



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122321** (13) **C2**
(51) МПК (2020.01)**C12P 5/02** (2006.01)
C12M 1/107 (2006.01)
C12M 1/36 (2006.01)
C12M 1/02 (2006.01)
C02F 11/04 (2006.01)
B09B 3/00НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

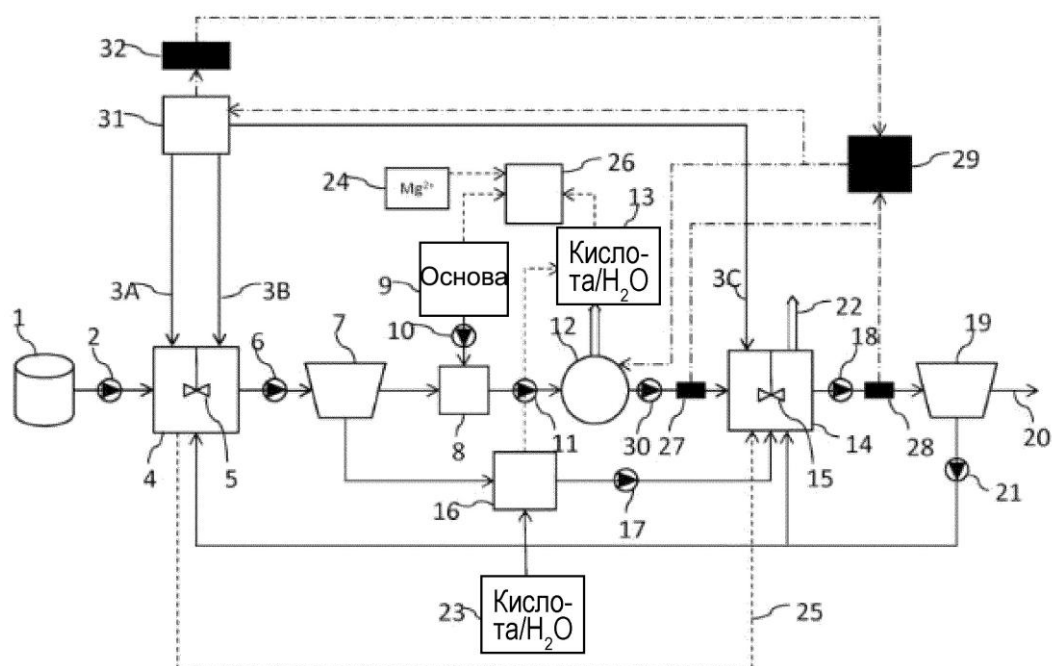
(21) Номер заявки: а 2016 10814	(72) Винахідник(и): Кетола Арі (FI), Коскеніємі Кертту (FI), Лахтінен Мінна (FI), Нуммела Яркко (FI), Віролайнен Ніна (FI), Віркаярві Ілкка (FI)
(22) Дата подання заявки: 31.03.2015	(73) Володілець (володільці): ДУКТОР ОЙ, Viikinkaari 4, FI-00790 Helsinki, Finland (FI)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 27.10.2020	(74) Представник: Горська Ірина Анатоліївна, реєстр. №24
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 61/973,577	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2013/060338 A1, 02.05.2013 WO 02/15945 A1, 28.02.2002 WO 2011/112736 A2, 15.09.2011 Ward A. J. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources / A. J. Ward, P. J. Hobbs, P. J. Holliman, D. L. Jones // Bioresource technology. – 2008. – Vol. 99. – №. 17. – P. 7928-7940 Dioha I. J. et al. Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production / I. J. Dioha, C. H. Ikeme, T. Nafi'u, N. I. Soba, M. B. S. Yusuf // International Research Journal of Natural Sciences. – 2013. – Vol. 1. – №. 3. – P. 1-10
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 01.04.2014	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 12.12.2016, Бюл.№ 23	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 26.10.2020, Бюл.№ 20	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/IB2015/052379, 31.03.2015	

(54) СИСТЕМА ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ**(57) Реферат:**

Винахід стосується системи для перетворення вихідної сировини, такої як біомаса або органічні відходи, у біогаз. Система містить перший реактор для здійснення амоніфікації збагаченої азотом сировини та одержання аміачного дигестату, систему для видалення азоту з дигестату, другий реактор для одержання біогазу з дигестату зі зниженим вмістом аміаку або зі збагаченої вуглецем або азотом вихідної сировини, засоби для доставки продуктів переробки між елементами системи, засоби для контролю за статусом азоту і засоби для керування розподілом сировини в перший або другий реактор для підтримки статусу азоту у другому реакторі в межах оптимального діапазону. Завдяки контролю статусу азоту й можливості

UA 122321 C2

розподілу сировини, система забезпечує одержання біогазу з мінімальними експлуатаційними витратами.



Фиг.3

Даний винахід стосується комплексного способу, який розроблений з метою оптимізації одержання біогазу шляхом двофазного анаеробного дигерування (АД) вихідної сировини, зокрема, біомаси або органічних відходів. Комплексний спосіб за даним винаходом стосується, зокрема, визначення статусу азоту (молярного відношення вуглецю до азоту, тобто молярного відношення C/N, або вмісту загального або аміачного азоту) у вихідній сировині й на різних етапах здійснення даного способу. Більш конкретно, у даному винаході пропонується використовувати регулювання статусу азоту для оптимізації процесу АД і для введення в процес різноманітних вихідних матеріалів. У способі за даним винаходом використовуються амоніфікуючі бактерії для мінералізації азоту протягом першої фази процесу АД, а також здійснюється стадія видалення й вилучення азоту й фосфату перед початком другої фази процесу АД одержання біогазу. Крім того, спосіб за даним винаходом полегшує рециркулювання відходів води, що утворюються в процесі біогазифікації.

Попередній рівень техніки

Анаеробний біологічний процес перетворення біомаси в біогаз у присутності природних бактерій протікає в чотири стадії: (1) гідроліз, (2) ацидогенез, (3) ацетогенез і (4) метаногенез. У процесі гідролізу полімерні органічні молекули розпадаються на хімічні речовини меншого розміру, такі як олігомери, димери й мономери. Залежно від вихідних матеріалів вказані хімічні речовини меншого розміру можуть являти собою цукри, амінокислоти або жирні кислоти. Ацидогенез потім перетворює зазначені молекули в карбонові кислоти, кетони й спирти з коротким ланцюгом, водень і діоксид вуглецю. У процесі ацетогенезу карбонові кислоти й спирти з коротким ланцюгом перетворюються в оцтову кислоту, водень і діоксид вуглецю, які потім перетворюються в метан у процесі метаногенезу. Різні стадії анаеробного перетворення біомаси в біогаз у присутності природних бактерій здійснюються окремими групами мікробів. Разом зазначені групи утворюють мікробний консорціум, здатний синергічно перетворювати біомасу в біогаз. Консорціум включає (а) гідролітичні бактерії і ацидогени, (b) ацетогени й (c) метаногени. Біогаз, одержаний у результаті анаеробного біологічного процесу перетворення біомаси в біогаз, являє собою суміш метану (50-75 %) і діоксиду вуглецю (25-50 %), а також невеликих кількостей інших компонентів, таких як сірководень, азот, водень, волога, кисень, аміак і силосани.

Значна частина азоту в органічній речовині знаходиться в амінокислотах, які являють собою білкову фракцію вихідної органічної сировини або біомаси. При анаеробному біологічному процесі перетворення біомаси в біогаз протеолітичні бактерії і бактерії, що ферментують білок, є в основному представниками роду *Clostridium* (Ramsay & Pullammanappallil, 2001). Раніше повідомлялося в опублікованій патентній заявці US2014/0271438 A1, що є в спільному володінні, і патенті США № 8691551, що є в спільному володінні, що змішана популяція бактерій S1 (депонована відповідно до умов Будапештського договору як CBS з інвентарним № 136063) високоактивна при розкладанні азотвмісних сполук у різних органічних речовинах за рахунок анаеробного гідролізу й ацидогенезу. Одночасно мікробна активність вивільняє органічний азот у вигляді неорганічного аміаку/амонію в процесі, що називають амоніфікацією, або мінералізацією азоту.

Іншими джерелами азоту в органічних речовинах, звичайно використовуваних як вихідна сировина, є сечовина, сечова кислота й аміак, які присутні, наприклад, у сечі тварин і гної. Крім того, такі речовини, як осади стічних вод, можуть містити велику кількість азоту в таких сполуках, як нуклеїнові кислоти. Рослинна біомаса й силос, серед інших форм азоту, можуть бути багаті нітратами. Вихідні матеріали, які, як правило, використовуються в способі за даним винаходом, включають, однак цим не обмежуючись, побічні продукти тваринного походження, побічні продукти життєдіяльності риб, відходи м'ясопереробки, органічні фракції твердих побутових відходів, сільськогосподарські культури, які вирощують з метою подальшого використання в якості енергетичної сировини, харчові відходи, осади стічних вод, побічні продукти харчової промисловості й побічні продукти культивування сільськогосподарських культур.

"Сировина" або "вихідний матеріал" у даному описі означає сировинний матеріал, який надходить на переробку установку. Виробництво біогазу зі збагаченої азотом сировини, наприклад, з органічних сполук, супроводжується виділенням азоту білкового походження у вигляді аміаку. Високі концентрації аміаку інгібують активність бактерій, що беруть участь в анаеробному процесі перетворення біомаси в біогаз, а це, у свою чергу, призводить до накопичення карбонових кислот з коротким ланцюгом, тобто летких жирних кислот (ЛЖК). Недавно проведене дослідження показало, що подібні високі концентрації аміаку знижують експресію метил-коензим М редуктази, ферменту, який каталізує термінальну метаностворюючу реакцію метаногенезу (Zhang et al. 2014). Це призводить до зниження використання оцтової

кислоти ацетокластичними метан-продукуючими бактеріями й до наступного зниження рН, викликаного накопиченням ЛЖК. Подібна зміна умов може, у свою чергу, призвести до припинення гідролізу білків, ацидогенезу й амоніфікації, як показано в культурі з використанням *Clostridium sporogenes* MD1, де приплив аніонних ЛЖК викликав відтік внутрішньоклітинного глутамату, універсального носія аміногруп у реакціях дезамінування й переамінування в процесі метаболізму амінокислот (Flythe & Russell 2006). Крім того, інгібування кінцевого продукту, викликане високим рівнем аміаку, як думають, сповільнює процеси обміну речовин, які продукують аміак. Таким чином, надлишок аміаку впливає на анаеробний процес перетворення біомаси в біогаз на багатьох рівнях, знижуючи як ефективність одержання самого аміаку, так і ефективність одержання біогазу.

Контролювання молярного відношення вуглецю до азоту (C/N) у вихідній сировині може знизити кількість аміаку в процесі АД. Молярне відношення C/N позначає кількість присутніх атомів вуглецю на кожний атом азоту. Відношення C/N також можна розрахувати й виразити у вигляді відношення маси вуглецю й азоту. Молярне відношення C/N можна одержати з масового відношення C/N шляхом множення на 1,17, тобто молярне відношення C/N на 17 % вище, ніж масове відношення C/N. Розрахунок заснований на різниці в атомній масі атомів вуглецю й азоту. Альтернативні способи представлення вуглецю або азоту для обчислення відношення C/N включають хімічне споживання кисню або загальний органічний вуглець для представлення кількості вуглецю, і загальний азот за методом К'ельдаля або загальний азот (означає загальний елементарний азот або суму нітрату NO_3^- , нітриту NO_2^- , органічного азоту й аміачного азоту, залежно від способу визначення) для представлення кількості азоту.

При виробництві біогазу високе відношення C/N, тобто нестача азоту, призводить до неефективної утилізації вуглецю внаслідок зниженої кількості мікробної біомаси, у той час як низьке відношення C/N, тобто надлишок азоту, може викликати інгібування метаногенезу аміаком. Оптимальне співвідношення C/N можна одержати шляхом спільного дигерування збагаченої азотом і збідненої азотом вихідної сировини. Проте, наприклад, при біогазифікації збагачених азотом побічних продуктів переробки м'яса тварин, збільшення хімічного споживання кисню за рахунок спільного дигерування збагаченої вуглецем сировини не приводить до збільшення продукування метану зі збагаченої азотом сировини (Resch et al. 2011). Двофазна АД для збагачених азотом вихідних матеріалів разом із супутнім вилученням азоту шляхом його відгону був запропонований для зниження концентрації аміаку при здійсненні біогазифікації (патент США № 6716351 B2). Однак спосіб патенту США № 6716351 обмежує сферу його застосування збагаченими азотом вихідними речовинами.

