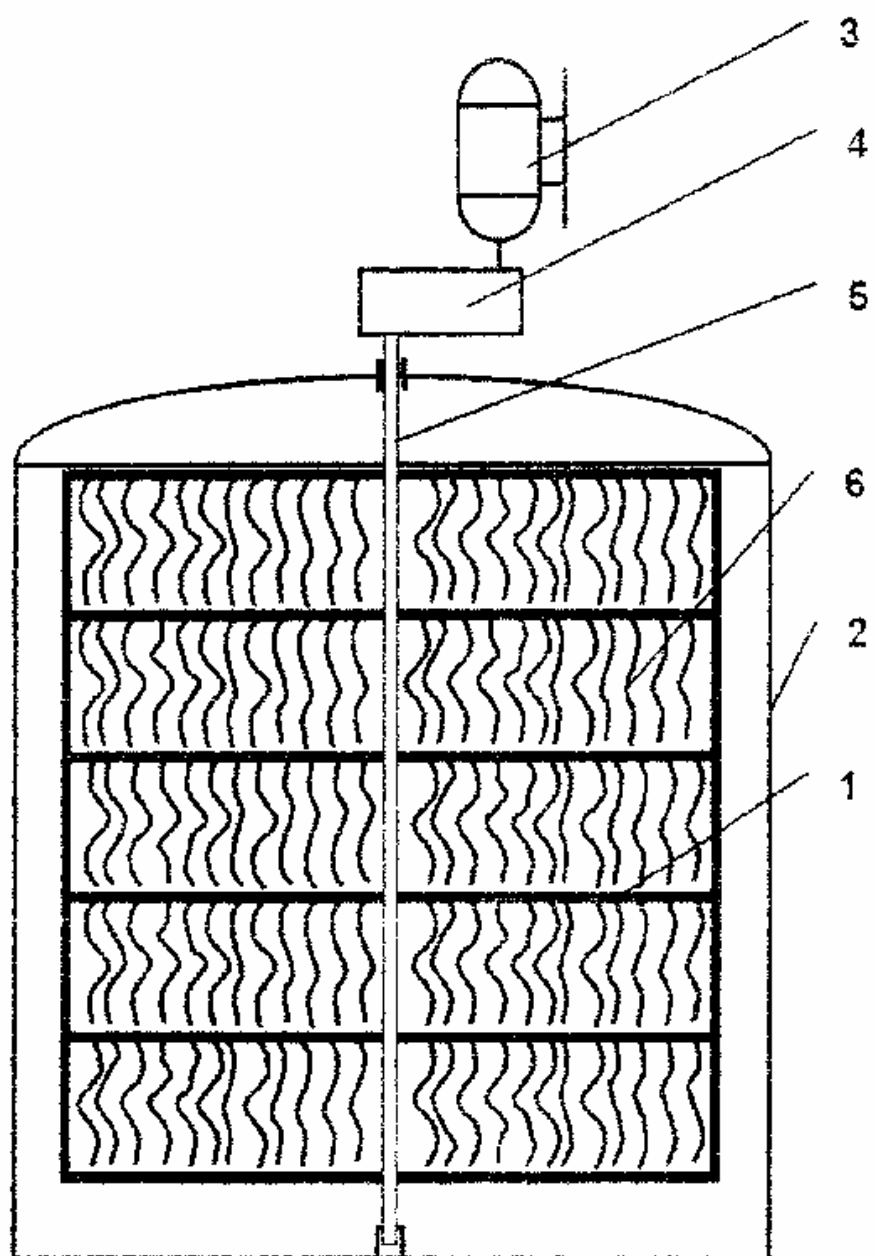
- механічна енергія у традиційних анаеробних фільтрах спочатку перетворюється у енергію струменю рідини і лише після цього потрапляє у біологічний реактор, так як к.к.д. насосів, які використовуються для нього, дорівнює 50-60%, то майже половина механічної енергії втрачається поза біологічним реактором; у приладі, який пропонується, передавання механічної енергії від електродвигуна у біологічний реактор здійснюється через редуктор, який має к.к.д. 95%.

- поверхня насадки з часток або гранул омивається суспензією не рівномірно, тому щонайменше 30-40% цієї поверхні працює не ефективно, так як опиняється у застійних зонах, у яких швидкість рідини набагато менше середньої; у пристрої, який пропонується, поверхня для іммобілізації мікроорганізмів омивається потоком суспензії більш менш рівномірно, що дозволяє не зменшуючи ефективність, зменшити загальну поверхню пристрою та відповідно знизити гідралічний опір і витрату енергії;

- під час руху всередині насадки анаеробного фільтру рідина проходить крізь чисельні звуження та розширення багаторазово змінюючи при цьому напрям свого руху; у пристрої, який пропонується рідина рухається вздовж поверхонь для іммобілізації мікроорганізмів практично не змінюючи напрямку руху та швидкості, що бузумовно сприяє зменшенню витрати енергії.

Література:

1. В. Балдер, Е. Доне, М. Бренндерфер. Биогаз, теория и практика. – М.: Колос. – 1982. – С. 29-32.
2. Келов К., Юфеев И.Р., Гуламов К.Х. Ахмедов Я. Использование керамзита для интенсификации процесса метанового брожения органических отходов животноводства. Изв. АН ТССР, сер. физ-мат., техн., геолог. н. – 1991. – № 5. – С. 42-49 (Прототип).
3. Патент Росси № 2016063, кл. С 12 М 1/00. 1990.
4. Хайлов К.М., Празукин А.В., Ковардаков С.А.Ю, Рычагов В.Е. Функциональная морфология морских многоклеточных водорослей. Киев. Наукова думка. – 1992. – 280 С.
5. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат. 1990 г. – с. 89.



Φir