Раніше в патентній літературі була описана двофазна АД з роздільними фазами ацидогенезу й метаногенезу. Наприклад, патент США № 4022665 описує двофазну систему, де як опцію представлено рециркулювання відходів води процесу біогазифікації назад у першу фазу, гідроліз/ацидогенез. Патентні документи US 7309435 B2, EP 1181252 B1 і EP 2220004 B1 описують двофазні системи, у яких для підвищення ефективності процесу використовується контроль окислювально-відновного потенціалу, концентрації ЛЖК або рН, відповідно. Патентний документ US 8642304 B2 розкриває двофазну систему, де контроль концентрації ЛЖК між двома реакторами метаногенезу поліпшує дигерування. Жоден із зазначених документів не ідентифікує й не описує мікробне угруповання для проведення гідролізу й ацидогенезу, не описує вилучення поживних речовин, не звертає увагу на склад вихідної сировини або можливість спільного або індивідуального дигерування або на використання контролю статусу азоту як на спосіб підвищення виробництва біогазу.

При проведенні АД також використовувалися методи видалення аміаку, відмінні від відгону. У заявці на патент EP 2039775 A2 розкривається двофазна система, де аміачна ферментація, яку здійснюють одним бактеріальним штамом або сумішшю бактеріальних штамів, пов'язана з видаленням аміаку у вигляді газоподібного аміаку шляхом перемішування ферментованої речовини. Аміак або видаляють в атмосферу або вилучають як такий для одержання водню, але не вилучають у формі, яка є придатною для використання в добривах. Крім того, у використовуваних умовах, помірковано лужне середовище із рН 8-8,5 і температура 55-65 °C не сприяють випаровуванню аміаку. У патентній заявці EP 2614890 A1 описаний однофазний спосіб, де видалення аміаку засноване на іонному обміні. Метод вимагає використання хімічних реагентів для регенерації іонообмінної смоли й ретельного видалення твердих речовин з органічного осаду, що підданий ферментації, перед нанесенням на смолу.

У патентній заявці WO 2013038216 A1 розкривається однофазний спосіб, де певне мікробне угруповання використовують при проведенні АД для субстратів з високим вмістом білка. Однак це угруповання сильно відрізняється від S1 і включає аж до 50 % бактерій ряду *Pseudomonales*, а також метаногенні архебактерії, які відсутні в S1.

У патентній заявці EP 2578558 A1 розкривається вилучення азоту з АД за рахунок відгону, що здійснюють шляхом рециркулювання біогазу. У результаті одержують добриво у вигляді неорганічної солі амонію й змішане органічне добриво. При відгоні не використовуються підвищені значення рН, які можуть викликати неефективну десорбцію аміаку й призвести до

5 аміачного інгібування при проведенні АД.

У патенті США № 8613894 B2 описуються способи й системи для вилучення поживних речовин з потоку продуктів, які вилучаються з установки для анаеробного гідролізу з використанням різних нагрівальних систем і систем аерації. У даному способі розчинені гази, такі як діоксид вуглецю, метан і аміак, видаляються після проведення АД за допомогою

10 підвищеної температури й аерації протягом 12-36 годин. Описаний процес забирає багато часу й видаляє аміак лише частково.

У патенті EP 0970922 B1 описаний спосіб видалення інгібуючих речовин, таких як аміак, з реактора одержання біогазу за допомогою мембранного поділу рідких і твердих компонентів. Недоліком цього способу є те, що ЛЖК також вимиваються з реактора поряд з аміаком,

15 знижуючи вихід біогазу.

У патенті EP 1320388 B1 описаний спосіб вилучення поживних речовин при однофазної або двофазної АД шляхом поділу твердих і рідких речовин і відгону аміаку. У даному способі також рецикують відходи води. У вказаному способі не охарактеризоване мікробне угруповання, яке здійснює перетворення органічного азоту в неорганічний азот, і не використовується

20 відношення C/N для контролю статусу азоту з метою забезпечення оптимальних умов для проведення АД.

Сутність винаходу

У даній області техніки давно відчувається потреба в способі, який забезпечує комплексне рішення вищевказаних проблем. У широкому сенсі, спосіб за даним винаходом можна здійснити

25 шляхом ферментації сировини або в першому реакторі (для амоніфікації) і в другому реакторі (для виробництва біогазу) або тільки в другому реакторі, залежно від того, чи перебуває вміст азоту у вихідній сировині й у вмісті реактора в межах оптимального діапазону. Спосіб за даним винаходом забезпечує гнучкість на рівні вихідної сировини, так що один або кілька видів вихідної сировини можна обробити без тривалого періоду пристосування до температури.

Таким чином, в одному варіанті здійснення даного винаходу пропонується спосіб оптимізації одержання біогазу з одного або більше вихідних матеріалів, при цьому зазначене одержання біогазу проводиться, щонайменше, у другому реакторі, і зазначений спосіб включає:

(а) визначення вмісту загального елементарного азоту (N) в летких твердих речовинах (ЛТР – український еквівалент ЛТР) або молярного відношення вуглецю до азоту (C/N) в одному або

35 більше вихідних матеріалах, і

(b) визначення вмісту загального елементарного азоту або вмісту загального аміачного азоту, або молярного відношення C/N у вмісті другого реактора,

де вихідний матеріал є збагачений азотом, якщо молярне відношення C/N у вихідному матеріалі менше 15 або вміст загального елементарного азоту в ЛТР у вихідному матеріалі

40 перевищує 40 г N на кілограм ЛТР,

де вихідний матеріал є збагачений вуглецем, якщо молярне відношення C/N у вихідному матеріалі більше 15 або вміст загального елементарного азоту в летучих твердих речовинах у вихідному матеріалі становить менш 40 г N на кілограм ЛТР,

де статус азоту в другому реакторі є оптимальним, якщо молярне відношення C/N у вмісті реактора становить від 5,0 до 12 або кількість загального аміачного азоту у вмісті реактора становить від 0,1 до 2,5 г на літр або кількість загального елементарного азоту у вмісті реактора становить від 0,3 до 2,8 г на літр,

45 реактора становить від 5,0 до 12 або кількість загального аміачного азоту у вмісті реактора становить від 0,1 до 2,5 г на літр або кількість загального елементарного азоту у вмісті реактора становить від 0,3 до 2,8 г на літр,

(с) у тому випадку, коли визначення статусу азоту на стадії (а) або на стадії (b) указує на те, що вихідний матеріал збагачений азотом або що другий реактор має молярне відношення C/N менше оптимального або вміст загального аміачного або елементарного азоту вище оптимального, обробку збагаченого азотом вихідного матеріалу в першому реакторі, щонайменше, одним видом амоніфікуючих бактерій для одержання аміачного дигестату,

де аміачний дигестат являє собою дигестат, що утворився в першому реакторі, у якому вихідну сировину амоніфікують доти, поки, переважно, більш ніж 50 % загального

55 елементарного азоту у вихідній сировині не перетвориться в аміак,

(d) доставку аміачного дигестату з першого реактора в систему видалення азоту,

(е) обробку аміачного дигестату в системі видалення азоту з одержанням дигестату зі зниженим вмістом аміаку,

де дигестат зі зниженим вмістом аміаку являє собою аміачний дигестат, що був пропущений через систему видалення азоту таким чином, щоб було вилучено, щонайменше, 80 % аміачного азоту,

(f) доставку дигестату зі зниженим вмістом аміаку із системи видалення азоту в другий реактор;

(g) коли визначення статусу азоту на стадії (a) указує на те, що вихідна сировина збагачена вуглицем, доставку збагаченої вуглицем сировини безпосередньо в другий реактор;

(h) коли визначення статусу азоту на стадії (b) указує на те, що другий реактор має молярне відношення C/N вище оптимального або вміст загального аміачного або елементарного азоту нижче оптимального, доставку збагаченої азотом вихідної сировини безпосередньо в другий реактор;

при цьому процес додатково включає:

(i) одержання біогазу з доставленої сировини з використанням у другому реакторі, щонайменше, одного виду метаногенних мікроорганізмів, і

(j) визначення статусу азоту в дигестаті зі зниженим вмістом аміаку після видалення азоту й контроль ефективності системи видалення азоту й потоку дигестату зі зниженим вмістом аміаку, що направляється в другий реактор.

Щонайменше, одним видом амоніфікуючих бактерій у деяких варіантах здійснення даного винаходу є змішана популяція мікроорганізмів або мікробне угруповання. Щонайменше, один вид метанопродуючих бактерій у деяких варіантах здійснення даного винаходу являє собою мікробне угруповання. Відповідно до деяких аспектів способу за даним винаходом, змішаною популяцією амоніфікуючих бактерій є S1, змішана бактеріальна популяція, що депонована в CBS під обліковим номером 136063.

Крім того, коли молярне відношення C/N у вмісті другого реактора перебуває вище оптимального діапазону, або вміст загального елементарного або аміачного азоту у вмісті другого реактора перебуває нижче оптимального діапазону, азот доставляють у другий реактор за допомогою здійснення однієї або більше з наступних стадій:

(i) додавання аміачного азоту в другий реактор,

(ii) спільне дигерування збагачених азотом і збагачених вуглицем вихідних сполук у другому реакторі,

(iii) доставка збагаченої азотом вихідної сировини безпосередньо в другий реактор без проведення амоніфікації або видалення азоту,

(iv) підвищення концентрації загального вмісту аміачного азоту або загального вмісту елементарного азоту в дигестаті зі зниженим вмістом аміаку шляхом контролю ефективності системи видалення азоту й регулювання потоку дигестату зі зниженим вмістом аміаку, що направляється в другий реактор.

Спосіб за даним винаходом необов'язково також включає стадію зниження вмісту твердих речовин у дигестаті зі зниженим вмістом аміаку перед введенням його в процес видалення азоту. Тверді речовини, вилучені з дигестату зі зниженим вмістом аміаку, необов'язково безпосередньо направляють у другий реактор або в процес вилучення фосфору перед подачею твердих речовин у другий реактор.

Спосіб за даним винаходом необов'язково також включає виділення дигестату із другого реактора у вигляді твердої фракції з підвищеним вмістом твердих речовин і у вигляді рідкої фракції зі зниженим вмістом твердих речовин і рециркулювання рідкої фракції в перший або другий реактор.

Спосіб за даним винаходом здійснюють у першому й другому або тільки в другому реакторі в інтервалі температур, що придатний для обраного субстрату й бактерій. Так, температура в першому реакторі й/або в другому реакторі перебуває в мезофільному діапазоні, між 30 °C і 40 °C, або перебуває в термофільному діапазоні, між 45 °C і 60 °C.

Переважно, коли вилучення аміачного азоту із процесу проводять у першому реакторі, вилучений аміак має вигляд водного розчину аміаку й/або солі амонію.

Переважно, коли вилучення фосфору проводиться в рамках способу за даним винаходом, фосфор вилучають або у вигляді розчину фосфату або у вигляді осаду солі. Розчин фосфату необов'язково використовують як поглинач при видаленні азоту.

У кращому варіанті здійснення даного винаходу амоніфікацію здійснюють у першому реакторі в такий спосіб: по-перше, збагачену азотом сировину, що містить менше 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних до ферментації харчових волокон на кг ЛТР, подають у перший реактор для попередньої амоніфікації, по-друге, збагачену азотом вихідну сировину, тобто збагачену азотом вихідну сировину, що містить більш ніж 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних до ферментації харчових волокон на кг

ЛТР, подають у перший реактор для безперервної амоніфікації сировини, що була піддана попередньої амоніфікації.

Газ, одержаний у першому реакторі, необов'язково, направляють у другий реактор для підвищення виходу біогазу.

5 У другому варіанті здійснення даного винаходу пропонується система для оптимізації одержання біогазу з вихідної сировини, при цьому система включає:

перший реактор для обробки сировини для здійснення амоніфікації для одержання аміачного дигестату,

10 систему для видалення азоту для одержання дигестату зі зниженим вмістом аміаку з аміачного дигестату,

другий реактор для одержання біогазу з дигестату зі зниженим вмістом аміаку,

засоби для роздільної доставки різних видів сировини в перший реактор,

засоби для доставки аміачного дигестату з першого реактора в систему для видалення азоту,

15 засоби для подачі дигестату зі зниженим вмістом аміаку із системи для видалення азоту в другий реактор,

засоби для подачі сировини або аміачного азоту безпосередньо в другий реактор.

У системі за даним винаходом статус азоту в способі контролюється за допомогою:

20 першої вимірювальної системи, яка вимірює загальний вміст елементарного азоту в летучих твердих речовинах або молярне відношення вуглецю до азоту у вихідній сировині,

другої вимірювальної системи, яка вимірює кількість загального аміачного азоту, загального елементарного азоту або молярне відношення C/N у дигестаті зі зниженим вмістом аміаку після вилучення азоту,

25 третьої вимірювальної системи, яка вимірює кількість загального аміачного азоту, загального елементарного азоту або молярне відношення C/N у вмісті другого реактора,

засобів для керування розподілом збагаченої азотом сировини, збагаченої вуглицем сировини або збагаченої азотом вихідної сировини, що містить більш ніж 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг летучих твердих речовин, у перший або другий реактор, з метою підтримки кількості загального аміачного азоту, загального елементарного азоту або молярного відношення C/N у другому реакторі в межах оптимального діапазону,

засобів для регулювання ефективності системи вилучення азоту й потоку підданого амоніфікації дигестату в другий реактор на основі даних вимірів, одержаних від другої й третьої вимірювальної системи, з метою підтримки кількості загального аміачного азоту, загального елементарного азоту або молярного відношення C/N у другому реакторі в межах оптимального діапазону,

35 де вихідна сировина збагачена азотом, якщо молярне відношення C/N у вихідній сировині менше 15 або коли загальний вміст елементарного азоту в ЛТР у вихідній сировині перевищує 40 г N на кілограм ЛТР,

40 де вихідний матеріал збагачений вуглицем, якщо молярне відношення C/N у вихідній сировині більше 15 або коли загальний вміст елементарного азоту в летучих твердих речовинах вихідного матеріалу менше 40 г N на кілограм ЛТР,

де статус азоту у вмісті другого реактора є оптимальним, якщо молярне відношення C/N перебуває в діапазоні від 5,0 до 12 або кількість загального аміачного азоту перебуває в діапазоні від 0,1 до 2,5 г на літр або кількість загального елементарного азоту перебуває в діапазоні від 0,3 до 2,8 г на літр.

45 Система для видалення азоту включає, наприклад, пристрій для відгону повітрям аміаку або амонію, одержаного в процесі амоніфікації. Передбачається, що засоби для доставки вихідної сировини в перший реактор, засоби для доставки дигестату, що містить аміак, з першого реактора в систему для видалення азоту, засоби для доставки дигестату зі зниженим вмістом аміаку із системи для видалення азоту в другий реактор і засоби для доставки вихідної сировини або аміачного азоту безпосередньо в другий реактор включають придатні насоси, трубопроводи, труби, жолоби для транспортування рідин і контейнери й/або транспортери для переміщення твердих або напівтвердих речовин.

55 Короткий опис креслень

На Фіг. 1 показана схема, яка описує потік вихідної сировини в установці, що забезпечує функціонування системи за даним винаходом.

На Фіг. 2 представлений графік, який показує результати використання моделі для обчислення концентрації аміаку/амонію в реакторі біогазифікації, коли застосовуються різні стратегії видалення азоту.

60

На Фіг. 3 представлена принципова схема способу й системи за даним винаходом.

На Фіг. 4 представлена блок-схема, що ілюструє роботу комп'ютерної моделі із прикладу 2.

Докладний опис винаходу

Таким чином, у даному винаході пропонується поліпшений двофазний спосіб для оптимізації виробництва біогазу з вихідної сировини, тобто органічних вихідних матеріалів.

У даному описі представлена двофазна система для анаеробного біологічного процесу перетворення органічних речовин у біогаз у присутності природних бактерій. Перша фаза включає стадії гідролізу й ацидогенезу анаеробного процесу перетворення органічних речовин у біогаз, які здійснюються в першій посудині, що містить угруповання амоніфікуючих бактерій. Під час цієї фази більша частина органічного азоту, що міститься у вихідній сировині, вивільняється у вигляді аміаку. За стадією видалення азоту іде стадія амоніфікації. Можна застосувати будь-який відомий спосіб видалення азоту. Після видалення азоту отриману речовину використовують як сировину для одержання біогазу в другій фазі анаеробного біологічного процесу перетворення органічних речовин у біогаз у присутності природних бактерій. Для того щоб зберегти метанопроодукуючий потенціал вихідної сировини, важливо, щоб якнайменша кількість вуглецю губилася під час першої фази. Тому фазу амоніфікації здійснюють анаеробно для того, щоб мінімізувати втрати вуглецю в атмосферу у вигляді діоксиду вуглецю. Крім того, спосіб видалення азоту не повинен споживати ЛЖК або призводити до зникнення ЛЖК, які утворюються в процесі амоніфікації. Після видалення азоту величина рН має бути близькою до нейтральної, а концентрація аміаку має бути досить низькою, щоб полегшувалося створення оптимальних умов для біогазифікації. Потік сировини в системі направляється під спостереженням і контролюванням статусу азоту при проведенні різних етапів способу.

Дана система пропонує кілька можливостей для підвищення продуктивності й рентабельності АД процесу: (1) більш широкий діапазон вихідної сировини; (2) більш ефективне й стабільне виробництво метану завдяки постійному відношенню C/N і загальній концентрації елементарного або аміачного азоту; (3) відсутність тривалого періоду акліматизації, потрібного для різних речовин, використовуваних у якості вихідної сировини; (4) зниження витрат на очищення стічних вод за рахунок рециркулювання використовуваної в процесах води; (5) виробництво компонентів добрив або продуктів, які можна продати.

Для того, щоб більш ясно зрозуміти даний винахід, дається визначення наступних термінів. Перелічені нижче терміни, якщо не зазначене інше, використовують і розуміють так, як зазначено. Визначення інших термінів може бути наведене в тексті опису.

Варто розуміти, що всі представлені в однині терміни охоплюють також множину, форми теперішнього часу й форми минулого часу, якщо не зазначене інше.

Термін "азотвмісний" означає те, що містить хімічний елемент азот.

Термін "вуглецевмісний" означає те, що містить хімічний елемент вуглець.

Терміни "сировина" і "біомаса" у даному описі стосуються, наприклад, органічних речовин, що включають різні пропорції азотвмісних сполук, зокрема, білків, нуклеїнових кислот, сечовини й сечової кислоти, і/або вуглецевмісних сполук, що не містять азот, таких як, наприклад, жири, целюлози, крохмалі, цукри й ліпіди. Сировина для способу за даним винаходом містить у собі, наприклад, відходи, що створюються в промисловості, такі як побічні продукти тваринного походження, побічні продукти життєдіяльності риб, відходи м'ясопереробки, органічні фракції твердих побутових відходів, сільськогосподарські культури, які вирощують з метою подальшого використання в якості енергетичної сировини, харчові відходи, осади стічних вод, відходи харчової промисловості, побічні продукти культивування сільськогосподарських культур і т.п.

Термін "загальний вміст твердих речовин" (TS – український еквівалент ЗВТР) використовується в даному описі як міра вмісту твердих продуктів у речовинах. Він містить у собі як розчинні, так і нерозчинні тверді речовини (за винятком легко летучих сполук, таких як спирти, які можуть випаруватися в процесі сушіння). ЗВТР являє собою ту частину, що залишається після сушіння зразка речовини при 103-105 °C протягом 20-22 годин або до постійної ваги.

Термін "летучі тверді речовини" (ЛТР) у даному описі стосується визначення вмісту органічних речовин у сировині. Визначення ЛТР виконують для зразка речовини після визначення ЗВТР, тобто для зразка, що висушений перед спалюванням. ЛТР являє собою ту частину, що випаровується (тобто позначає втрату ваги) при спалюванні при 550 °C протягом 1-2 годин або до постійної ваги.

Терміни "шумування" або "ферментація" стосуються анаеробного мікробного метаболічного процесу, в якому органічні молекули служать у якості як донорів, так і акцепторів електронів. Він відрізняється від подиху, де електрони, отримані з поживних молекул, дістаються кисню (аеробний подих) або іншим неорганічним молекулам/іонам, таким як нітрат, сульфат, діоксид

вуглецю або залізо (III). У процесі ферментації молекули поживних речовин зменшуються до розміру невеликих органічних молекул, таких як летучі жирні кислоти й спирти.

Терміни "реактор", "біореактор" або "дигестор (реактор для дигерування)" у даному описі використовуються для визначення посудини, яку застосовують для анаеробного дигерування, ферментації, біогазифікації, гідролізу, ацидогенезу або амоніфікації відповідно до даного винаходу, і зазначені терміни використовуються в даному описі як взаємозамінні, якщо не зазначено інше.

Терміни "біогазифікація" або "одержання біогазу" використовуються в даному описі для визначення анаеробного біологічного процесу перетворення органічних відходів у біогаз у присутності природних бактерій, що головним чином приводить до утворення суміші метану, діоксиду вуглецю й інших другорядних компонентів (біогаз) у якості корисного кінцевого продукту. Чотири стадії анаеробного біологічного процесу перетворення органічних відходів у біогаз у присутності природних бактерій, а саме гідроліз, ацидогенез, ацетогенез і метаногенез, приводять до руйнування макромолекул, що містяться в органічній речовині, з утворенням мономерів і далі невеликих розчинних органічних або неорганічних сполук і газоподібних компонентів біогазу.

Термін "відходи води" у даному описі визначає рідку фазу дигестату з реактора біогазифікації. Рідина відділяється від твердої фази з використанням таких методів, як флотація, флокуляція, осадження, фільтрування й просівання, й таких пристроїв, як декантерна центрифуга, шнековий прес, вальцовий прес або стрічковий прес.

Термін "вода для розведення" у даному описі визначає воду, яку подають у реактор або в дигестор саму по собі або разом з відходами води з метою розведення вмісту реактора або дигестора для досягнення бажаного значення таких величин як ЗВТР, ЛТР, або загальний азот.

Термін "амоніфікація" у даному описі визначає мікробний метаболічний процес, протягом якого азот, що міститься в органічних молекулах, перетворюється у форму неорганічних сполук азоту, амонію/аміаку. У способі за даним винаходом амоніфікація відбувається одночасно з гідролізом і ацидогенезом у першому реакторі системи в присутності амоніфікуючих бактерій, як окремих видів або штамів бактерій, так і змішаної популяції мікроорганізмів або угруповання бактерій.

Термін "амоніфікуючі види бактерій" визначається в даному описі як вид або штам мікроорганізмів, використовуваних для одержання аміаку або амонію в процесі ферментації. Гідролітичні й ацидогенні угруповання включають такі роди бактерій, як *Bacterioides*, *Clostridia*, *Bifidobacteria*, *Streptococci* і *Enterobacteriaceae*, деякі з яких також є присутніми у змішаній популяції амоніфікуючих бактерій S1, що депонована в CBS з реєстраційним № 136063. Крім того, стадії гідролізу, ацидогенезу й амоніфікації можуть здійснювати окремі бактеріальні штами, такі як гіпераміакопродукуючі бактерії *Peptostreptococcus anaerobius* C, *Clostridium sticklandii* SR і *Clostridium aminophilum* F^T, але звичайно вони не можуть досягти активності консорціуму мікробактерій. Амоніфікуюче угруповання може утворитися з бактерій, що містяться в самій вихідній сировині, але, як показано, наприклад, у патентній публікації US20140271438, додавання інокуляту бактеріального угруповання, що спеціалізується на розкладанні й амоніфікації азотвмісних біомолекул, звичайно полегшує й стабілізує ефективність процесу.

Змішана бактеріальна популяція S1 з US20140271438 охарактеризована шляхом 16S піросеквенування й аналізу даних і включає 98,7 % бактерій, що належать до ряду *Clostridiales* (Таблиця 1). *Sporanaerobacter acetigenes* становлять 75,9 % від загальної змішаної бактеріальної популяції. Іншими розповсюдженими родами ряду *Clostridiales*, присутніми в S1, є *Clostridium* (15,5 % від загальної популяції), *Caloramator* і *Tissierella* і вид *Mahella australiensis*. Бактерії, що належать до інших рядів, становлять останні 1,3 % в S1. Як правило, S1 здатна вивільняти у вигляді аміаку 60-80 % азоту, що присутній у різних органічних речовинах, протягом 24-72 годин. S1 може витримувати високі концентрації аміаку, показуючи активність при $\leq 16 \text{ г NH}_4^+-\text{N л}^{-1}$.

В US20140271438 також описані інші змішані амоніфікуючі бактеріальні популяції, особливо змішана популяція бактерій, позначена як C1. Аналіз бактеріального угруповання змішаних популяцій C1 і S1 проводили на ДНК, що одержана шляхом екстракції за допомогою суміші фенол-хлороформ-ізоаміловий спирт із бактеріальних культур, де клітини руйнували за допомогою кульок. Популяцію C1 створювали шляхом змішування нестерильного м'ясокісткового борошна, яке виробляє компанія Findest Protein Oy, Фінляндія, з холодною водопровідною водою в пропорції 180 г м'ясокісткового борошна на літр води. Популяцію S1 створювали шляхом змішування нестерильного м'ясокісткового борошна (Saria Bio-Industries AG & Co. KG, Німеччина) з холодною водопровідною водою в пропорції 180 г MBM на літр води.

М'ясокісткове борошно культивували без аерації при 50 °С доти, поки не вирівнювалася концентрація NH₃ і не була досягнута стаціонарна фаза росту.

Перед екстракцією ДНК популяції культивували протягом чотирьох днів при 50 °С, додаючи 5 % (об./об.) інокуляту S1 або C1 у стерильне середовище м'ясокісткового борошна [180 г м'ясокісткового борошна на літр води]. Аналіз бактеріального гена 16S шляхом піросеквенування несучого мітку амплікону FLX (bTEFAP) і аналіз даних бактеріальної розмаїтості проводили в лабораторії Research and Testing Lab (Lubbock, штат Техас, США), як описано в Dowd et al. 2008 і Wolcott et al. 2009. Праймери 28F 'GAGTTTGATCCTGGCTCAG' (SEQ ID NO: 1) і 519R 'GTNTTACNGCGGCKGCTG' (SEQ ID NO: 2) використовували для ампліфікації 16S варіабельних областей V 1-3 (де "N" позначає A, T/U, G або C, і де "K" позначає T/U або G).

Аналіз розмаїтості бактерій виявив наявність бактерій, що належать до 15 різних родів (Таблиця 1). Із загального числа 23 результатів, 16 були визначені на рівні видів, а 7 - на рівні родів. *Clostridium* spp. і *Sporanaerobacter acetigenes* переважають в обох популяціях.

Як приклад визначення подібності S1 іншим мікробним угрупованням, на основі даних, представлених у таблиці 1, були розраховані коефіцієнти кореляції з використанням рівняння [1], де X і Y відносяться до двох матриць, C1 і S1, між якими розраховується кореляція, x і y позначають окремі значення в матриці, а \bar{x} і \bar{y} позначають середні значення всіх величин у матриці. Видам, які не присутні у популяції (порожні клітинки в таблиці 1), були привласнені значення 0.

$$Correl(X,Y) = \frac{\sum[(x - \bar{x})(y - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad [1]$$

Термін "по суті аналогічний" стосовно бактеріальної або мікробної популяції, як розкрито в даному описі, означає, що бактеріальна або мікробна популяція має коефіцієнт кореляції, щонайменше, 0,8 при порівнянні з однією або декількома популяціями бактерій, визначеними в таблиці 1. Переважно, по суті аналогічна бактеріальна або мікробна популяція має коефіцієнт кореляції, щонайменше, 0,9 і, більш переважно, по суті аналогічна бактеріальна або мікробна популяція має коефіцієнт кореляції, щонайменше, 0,95 при порівнянні з однією або декількома популяціями бактерій, визначеними в таблиці 1. Коефіцієнт кореляції між популяціями C1 і S1 дорівнює 0,9964.

Таблиця 1

Результати аналізу бактеріальної розмаїтості: роди й види в популяціях C1 і S1
Результати виражені у відсотках від загальної популяції

Види	C1	S1
<i>Bacillus</i> sp.	0,530	0,398
<i>Bacillus thermoamylovorans</i>	0,106	0,085
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	0,021	
<i>Caldicoprobacter oshimai</i>	0,042	0,085
<i>Caloramator</i> sp	2,669	5,200
<i>Clostridium botulinum</i>	6,948	4,632
<i>Clostridium cochlearium</i>	6,439	8,497
<i>Clostridium haemolyticum</i>	0,064	
<i>Clostridium oceanicum</i>	0,064	0,057
<i>Clostridium</i> sp	0,487	0,568
<i>Clostridium sporogenes</i>	0,530	0,483
<i>Clostridium ultunense</i>	5,507	1,250
<i>Garciella</i> sp	0,085	0,028
<i>Leptospira broomii</i>	0,021	
<i>Mahella australiensis</i>	0,360	0,426
<i>Microbacterium aurum</i>	0,021	
<i>Propionibacterium</i> sp		0,028
<i>Pseudobutyrvibrio ruminis</i>		0,028
<i>Sphingomonas mucosissima</i>	0,021	
<i>Sporanaerobacter acetigenes</i>	74,26	75,87
<i>Tepidanaerobacter</i> sp	1,419	0,682
<i>Tissierella creatinophila</i>	0,021	

Результати аналізу бактеріальної розмаїтості: роди й види в популяціях C1 і S1
Результати виражені у відсотках від загальної популяції

Види	C1	S1
<i>Tissierella</i> sp	0,381	1,677

Таким чином, ступінь кореляції між різними змішаними бактеріальними або мікробними популяціями можна визначити на основі аналізу ДНК 16S шляхом обчислення коефіцієнта кореляції за формулою 1.

5 Термін "амоніфікований" у даному описі означає речовину, яку було піддано амоніфікації.

Термін "попередня амоніфікація", використовуваний у даному описі, стосується стадії процесу, що включає амоніфікацію збагаченої азотом сировини перед додаванням її до вихідної суміші, що збагачена азотом і має високий вміст здатних піддаватися ферментації вуглецевмісних сполук, у тому числі моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон, таких як бета-глюкани, фруктани, пектини й галактани. У способі за даним винаходом встановлена межа, що дорівнює 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг ЛТР, для речовини, яка вимагає проведення попередньої амоніфікації. Попередня амоніфікація збагаченої азотом сировини підтримує амоніфікацію вихідної сировини, яка багата як азотом, так і здатними піддаватися ферментації вуглецевмісними сполуками, запобігаючи підкисленню середовища.

Термін "аміачний дигестат", використовуваний у даному описі, визначає дигестат, що утворюється в біореакторі для гідролізу або реакторі амоніфікації, де вихідний матеріал обробляють доти, поки, переважно, більш ніж 50 % від загального елементарного азоту у вихідному матеріалі не перетвориться в аміак.

Термін "дигестат зі зниженим вмістом аміаку", використовуваний у даному описі, визначає аміачний дигестат, що пройшов через стадію видалення азоту таким чином, щоб з нього було вилучено, щонайменше, 80 % аміачного азоту.

Термін "мезофільний", використовуваний у даному описі, стосується бактерій, здатних рости й здійснювати ферментацію в мезофільному діапазоні температур, і до бактеріального процесу, що протікає при мезофільних температурах у діапазоні від 30 °C до 40 °C. У даному діапазоні температур здійснюються мезофільна амоніфікація й метаногенез.

Термін "термофільний", використовуваний у даному описі, стосується бактерій, здатних рости й здійснювати ферментацію в термофільному діапазоні температур, і до бактеріального процесу, що протікає при термофільних температурах у діапазоні від 45 °C до 60 °C. У даному діапазоні температур здійснюються термофільна амоніфікація й метаногенез.

Терміни "метаногенні бактерії" або "метаногени", використовувані в даному описі, стосуються бактерій, здатних продукувати біогаз, що містить метан. Метаногени є членами таксономічної групи Euryarchaeota домену архей і належать до шести родів: Methanococcales, Methanopyrales, Methanobacteriales, Methanosarcinales, Methanomicrobiales і Methanocellales. Продукування метану відбувається чотирма різними шляхами: гідрогенотрофним, ацетокластичним, метилотрофним й H₂-залежним метилотрофним метаногенезом. Члени ряду Methanosarcinales використовують різні метаногенні шляхи, у той час як інші п'ять рядів в основному здійснюють гідрогенотрофний метаногенез. Метаногени в метаногенних біореакторах мають різноманітний склад, при цьому в деяких біореакторах переважають ацетокластичні, а в деяких переважають гідрогенотрофні метаногени. Такі умови, як температура, вихідна сировина, а також концентрація амонію й ацетату впливають на склад метаногенного угруповання. Було встановлено, що як мезофільні, так і термофільні біореактори містять значні кількості метаногенних родів Methanoculleus sp., Methanobrevibacter sp., Methanobacterium sp. і Methanosaeta sp., у той час як Methanothermobacter sp. були виявлені тільки в термофільних біореакторах (Sundberg et al. 2013). Метаногенне угруповання адаптується до умов у біореакторі, але занадто швидкі зміни можуть викликати повне інгібування метаногенезу. Метаногенне угруповання являє собою складну систему взаємодіючих видів бактерій, які при використанні в якості вихідної не ферментованої сировини, повільно еволюціонують в анаеробних умовах протягом періоду часу в інтервалі від декількох тижнів до декількох місяців. Тому активне метаногенне угруповання найбільш легко одержати в якості інокуляту із працюючого метаногенного біореактора.

Терміни "збагачений азотом" або "збагачена азотом сировина", використовувані в даному описі, стосуються сировини, де молярне відношення C/N менше 15 або де загальний вміст елементарного азоту в летучих твердих речовинах (ЛТР) перевищує 40 г N на кілограм ЛТР.

Терміни "збагачений вуглецем" або "збагачена вуглецем сировина", використовувані в даному описі, стосуються сировини, де молярне відношення C/N більше 15 або де загальний вміст елементарного азоту в летучих твердих речовинах (ЛТР) становить менше 40 г N на кілограм ЛТР.

Терміни "загальний елементарний азот" і "загальний аміачний азот", використовувані в даному описі, позначають альтернативні способи оцінки вмісту азоту в сировині, а також статусу азоту в ході процесу. Зазначені величини означають кількість елементарного азоту у всіх формах азотвмісних сполук і кількість азоту, що присутній у формі аміаку й/або в амонійній формі, відповідно.

Термін "статус азоту", використовуваний у даному описі, стосується молярного відношення C/N і/або вмісту загального елементарного або аміачного азоту в сировині, що подається для здійснення способу за даним винаходом або перебуває у вмісті реакційних посудин або біореакторів, реакторів, використовуваних у даному способі. Контроль статусу азоту досягається шляхом здійснення способу таким чином, щоб молярне відношення C/N і/або вміст загального елементарного або аміачного азоту залишався в межах оптимальних діапазонів, визначених у даному документі.

Терміни "засоби для керування/регулювання ефективності" стосуються в загальному випадку пристрою для регулювання параметрів процесу. Для повітряного десорбера для видалення азоту ефективність контролю досягається шляхом регулювання умов проведення операції, включаючи величину рН, температуру й час. У повітряному десорбері значення рН і температури можна визначити за допомогою вбудованих датчиків, підключених до контролерів датчиків і далі до відповідного комп'ютерного програмного забезпечення. Регулювання технологічного устаткування здійснюється, наприклад, за допомогою програмованих логічних мікропроцесорів, програмованих автоматизованих контролерів, дистанційних терміналів і/або систем керування на базі персонального комп'ютера.

Засоби для доставки речовин протягом усього процесу включають труби, трубопроводи, насоси, конвеєри й т.п. Засобами транспортування твердих речовин можуть бути, наприклад, ланцюгові конвеєри або шнекові конвеєри. Система трубопроводів, наприклад, може бути виготовлена з нержавіючої сталі EN1.4301 AISI 304. Насоси, наприклад, можуть являти собою лопатеві насоси. Як спосіб переміщення речовин можна також розглядати пристрої переміщення за допомогою гравітації.

У широкому сенсі, у способі за даним винаходом пропонується система вимірювання для визначення вмісту загального елементарного азоту в летучих твердих речовинах або молярного відношення C/N у сировині, яку передбачається направити в перший реактор, для визначення кількості загального аміачного азоту або загального елементарного азоту або молярного відношення C/N у дигестаті зі зниженим вмістом аміаку, який передбачається направити в другий реактор, і визначення вмісту загального елементарного азоту або загального аміачного азоту, або молярного відношення C/N у вмісті другого реактора.

Загальний елементарний азот або молярне відношення C/N визначається за допомогою датчиків або детекторів, призначених для вимірювання загального елементарного азоту й/або вуглецю. Датчики або детектори для визначення загального елементарного азоту використовують методи сухого згоряння (метод Дюма) і мокрого окислювання (метод К'ельдаля). Датчики або детектори для визначення вуглецю використовують сухий спосіб згоряння й, в якості альтернативи, методи визначення хімічної потреби в кисні або методи визначення загального органічного вуглецю. Молярне відношення C/N обчислюють із виявлених молярних значень вмісту азоту й вуглецю. Аміачний азот визначають за допомогою датчиків або детекторів, включаючи ферментативні аналізи з наступним флуориметричним або спектрофотометричним детектуванням, аміак-селективний електрод і методи швидкого фарбування на основі методів Несслера або Бертло. Інші датчики або детектори для контролю й регулювання способу за даним винаходом також передбачені для визначення рівнів рН, рівнів конкретних поживних речовин, таких як цукри, крохмалі й жири. Зокрема, передбачаються датчики аміаку й датчики загального елементарного азоту. У вихідній сировині, що містить білки, рівні білка, як правило, визначаються за вмістом азоту, наприклад, як зазначено вище.

Значення рН визначають, наприклад, електрохімічним способом з використанням рН-електрода або методом колориметрії з використанням рН-індикаторів.

Вуглецевмісні речовини визначають відомими способами. Наприклад, цукри визначають за допомогою методів колориметрії або хроматографії. Крохмалі визначаються, наприклад, за

допомогою методу колориметрії, заснованого на реакції крохмалю з йодом, або за допомогою ферментативно-колориметричного аналізу, де крохмаль розкладається з утворенням глюкози, яка потім визначається методом колориметрії. Жири визначають із використанням, наприклад, методу газової хроматографії, гравіметричним методом на основі екстракції розчинником або комбінованими методами екстракції-виявлення, при цьому методи екстракції включають, наприклад, методи екстракції з використанням понадкритичної рідини, а методи визначення включають, наприклад, ультрафіолетові й полум'яно-іонізаційні детектори.

На підставі встановленого статусу азоту у вихідній сировині або в дигестаті зі зниженим вмістом аміаку або у вмісті другого реактора, процес проводять як двофазний біологічний процес перетворення біомаси в біогаз у присутності природних бактерій, при цьому перша фаза являє собою амоніфікацію в першому реакторі, а друга фаза являє собою біогазифікацію в другому реакторі з одержанням біогазу. Фази розділяє стадія видалення азоту. Необхідність проведення амоніфікації й видалення азоту визначається шляхом моніторингу статусу азоту протягом процесу, тобто в тому випадку, коли статус азоту дозволяє, вихідну сировину можна безпосередньо подати в другий реактор для здійснення біогазифікації.

Оптимальним молярним відношенням C/N у вихідній сировині для виробництва біогазу, як правило, вважається значення від 20 до 30, тобто 20-30 атомів вуглецю на кожний атом азоту. Тому вихідна сировина з молярним відношенням C/N менше 20 буде вважатися збагаченою азотом. Проте, авторами даного винаходу встановлено, що в способі за даним винаходом вихідні речовини з молярним відношенням C/N більше 15 можна безпосередньо подати на стадію біогазифікації.

Було встановлено, що щільність бактерій у реакторі одержання біогазу приблизно дорівнює $1,44 \times 10^{10}$ клітин на літр умісту реактора (Bengelsdorf et al. 2012). Це відповідає приблизно 2,5 г сухої мікробної біомаси на літр умісту реактора (розраховується на підставі кількості $5,81 \times 10^{12}$ клітин на грам сухої маси, як указують Balkwill et al. 1988). Вміст азоту в сухій мікробній біомасі становить приблизно 11,0 %, а вміст вуглецю становить приблизно 47,2 % (розраховано на підставі даних, наведених у таблиці 1 в Fagerbakke et al. 1996). Це відповідає 0,3 г азоту мікробної біомаси й 1,2 г вуглецю мікробної біомаси на літр умісту реактора й молярному відношенню C/N 3,7. Проте, у даному винаході показано, що з деякими вихідними речовинами оптимальне виробництво біогазу можна здійснити при молярному відношенні C/N у реакторі в діапазоні від 5 до 12. Зазначені більш високі значення, імовірно, є наслідком присутності вуглецю, який не є біодоступним і не ферментується, але впливає на визначення значення молярного відношення C/N.

На додаток до молярного відношення C/N, контроль статусу азоту включає визначення й використання рівнів азоту у вихідній сировині й умісті реактора з метою прийняття рішень, що стосуються контролювання процесу. Як зазначено вище, збагачена вуглецем сировина має молярне відношення C/N більше 15. Зазначене молярне відношення C/N відповідає масовому відношенню C/N 12,82. Летучі тверді речовини (ЛТР) є мірою вмісту органічних речовин у вихідній сировині. Вважається, що приблизно на 50 % (мас./мас.) ЛТР складаються з вуглецю. Тому, коли масове відношення C/N дорівнює 12,82, то це відповідає приблизно 40 г азоту на один кг ЛТР. Звідси витікає, що в збагаченій вуглецем вихідній сировині є менше ніж 40 г N на один кг ЛТР. Відповідно, у збагаченій азотом вихідній сировині молярне відношення C/N становить менше ніж 15, тому в ній міститься більше ніж 40 г N на один кг ЛТР.

Як зазначено вище, оптимальне молярне відношення C/N для біогазифікації дорівнює 15-30. Молярне співвідношення C/N 30 відповідає масовому відношенню C/N 25,64 і приблизно 20 г азоту на один кг ЛТР.

Визначення статусу азоту використовується як основа для прийняття рішень щодо напрямку потоку вихідної сировини в способі за даним винаходом, як пояснює Фіг. 1, де представлено кілька шляхів введення вихідної сировини в систему за даним винаходом. Зазначені шляхи відзначені на Фіг. 1 римськими цифрами й описані докладно нижче.

I: Коли сировина збагачена азотом (молярне відношення C/N у вихідній сировині становить менше 15 або вміст азоту є більше 40 г N на кг ЛТР) і є достатня кількість азоту в реакторі біогазифікації (молярне відношення C/N менше 12 або вміст загального аміачного азоту перевищує 0,1 г/л або вміст загального елементарного азоту перевищує 0,3 г/л), вихідну сировину направляють на амоніфікацію.

II: Коли статус азоту збагаченої вуглецем сировини знаходиться в оптимальному для біогазифікації діапазоні (молярне відношення C/N у вихідній сировині становить від 15 до 30 або вміст азоту є в діапазоні від 20 до 40 г N на кг ЛТР), а умови в реакторі біогазифікації оптимальні для росту мікроорганізмів і виробництва біогазу (молярне відношення C/N становить від 5,0 до 12 або вміст загального аміачного азоту становить від 0,1 до 2,5 г/л або вміст загального

елементарного азоту становить від 0,3 до 2,8 г/л), сировину безпосередньо направляють на біогазифікацію. У вмісті реактора біогазифікації молярне відношення C/N нижче, ніж у вихідній сировині, тому що вуглець втрачається з реактора у вигляді метану й діоксиду вуглецю. Лише невелика кількість газоподібного азоту або аміаку присутня у біогазі, тому кількість газоподібного вуглецю, що залишає біореактор, значно перевищує кількість газоподібного азоту, що залишає біореактор.

III: Коли сировина збагачена азотом (молярне відношення C/N вихідної сировини менше 15 або вміст азоту є більше 40 грамів N на кг ЛТР), але існує нестача азоту в реакторі біогазифікації (молярне відношення C/N більше 12 або загальний вміст аміачного азоту становить менше 0,1 г/л або загальний вміст елементарного азоту менше ніж 0,3 г/л), вихідну сировину направляють на біогазифікацію.

IV: Коли статус азоту збагаченої вуглицем сировини не знаходиться в оптимальному для біогазифікації діапазоні (молярне відношення C/N у вихідній сировині більше 30 або вміст азоту менше 20 г N на кг ЛТР), а умови в реакторі біогазифікації оптимальні для росту мікроорганізмів і виробництва біогазу (молярне відношення C/N становить від 5,0 до 12 або загальний вміст аміачного азоту становить від 0,1 до 2,5 г/л або загальний вміст елементарного азоту становить від 0,3 до 2,8 г/л), або реактор перебуває в стані нестачі азоту (молярне відношення C/N більше 12 або загальний вміст аміачного азоту становить менше 0,1 г/л або загальний вміст елементарного азоту становить менше 0,3 г/л), вихідну сировину можна або змішати зі збагаченою азотом сировиною для спільного дигерування в реакторі біогазифікації (IVa) або доповнити джерелом азоту, наприклад, аміаком (NH_3) (IVb). Система за даним винаходом, яка розглянута у даному описі, включає стадію видалення азоту, де азот може бути вилучений у вигляді аміаку. Вилучений аміак при необхідності можна повторно ввести в систему.

Використання молярних відношень C/N, як показано на Фіг. 1, для направлення потоку сировини полегшує проведення процесу в межах оптимального діапазону рівнів азоту на кожній стадії процесу. Даний винахід спрощує проведення операцій на поверхні вихідної сировини у порівнянні зі здійсненням звичайних однофазних і двофазних процесів анаеробного гідролізу. У тому випадку, коли контроль здійснюють, керуючись молярним відношенням C/N на кожному етапі процесу, система може приймати різні речовини як вихідну сировину, оскільки існує встановлений шлях для обробки кожного типу речовин.

Експерименти з раніше зазначеними бактеріальними угрупованнями, такими як змішана бактеріальна популяція S1, показують, що наявність великої кількості вуглеводів у вихідній сировині приведе до підкислення й зниження рН культурального середовища до величини менше 6, що є межею активності амоніфікуючих мікробів (див., зокрема, Приклад 3 у заявці на патент США № 20140271438 A1). Таким чином, низьке значення рН викликає припинення амоніфікації.

У системі за даним винаходом збагачену азотом вихідну сировину (тобто сировину з молярним відношенням C/N менше 15 і >40 г N на кг ЛТР) можна направити на амоніфікацію відповідно до принципів, що описані вище й проілюстровані на Фіг. 1. Проте, у способі за даним винаходом автори даного винаходу виявили підкислення при амоніфікації збагаченої азотом вихідної сировини. Підкислення відбувається, якщо вихідна сировина має високий вміст здатних піддаватися ферментації вуглецевмісних сполук, включаючи моносахариди, олігосахариди, крохмалі, або здатних піддаватися ферментації харчових волокон, таких як бета-глюкани, фруктани, пектини й галактани. Підкислення не буде відбуватися, якщо вуглецевмісні сполуки не здатні піддаватися дигеруванню, тобто містять, наприклад, сполуки целюлози. У способі за даним винаходом встановлене граничне значення - 60 г для вмісту моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг ЛТР, яке спричиняє виникнення підкислення. Нижче цієї межі підкислення не буде відбуватися в такому ступені, щоб подавити амоніфікацію.

Якщо вихідна сировина визначена як непридатна для амоніфікації в якості єдиної вихідної сировини внаслідок підкислення, вихідний матеріал можна піддати обробці шляхом попередньої амоніфікації збагаченої азотом сировини. Попередню амоніфікацію можна розглядати як форму послідовного спільного дигерування. Її проводять, спочатку піддаючи амоніфікації збагачену азотом сировину, що не викликає підкислення. Потім вихідну сировину, що дійсно викликає підкислення, змішують із попередньо амоніфікованою сировиною для безперервної амоніфікації. Етап попередньої амоніфікації дає середовище з високою лужністю й буферною ємністю, що зм'якшує наслідки підкислення, викликаного швидким гідролізом легко розчинних вуглецевмісних сполук. Таким чином, азот у сировині, що призводить до підкислення, може бути мінералізований у вигляді аміаку/амонію й вилучений на стадії вилучення аміаку перш ніж він зможе призвести до аміачного інгібування на стадії біогазифікації.

Організація процесу

На Фіг. 3 позиція 1 означає посудину, яку використовують для культивування змішаної амоніфікуючої бактеріальної популяції S1. Амоніфікуюче угруповання може містити інший тип бактеріального угруповання або популяції одного виду бактерій, які були визнані ефективними для здійснення амоніфікації. Угруповання, популяцію або культуру з посудини 1 використовують як посівний матеріал у першому анаеробному автоклаві або реакторі 4, у який інокулянт доставляється за допомогою живильного насоса або пристрою 2. В якості альтернативи, вміст першого автоклава або реактора 4 можна використовувати як інокулянт для свіжої порції сировини. В якості альтернативи, можна не здійснювати культивування інокуляту як частину способу за винаходом, а амоніфікуюче угруповання можна привнести із самої вихідної сировини (немає необхідності додавати інокулянт). Інокулянт також можна отримати в пристрої, який є зовнішнім стосовно процесу за даним винаходом, і додавати з нього безпосередньо в перший реактор. Кількість інокуляту становить, щонайменше, 2,5 % (об./об.) від загального об'єму вмісту реактора. Як альтернатива, інокулянт може знаходитися у вигляді біоплівки на твердій речовині-носії, яка знаходиться в першому автоклаві або реакторі 4. Вихідну сировину, яку передбачено ввести в процес, сортують за її складом відповідно до схеми, що наведена в даному описі з посиланням на Фіг. 1. Процес сортування представлений на Фіг. 3 у вигляді системи сортування сировини 31 і трубопроводів 3А, 3В, 3С, по яких вихідну сировину доставляють у використовувані для проведення процесу автоклави або реактори. Система сортування вихідної сировини 31 включає посудину для кожного типу сировини, яка має бути подана в процес, а також засоби, такі як керовані комп'ютером клапани, для подання сировини або до трубопроводів 3А, 3В або до 3С залежно від статусу азоту вихідної сировини, й другий автоклав або реактор 14. Збагачена азотом вихідна сировина надходить у перший автоклав або реактор 4 по трубопроводу 3А. Трубопровід 3В використовується для подачі збагаченої азотом вихідної сировини, що містить більш ніж 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг ЛТР, у перший автоклав або реактор 4 після попередньої амоніфікації збагаченої азотом вихідної сировини, що містить менше ніж 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг ЛТР, що надходить у перший автоклав або реактор 4 по трубопроводу 3А. Трубопроводи 3А і 3В необов'язково можна замінити одним трубопроводом, коли доставку двох типів сировини в автоклав або в реактор 4 здійснюють послідовно. Перед подачею у перший автоклав або реактор 4 вихідну сировину можна попередньо піддати обробці шляхом її переробки, термічного гідролізу, теплової обробки або будь-якого іншого методу, наприклад, з метою поліпшення її здатності до дигерування, забезпечення гігієнізації або для вилучення таких компонентів, як жири. У процесі дигерування вміст автоклава перемішується за допомогою пристрою 5. Перемішування можна здійснити будь-яким придатним способом з використанням лопатевої мішалки, барботажного пристрою, погрузного насоса або пристрою іншого типу. Амоніфікацію проводять в анаеробних умовах при мезофільних температурах у діапазоні від 30 °C до 40 °C або при термофільних температурах у діапазоні від 45 °C до 60 °C.

Матеріал після проведення амоніфікації доставляють за допомогою живильного насоса або пристрою 6 у пристрій 7, який відокремлює тверду й рідку фазу дигестату. Поділ фаз можна здійснити будь-яким придатним способом, використовуючи декантерну центрифугу, гвинтовий прес, вальцовий прес, стрічковий прес або пристрій іншого типу. Рідку фазу направляють у зрівнюючий резервуар 8, де рідку фазу дигестату відбирають для зберігання. Якщо буде потреба, величину рН рідкої фази дигестату можна підвищити, додаючи основу з контейнера 9 за допомогою нагнітального насоса або пристрою 10. Середовище з лужним значенням рН можна створювати для підвищення ефективності відгону аміаку в тому випадку, коли видалення аміачного азоту здійснюють із використанням даного методу. Підвищення рН можна домогтися, використовуючи інші способи, наприклад, шляхом видалення розчиненого діоксиду вуглецю. Рідку фазу дигестату направляють у систему видалення азоту 12 за допомогою живильного насоса або пристрою 11.

Можна використати будь-який відомий спосіб видалення азоту. До них належать біологічні методи, такі як нітрифікація/денітрифікація, і фізико-хімічні методи, такі як осадження, іонний обмін, зворотний осмос, фільтрація й відгін. Однак біологічні методи видалення азоту можуть також поглинати леткі жирні кислоти (ЛЖК), що робить отриману речовину менш кошовною як сировину для виробництва біогазу. Що ще більш важливо, біологічні методи призводять до перетворення аміаку в газоподібний азот, у результаті чого кошовна поживна речовина губиться, виділяючись в атмосферу. Різні фізико-хімічні методи полегшують вилучення азоту у вигляді чистого аміаку або іншої сполуки, як правило, солей, таких як струвіт або сульфат амонію.

Відгонка являє собою спосіб, у якому потік повітря або водяної пари застосовують для видалення з розчину чистого аміаку у вигляді газу. Ефективне випаровування аміаку вимагає лужної рН і високої температури для зміщення рівноваги аміак/амоній у бік аміаку. Газоподібний аміак потім вилучають шляхом промивання, тобто поглинання водою з одержанням водного розчину аміаку або поглинання розчином кислоти з одержанням солі амонію. Коли видалення азоту здійснюється повітряною або паровою відгонкою, потік газу направляється в рекупераційний резервуар 13, такий як скруббер, щоб полегшити вилучення аміачного азоту. Відгонку аміаку з газового потоку здійснюють шляхом конденсації газоподібного аміаку й води з утворенням водного розчину аміаку або шляхом поглинання водою або розчином кислоти, що знаходиться в скруббері 13. Систему відгону/скруббер можна використати для видалення діоксиду вуглецю з метою підвищення величини рН перед відгоном аміаку. У цьому випадку, лужний розчин спочатку використовують у скруббері 13 для абсорбування діоксиду вуглецю з рідкої фази, що присутня у системі видалення азоту 12. Після видалення діоксиду вуглецю воду або розчин кислоти пропускають через скруббер 13 для забезпечення поглинання аміаку з рідкої фази з одержанням рідкого дигестату, з якого вилучений аміак.

Рідкий дигестат, з якого вилучений аміак, подається за допомогою нагнітального насоса або пристрою 30 у другій автоклав або реактор 14 для проведення біогазифікації. Другий автоклав або реактор 14 містить метаногенне угруповання, яке активно продукує біогаз. Збагачену вуглецем сировину подають у другій автоклав або реактор 14 по трубопроводу 3С у відповідності із принципами, викладеними з посиланням на Фіг. 1. У випадку нестачі азоту (молярне відношення C/N у вмісті другого реактора перевищує 12 або загальний елементарний азот або загальний аміачний азот менше 0,3 або 0,1 г на літр, відповідно) у другому автоклаві або в реакторі 14 збагачену азотом вихідну сировину можна направити в другій автоклав або в реактор 14 по трубопроводу 3С окремо або в суміші зі збагаченою вуглецем сировиною для спільного дигерування. У такому випадку знижується молярне відношення C/N або підвищується вміст загального елементарного азоту або загального аміачного азоту в другому автоклаві або в реакторі 14 до оптимального діапазону (молярне відношення C/N становить від 5,0 до 12 або кількість загального аміачного азоту становить від 0,1 до 2,5 г на літр, або кількість загального елементарного азоту становить від 0,3 до 2,8 г на літр). Як альтернатива, як описано з посиланням на Фіг. 1, аміак, отриманий у резервуарі для відгонки 13, можна використати для поповнення азотом збагаченої вуглецем сировини, і він подається в другій автоклав або в реактор 14 по трубопроводу 3С, якщо існує погроза виникнення нестачі азоту. Підтримка стабільного, оптимального діапазону статусу азоту (як визначено вище) полегшує використання різних речовин в якості вихідної сировини або дозволяє сфокусуватися на одній конкретній вихідній сировині. У процесі дигерування вміст автоклава перемішують за допомогою пристрою 15. Перемішування можна здійснити будь-яким придатним способом з використанням лопатевої мішалки, барботажного пристрою, погрузного насоса або пристрою іншого типу. Біогазифікацію проводять у другому автоклаві або в реакторі 14 в анаеробних умовах і при мезофільних температурах у діапазоні від 30 °C до 40 °C або при термофільних температурах у діапазоні від 45 °C до 60 °C.

Мезофільне виробництво біогазу, як правило, більш стабільно завдяки більшій розмаїтості бактеріальної популяції в автоклаві. Воно також менш чутливо до інгібування під дією аміаку й вимагає менше енергії для підтримки температури, ніж термофільна біогазифікація. Однак при виробництві біогазу в термофільних умовах досягається більш короткий час утримання за рахунок більш високих швидкостей реакції, і даний спосіб застосовують в тому випадку, коли доступна вихідна сировина зі стабільним статусом азоту. Температурну акліматизацію можна використати для перетворення продукуючого біогаз мезофільного угруповання в термофільне й навпаки. Це, як правило, вимагає тривалого періоду адаптації, який триває від декількох тижнів до декількох місяців, тому часто є кращим одержати новий прищеплювальний матеріал з установки підприємства, що виробляє біогаз і працює в заданому температурному діапазоні.

Газ, що утворюється при амоніфікації в першому автоклаві або реакторі 4, можна спрямувати в другій реактор біогазифікації або автоклав 14 по трубопроводу 25 з метою використати діоксид вуглецю й водень, що утворюються під час амоніфікації, для підвищення виходу біогазу при гідрогенотрофному метаногенезі.

Із пристрою 7, що здійснює поділ рідкої й твердої фаз, дигестат можна подати в посудину 16 для здійснення процесу вилучення фосфору. У посудині 16 збагачені фосфором речовини, наприклад, відходи, що містять кістки, такі як тверді відходи м'ясопереробки, можна обробити розведеним розчином неорганічної або органічної кислоти, що подається з контейнера 23. Переважно, обробку проводять із використанням розчину лимонної кислоти й протягом певного періоду часу, як правило, 24-48 годин при кімнатній температурі, для того, щоб розчинити

фосфор, який міститься в речовині у вигляді розчинних фосфатів. Таким чином роблять фосфатовмісний компонент рідкого добрива, а тверде кальцієве добриво створюється як побічний продукт, як це описано докладно в патенті США № 8691551 B1.

Фосфатний рідкий компонент можна також направити в посудину 13 і використати як кислий розчин для поглинання газоподібного аміаку. Продукт аміаку з посудини 13 можна направити в реакційну посудину 26 і за рахунок додаткового додавання магнійвмісного реагенту або розчину з контейнера 24 і необов'язкового додавання основи з ємності 9 можна одержати тверде добриво, струвіт. Коли у вихідній сировині мало фосфору, тверді речовини можна безпосередньо ввести в другий автоклав або реактор 14 для проведення біогазифікації. Іншим варіантом є введення твердих речовин у процес видалення азоту, коли надійність методу дозволяє обробляти тверді речовини. У цьому випадку стадія поділу рідини/тверда речовина не потрібна перед видаленням азоту, а проводиться тільки після біогазифікації. Після вилучення фосфату тверді речовини, що залишилися, надходять у другий автоклав або реактор 14 за допомогою живильного насоса або пристрою 17.

Після біогазифікації в другому автоклаві або реакторі 14 дигестат доставляється за допомогою живильного насоса або пристрою 18 у пристрій 19, який розділяє тверду й рідку фазу дигестату. Поділ фаз можна виконати будь-яким придатним способом з використанням декантерної центрифуги, шнекового преса, вальцьового преса, стрічкового преса або пристрою іншого типу. Рідку фазу, тобто відходи води, можна рецикувати за допомогою нагнітального насоса або пристрою 21 у перший автоклав або реактор 4 або в другий автоклав або реактор 14, де вона служить як вода для розведення з метою одержання бажаного вмісту твердої речовини або загального вмісту твердих речовин (ЗВТР). Крім того, відходи води після біогазифікації збільшують концентрацію аміаку в першому автоклаві або реакторі 4, сприяючи більш ефективному видаленню аміаку з підданого амоніфікації дигестату. Як альтернатива, відходи води можна використовувати як добриво або направити на очищення водних відходів. Тверду фракцію 20 можна використати, наприклад, як добриво або поліпшувач ґрунту або її можна компостувати. Як альтернатива, збагачені фосфором тверді речовини можна вводити в процес вилучення фосфору 16. Біогаз залишає другий автоклав або реактор 14 через трубопровід 22 для відводу газу.

Нарешті, установка, що показана на Фіг. 3, має першу вимірювальну систему 32 для визначення молярного відношення вуглецю до азоту або загального вмісту елементарного азоту в летучих твердих речовинах вихідної сировини. Друга вимірювальна система 27 визначає загальний елементарний азот, загальний аміачний азот або молярне відношення вуглецю до азоту в дигестаті зі зниженим вмістом аміаку після видалення азоту. Третя вимірювальна система 28 визначає загальний елементарний азот, загальний аміачний азот або молярне відношення вуглецю до азоту в другому автоклаві або реакторі 14 шляхом відбору проб з дигестату. Установка, яку ілюструє Фіг. 3, також має систему керування 29, яка одержує інформацію від першої, другої й третьої вимірювальних систем для контролю ефективності системи видалення азоту 12 за допомогою таких пристроїв, як керований комп'ютером регулятор часу, а потік дигестату в другий автоклав або реактор 14 контролюється за допомогою таких пристроїв, як клапан або насос із комп'ютерним керуванням. Керування здійснюється на основі заздалегідь заданих меж для статусу азоту в другому автоклаві або реакторі 14. Система керування 29 також контролює потік вихідної сировини із системи сортування сировини 31 у реактор або автоклав 4 або 14 відповідно до принципів, викладених з посиланням на Фіг. 1.

Приклади

Наступні приклади представляють собою процеси й сполуки за даним винаходом.

Незважаючи на те, що даний винахід розглянутий конкретно для деяких варіантів його здійснення, наведені далі приклади служать тільки для пояснення та ілюстрації даного винаходу й не призначені для того, що лімітувати або обмежувати ефективний об'єм даного винаходу.

Приклад 1

Попередня амоніфікація схильної до підкислення вихідної сировини

Результати експерименту з використанням харчових відходів (ХВ), побічних продуктів забою свиней та великої рогатої худоби (СВРХ) і побічних продуктів забою курчат-бройлерів (КБ) наведені в таблиці 2. Харчові відходи мають молярне відношення C/N приблизно 14. Вони збагачені азотом, однак містять достатню кількість здатних піддаватися ферментації вуглецевмісних сполук, щоб викликати підкислення та інгібувати амоніфікацію при використанні їх як єдиної сировини. Побічні продукти м'ясопереробки мають молярне відношення C/N менше 10 і містять мало вуглеводів. Результати показують, що попередня амоніфікація збагачених азотом речовин і наступна амоніфікація харчових відходів приводить до значного підвищення

- виходів у порівнянні з дигеруванням харчових відходів як єдиного вихідного матеріалу або при спільному дигеруванні зі збагаченою азотом речовиною. Спільне дигерування дає вихід менше 20 %, якщо використовується суміш СВРХ 40 % - ХВ 60 %. Однак коли застосовують попередню амоніфікацію, усього лише 20 % СВРХ потрібно для виходу > 50 %. Відмінності між вихідними речовинами відображені в результатах для КБ: вони не так ефективні, як СВРХ, у підтримці амоніфікації харчових відходів. Проте, сприятливий ефект від попередньої амоніфікації зберігається. Спільне дигерування вимагає 80 % КБ для виходу ~50 %, у той час як з попередньою амоніфікацією досить 40 % КБ для одержання подібного виходу.

Таблиця 2

Сировина		Вихід, тобто відсоток N, перетвореного в аміак			
Побічний продукт переробки свинини-яловичини, СВРХ (%)	Харчові відходи, ХВ (%)	Спільне дигерування	SD	Попередня амоніфікація	SD
100	0	83,7	11,3		
80	20	93,0	14,6	88,6	15,9
60	40	98,1	5,8	70,6	13,4
40	60	16,9	5,5	70,2	20,3
20	80	9,7	1,7	50,1	9,0
0	100	7,2	3,7		
Побічний продукт курчат-бройлерів, КБ (%)	Харчові відходи, ХВ (%)	Спільне дигерування	SD	Попередня амоніфікація	SD
100	0	63,3	16,6		
80	20	54,9	12,8	46,4	8,5
60	40	17,2	6,3	48,8	7,3
40	60	27,3	8,6	48,1	10,2
20	80	20,2	4,2	24,0	8,8
0	100	4,9	3,1		

Приклад 2

Моделювання вмісту азоту в реакторі біогазифікації

У системі за даним винаходом вихідний матеріал можна відсортувати за складом і вибірково піддати видаленню азоту з метою підтримки концентрації азоту в автоклаві для проведення біогазифікації на оптимальному рівні. Розрахункова модель розроблена для моделювання концентрації азоту в реакторі біогазифікації заводу з виробництва біогазу, що розділяє збагачену вуглецем і збагачену азотом сировину й видаляє надлишок азоту або (1) шляхом амоніфікації й наступного його відгону зі збагаченої азотом сировини до проведення біогазифікації або (2) шляхом очищення відходів води після біогазифікації.

Розрахункова модель обчислює концентрацію азоту в реакторі біогазифікації методом ітерацій на основі набору параметрів. Для обох видів сировини вона використовує наступні параметри: (1) загальна концентрація елементарного азоту, (2) відношення загальної кількості твердих речовин, (3) співвідношення летучих твердих речовин і (4) частка загального об'єму сировини. Крім того, вона використовує наступні параметри: (1) час гідралічного утримання, (2) ступінь завантаження органіки, (3) ступінь видалення летучих твердих речовин, (4) константа, що вказує, скільки грамів азоту пов'язано з одним грамом твердих речовин в автоклаві для біогазифікації, (5) частку відходів води у воді для розведення, тобто "відносний вміст відходів води", (6) частку води для розведення, що проходить через відгін, якщо відгін проводиться до біогазифікації, (7) частку аміачного азоту, що видаляється за допомогою відгону, (8) частку загального елементарного азоту в збагаченій азотом сировині, що буде перебувати у формі аміаку після амоніфікації, і (9) застосовуваний метод видалення аміаку.

Функціонування моделі ілюструє Фіг. 4. У моделі, яку пояснює Фіг. 4, квадрати із суцільними лініями ("—") представляють необхідні процеси, а квадрати з пунктирними лініями ("---") представляють необов'язкові процеси. Модель припускає, що збагачену вуглецем сировину подають безпосередньо в реактор біогазифікації 6.4 без видалення азоту тим або іншим способом. Передбачається, що збагачену азотом сировину подають у реактор біогазифікації або безпосередньо, або після стадій амоніфікації 2.4 і відгону 4.4, що передують біогазифікації.

Передбачається, що стадія амоніфікації 2.4 перетворює азот у вихідній сировині в аміачну форму таким чином, що отримана частка аміачного азоту від загального азоту в підданій амоніфікації вихідній сировині відповідає потрібним параметрам моделі. Передбачається, що відгін 4.4, що передує стадії біогазифікації, видаляє фіксовану частку аміачного азоту з аміачного дигестату.

Передбачається, що відходи води, які піддаються рецикуванню зі стадії відділення твердих речовин 8.4, мають концентрацію аміачного азоту, яка дорівнює концентрації в реакторі біогазифікації 6.4, оскільки, як думають, тверді речовини містять весь неаміачний азот. Передбачається, що відходи води, які піддаються рецикуванню, не містять ніяких інших форм азоту. Якщо відгін після біогазифікації включений до конфігурації моделі, то передбачається, що відгін 10.4 після біогазифікації видаляє фіксовану частку азоту з відходів води, які піддані рецикуванню.

При розведенні відходів води свіжою водою 12.4 модель припускає, що відходи води, які піддаються рецикуванню, змішуються зі свіжою водою таким чином, що частка відходів води у воді, що утворилася в результаті розведення, відповідає параметру "відносний вміст відходів води". Передбачається, що свіжа вода не містить азот.

Передбачається, що вода для розведення направляється в реактор біогазифікації 6.4 або безпосередньо, або через амоніфікацію 2.4 і відгін 4.4, що передує біогазифікації. Передбачається, що амоніфікація ніяк не впливає на воду для розведення, тому що думають, що весь азот уже перебуває у формі аміаку. Передбачається, що відгін 4.4, який передує біогазифікації, видаляє з води для розведення фіксовану частку аміачного азоту із частки води для розведення, що проходить через відгін 4.4, що передує біогазифікації.

Зазначену модель використовують для оцінки концентрації азоту в біогазифікаційному автоклаві заводу з виробництва біогазу, що одержує в якості сировини 50 % - 50 % (волога маса) суміш кукурудзяного силосу й курячого посліду, коли завод експлуатують у різних конфігураціях. Конфігурації для кожної серії моделювання представлені в таблиці 3, параметри моделі наведені в таблиці 4, а результати моделювання показані на Фіг. 2.

Таблиця 3

Конфігурація	Видалення азоту	Частка відходів води
1	Амоніфікація й наступний відгін перед біогазифікацією	0 %
2	Амоніфікація й наступний відгін перед біогазифікацією	100 %
3	Відгін після біогазифікації	100 %
4	Азот не видаляють	0 %
5	Азот не видаляють	100 %

Таблиця 4

Параметр	Значення
Загальна концентрація елементарного азоту для курячого посліду [г/кг]	31,4
Загальна концентрація елементарного азоту для кукурудзи [г/кг]	3,2
Частка всіх твердих речовин для курячого посліду [%]	63,93
Частка всіх твердих речовин для кукурудзи [%]	30,76
Летучі тверді речовини із загального вмісту твердих речовин для курячого посліду [%]	82,42
Летучі тверді речовини із загального вмісту твердих речовин для кукурудзи [%]	95,66
Гідралічний час утримання [d]	30
Ступінь навантаження органікою [кг/(м ³ d ⁻¹)]	4,0
Коефіцієнт видалення летучих твердих речовин [%]	80
Грам азоту, пов'язаний із грамом твердих речовин [г/г]	0,0286
Частка води для розведення, що пройшла через амоніфікацію й відгін перед біогазифікацією у конфігураціях 1 і 2 [%]	45
Частка аміаку, вилученого відгоном у конфігураціях 1, 2 і 3 [%]	90
Частка загального елементарного азоту збагаченої азотом сировини, що буде перебувати у формі аміаку після амоніфікації в конфігураціях 1 і 2 [%]	70
Вихідна концентрація аміачного азоту в автоклаві для проведення біогазифікації [г/л]	0,9

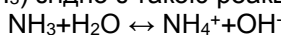
Результати, які проілюстровані на Фіг. 2, показують, що для конфігурацій 1 і 2 рівень аміачного азоту згодом, протягом приблизно 125 днів, стабілізується на рівні нижче 2 г/л, що нижче типових рівнів інгібування. Для конфігурацій 3 і 4 рівні аміачного азоту стабілізуються протягом аналогічного періоду часу на рівні 3-4 г/л, що потенційно може призвести до інгібування. У конфігурації 5 рівні аміачного азоту швидко піднімаються вище типових рівнів інгібування й стабілізуються на рівні більше 12 грам на літр, якщо робочі параметри не змінюють як тільки інгібування виявлено.

Результати показують, що сортування сировини й обробка збагаченої азотом вихідної сировини з метою видалення азоту шляхом амоніфікації й наступного відгону аміаку, що утворився, дозволяє використовувати для розведення вихідної сировини тільки відходи води після біогазифікації, підтримуючи при цьому концентрацію аміачного азоту в реакторі біогазифікації нижче типових рівнів інгібування. Відгонка відходів води, відмова від використання відходів води для розведення й конфігурації без видалення азоту є всі недостатніми для підтримки безпечної концентрації аміачного азоту в автоклаві біогазифікації.

Приклад 3

Видалення азоту шляхом відгону за допомогою повітря

Видалення аміаку шляхом відгону за допомогою повітря залежить від величини рН і температури. Збільшення рН використовують для зрушення рівноваги амоній/аміак у бік форми вільного аміаку, який легко випаровується. Іони амонію (NH_4^+) існують у рівновазі з аміаком (NH_3) згідно з такою реакцією:



Підвищена температура й аерація додатково збільшують випаровування, і газоподібний аміак, що утворився, може бути поглинений нейтральним або кислим розчином. У даному прикладі для видалення й вилучення аміаку використана система газопромивної колони типу повітряний десорбер - кислотний скруббер.

Відповідно до наведеного в даному описі способу (див. наведений вище докладний опис, розділ "Організація процесу", проілюстрований на Фіг. 3), довели рН підданої амоніфікації і центрифугуванню рідоти з курячого посліду (27,4 л) до 10,04 шляхом додавання розчину NaOH (50 %) з контейнера 9. Після регулювання рН рідоту з курячого посліду подавали в установку видалення аміаку за допомогою живильного насоса. Пристрій для видалення аміаку в цьому випадку являв собою напівпромислову установку для відгону повітрям, висота насадки в якій становила 2,15 м, а внутрішній діаметр - 16 см. Рідоту з курячого посліду нагрівали до 60 °C і аміак переводили з рідкої фази в газоподібну фазу за допомогою протитоку повітря (потік рідини 5 л/хв, витрата повітря 75 л/хв). Газоподібний аміак потім направляли в скруббер, де аміак уловлювався розчином сірчаної кислоти з утворенням сульфату амонію як кінцевого продукту. Відгін аміаку продовжували протягом 75 хв, що приводило до видалення аміаку на 98,4 %. Вихідна й кінцева концентрації аміаку й рівні рН представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Вихідна сировина	Вихідний вміст аміаку (мг/л)	рН на старті	Кінцевий вміст аміаку (мг/л)	рН наприкінці	Видалення аміаку %
Амоніфікований курячий послід	5560,0	10,04	89,0	8,68	98,4

Видалення азоту також проводили з використанням установки для відгону повітрям лабораторного масштабу, що мала внутрішній діаметр 47 мм і загальну висоту 75 см. Порцію пір'я індички амоніфікували (первісний загальний вміст твердих речовин 12 %) протягом 14 днів при 50 °C, після чого інактивували при температурі 95 °C протягом 1 години. Тверді частки відокремлювали просіванням і центрифугуванням. Процес повітряного відгону/обробки в скруббері ферментованого пір'я індички був проведений за тими самими принципами, як описано вище, але з використанням розчину лимонної кислоти й фосфату як абсорбуючої кислоти. Вказаний поглинаючий розчин одержували, розчиняючи гідроксиапатит з костей обробкою розчином лимонної кислоти, відповідно до способів, представлених в патенті США № 8691551 В1. Відгін проводили при 43 °C протягом 5,5 годин з додаванням у процесі відгону в цілому 4 мл 50 % розчину NaOH при постійному потоці повітря 25 л/хв. Ступінь видалення аміаку склав 90,9 %.

Приклад 4

Демонстрація перевірки концепції в дослідно-промислових умовах

Переваги, які надає система за даним винаходом (тобто "процес компанії Ductor") при виробництві біогазу, були продемонстровані в дослідно-промислових умовах. Два паралельних реактори одержання біогазу (об'єм 40 л) працювали в термофільних умовах протягом 58 днів з використанням

А) підданої амоніфікації й відгону аміаку вихідної сировини (процес компанії Ductor) або

В) вихідної сировини без обробки (звичайний спосіб).

Інокулят метаногенних бактерій одержували з автоклава біогазифікації, використовуваного на заводі з переробці стічних вод (завод очищення стічних вод Viikinmäki, Хельсінкі, Фінляндія), і підтримували шляхом подачі осаду стічних вод (ступень навантаження органічними речовинами = $1 \text{ кг ЛТР м}^{-3} \text{ д}^{-1}$; час гідралічного утримання = 20 днів, температура = 50°C) протягом 64 днів до початку демонстрації. Реактори експлуатували зі ступенем навантаження органічними речовинами $2 \text{ кг летучих твердих речовин (ЛТР) на м}^{-3} \text{ д}^{-1}$ і часом гідралічного утримання 21 день. Через 21 день ступень навантаження органічними речовинами підвищували до $3 \text{ кг ЛТР м}^{-3} \text{ д}^{-1}$ для перевірки функціональних можливостей процесу при більш високій концентрації вихідної сировини. Використана сировина являла собою суміш 50:50 (мас./мас.) курячого посліду й кукурудзяного силосу.

В даному експерименті в обох реакторах використовували термофільні умови (50°C). Проте, як при проведенні амоніфікації, так і при одержанні біогазу, можливо використання температурних умов в інтервалі від мезофільних до термофільних, тобто від 30 до 60°C . У процесі компанії Ductor курячий послід амоніфікували протягом 5-7 днів при температурі 50°C . На початку проведення амоніфікації вихідний матеріал (ЗВТР 5,2-8,4 %, мас./мас.) інокулювали з використанням 2,5 % (об./об.) змішаної бактеріальної популяції S1, яку культивували, використовуючи методи, описані у Прикладі 1 заявки на патент США № 20140271438 A1, що включена в даний опис як посилання. Альтернативно, як інокулят використовували 10 % (по об'єму) попередньої порції із процесу амоніфікації. Перемішування проводили протягом однієї хвилини кожні 20 хвилин за допомогою заглибного насоса. Після закінченні амоніфікації 63,3-83,6 % азоту, що містився у вихідній сировині, перетворилося в аміак. Поділ рідкої й твердої фракцій проводили за допомогою декантерної центрифуги (DCE 205-00-32, GEA Westfalia, Німеччина). Отримані рідкі й тверді фракції мали загальний вміст твердих речовин 1,5-3,3 % і 26,4-29,8 %, відповідно.

Вилучення аміаку проводили в напівпромисловому повітряному десорбері, як описано вище в прикладі 3. Рідину після відгону аміаку поєднували із твердою фракцією в тій самій пропорції, що й перед декантуванням. Для готування 50:50 суміші вихідної сировини перед проведенням амоніфікації до курячого посліду додавали еквівалентну по масі кількість кукурудзяного силосу. Вихідну сировину розбавляли синтетичною відпрацьованою водою, яка містила таку саму концентрацію амонію, що була в той самий час у реакторі біогазифікації. У звичайному процесі 50:50 суміш (мас./мас.) курячого посліду й кукурудзяного силосу розбавили синтетичною відпрацьованою водою, як описано вище. Потім вихідну сировину безпосередньо подавали в реактор біогазифікації.

Як видно з результатів, представлених у таблиці 6, початковий стан реакторів був досить схожим відносно концентрації амонію й виробництва метану. У проміжку між днями 5 і 25 реактори для одержання біогазу, в яких проводили звичайні процеси, показали трохи більш високу продуктивність по метану, ніж реактори для проведення процесу компанії Ductor. Після 26 днів ефект інгібування під дією амонію став очевидний у звичайному процесі, через що, починаючи від 51 дня, спостерігалася поступове зниження продукції метану до рівня нижче 60 % від кількості метану, одержаного в процесі Ductor.

У процесі Ductor концентрація амонію залишалася достатньо постійною (у діапазоні від $0,5$ до $0,75 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) протягом усього циклу. У звичайному процесі спостерігалася збільшення приблизне від 1 до $4,2 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, а інгібування під дією амонію ставало очевидним, коли концентрація перевищувала $1,5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$.

Використовувана вихідна сировина - курячий послід і кукурудзяний силос мали молярні відносини C/N $10,4$ і 55 , відповідно. Тому вони подавалися в процес по маршрутах I і II, які описані вище й проілюстровані на Фіг. 1.

Порівняння процесу Ductor і традиційного процесу також проводили з використанням справжніх, несинтетичних відходів води з реактора біогазифікації як розріджувача для сировини. У цьому експерименті сировина складалася тільки з курячого посліду. Результати були схожі: протягом 30-денного циклу концентрація амонію залишалася нижче $1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ у процесі Ductor, але збільшувалася від $1,6$ до $3,9 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ у звичайному процесі. У даному експерименті,

коли відношення C/N у підданій амоніфікації й відгону сировині впало до 15, було виявлене збільшення концентрації амонію в реакторі одержання біогазу. Це означає, що на додаток до використання різних маршрутів для напрямку потоку вихідного матеріалу в способі, ефективність системи амоніфікації й видалення азоту можна використати для контролю загального рівня аміачного азоту в реакторі біогазифікації. Крім того, результат показує, що вихідна сировина з молярним відношенням C/N менше 15 має бути піддана амоніфікації й видаленню азоту.

При вивченні амоніфікації численних вихідних матеріалів автори даного винаходу визначили, що підкислення стало причиною невдачі при амоніфікації збагачених азотом вихідних матеріалів, що містять більше 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг ЛТР. Збагачену азотом сировину, в якій менше 60 г моносахаридів, олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг ЛТР, можна безпосередньо спрямовувати на амоніфікацію. Якщо сировина викликає підкислення, потрібна стадія попередньої амоніфікації збагаченої азотом сировини перед додаванням сировини, яка викликає підкислення, в реактор амоніфікації.

У ході демонстрації в дослідно-промислових умовах метан найбільш ефективно одержували при концентраціях амонію менше 1,5 г на літр умісту реактора. При вивченні ефекту використання альтернативних вихідних матеріалів і варіації бактеріального угруповання в реакторі для одержання біогазу було встановлено, що діапазон концентрації амонію 0,1-3 г на літр приводить до оптимального продукування метану. Це приблизно відповідає загальній концентрації аміачного азоту 0,1-2,5 г на літр. Як уже пояснювалося вище, загальна концентрація елементарного азоту повинна бути, принаймні, 0,3 г на літр, щоб підтримувати ріст бактеріального угруповання в реакторі одержання біогазу. Таким чином, з урахуванням частки амонійного азоту, а також вимог бактеріального угруповання щодо азоту, максимально припустима концентрація загального елементарного азоту становить 2,8 г на літр.

Таблиця 6

Порівняння процесу Ductor зі звичайним процесом одержання біогазу. Обидва процеси виконували протягом 58 днів в 40-літрових біореакторах з використанням суміші 50:50 (мас./мас.) курячого посліду й кукурудзяного силосу як сировини. Результати представлені як середні значення двох паралельних реакторів. Розбіжність між зазначеними двома реакторами звичайно була менше 10 %, а в деяких рідких випадках становила від 10 до 15 %.

Дні від початку	СНОР* [кг ЛТР m ⁻³ d ⁻¹]	Концентрація амонію [мг л ⁻¹]		Порівняльне виробництво метану [%]	
		Процес Ductor	Звичайний процес	Процес Ductor	Звичайний процес
2	2	752	1014	100	95
7	2	718	1075	100	109
14	2	731	1204	100	112
23	3	543	1502	100	111
28	3	504	1676	100	85
37	3	655	2183	100	79
44	3	677	2728	100	79
51	3	729	3343	100	57
58	3	679	4216	100	57

* - ступень навантаження органічними речовинами

Включення як посилання

У даному описі процитовані численні посилання, усі з яких у всій їхній повноті включені в даний опис як посилання.

Вимагання пріоритету

Для даної заявки заявляється пріоритет за попередньою заявкою США із серійним номером № 61/973577, яка подана 1 квітня 2014 р., вміст якої у всій повноті включений в даний опис як посилання.

Декларація про депонування

Культури наступної біологічної речовини депоновані в наступному міжнародному депозитарії:

Центральне бюро грибних культур (CBS)
Uppsalaalan 8
3584 CT Utrecht
The Netherlands

- 5 в умовах, які задовольняють вимогам Будапештського договору про міжнародне визнання депонування мікроорганізмів для цілей патентної процедури.
Надходження в міжнародний депозитарій

Депонована змішана бактеріальна популяція	Інвентарний номер CBS	Дата депонування
S1	CBS 136063	22 серпня 2013

- 10 Процитовані посилання
Патентні документи
US 4022665 05/1977 Ghosh et al.
US 6716,351 B2 04/2004 Fassbender
EP 1181252 B1 04/2004 Bakke et al.
15 EP 1320388 B1 11/2005 Bonde & Pedersen
EP 0970922 B1 09/2007 Moro et al.
US 7309435 B2 12/2007 Rozich
EP 2220004 B1 09/2012 Gerritsen & Blankenburg
US 8613894 B2 12/2013 Zhao et al.
20 US 8642304 B2 02/2014 Raap et al.
US 8691551 B1 04/2014 Lahtinen et al.
EP 2039775 A2 03/2009* Iwai et al.
WO 2013038216 A1 03/2013* Kovács et al.
EP 2578558 A1 04/2013* Natta & Donati
25 EP 2614890 A1 07/2013* Wennergren & Christensen
US 20140271438 A1 09/2014* Oksanen et al.
*Дата публікації
Інші публікації
Balkwill, D.L., Leach, F.R., Wilson, J.T., McNabb, J.F., White, D.C. 1988. Equivalence of microbial
30 biomass measures based on membrane lipid and cell wall components, adenosine triphosphate, and direct counts in subsurface aquifer sediments. *Microbial Ecology* 16: 73-84.
Bengelsdorf, F.R., Gerischer, U., Langer, S., Zak, M., Kazda, M. 2012. Stability of a biogas-producing bacterial, archaeal and fungal community degrading food residues. *FEMS Microbiology Ecology* 84: 201-12.
35 Dowd, S.E., Wolcott, R.D., Sun, Y., McKeenan, T., Smith, E., Rhoads, D. 2008. Polymicrobial nature of chronic diabetic foot ulcer biofilm infections determined using bacterial tag encoded FLX amplicon pyrosequencing (bTEFAP). *PLoS ONE* 3(10): e3326.
Fagerbakke, K.M., Heldal, M., Norland, S. 1996. Content of carbon, nitrogen, oxygen, sulfur and phosphorus in native aquatic and cultured bacteria. *Aquatic microbial ecology* 10: 15-27.
40 Flythe M., Russell, J. 2006. Fermentation acids inhibit amino acid deamination by *Clostridium sporogenes* MD1 via a mechanism involving a decline in intracellular glutamate rather than protonmotive force. *Microbiology* 152: 2619-24.
Ramsay, I., Pullammanappallil, P. 2001. Protein degradation during anaerobic wastewater treatment: derivation of stoichiometry. *Biodegradation* 12: 247-57.
45 Resch, C., Wörl, A., Waltenberger, R., Braun, R., Kirchmayr, R. 2011. Enhancement options for the utilization of nitrogen rich animal by-products in anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 102: 2503-10.
Sundberg, C., Al-Soud, W.A., Larsson, M., Alm, E., Yekta, S.S., Svensson, B.H., Sorensen, S.J., Karlsson, A. 2013. 454 pyrosequencing analyses of bacterial and archaeal richness in 21 full-scale biogas digesters. *FEMS Microbiol. Ecol.* 85: 612-626.
50 Wolcott, R., Gontcharova, V., Sun, Y., Dowd, S.E. 2009. Evaluation of the bacterial diversity among and within individual venous leg ulcers using bacterial tag-encoded FLX and Titanium amplicon pyrosequencing and metagenomic approaches. *BMC Microbiology* 9: 226.
Zhang, C., Yuan, Q., Lu, Y. 2014. Inhibitory effects of ammonia on methanogen mcr transcripts in anaerobic digester sludge. *FEMS Microbiology Ecology* 87: 368-77.
55

Список последовательностей

<110> Ductor Oy
Ketola, Ari
Koskenniemi, Kerttu
Lahtinen, Minna
Nummela, Jarkko
Virolainen, Nina
Virkajarvi, Ilkka

<120> СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ БІОГАЗУ З ВИЛУЧЕННЯМ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН

<130> 44545-1007-U

<140>
<141>

<150> 61/973,557
<151> 2014-04-01

<160> 2

<170> PatentIn version 3.5

<210> 1
<211> 19
<212> DNA
<213> Штучна

<220>
<223> універсальний бактеріальний праймер 16S

<220>
<221> misc_feature
<222> (11)..(11)
<223> n is a, c, g, or t

<400> 1
gagtttgatc ntggctcag
19

<210> 2
<211> 18
<212> DNA
<213> Штучна

<220>
<223> універсальний бактеріальний праймер 16S

<220>
<221> misc_feature
<222> (3)..(3)
<223> n is a, c, g, or t

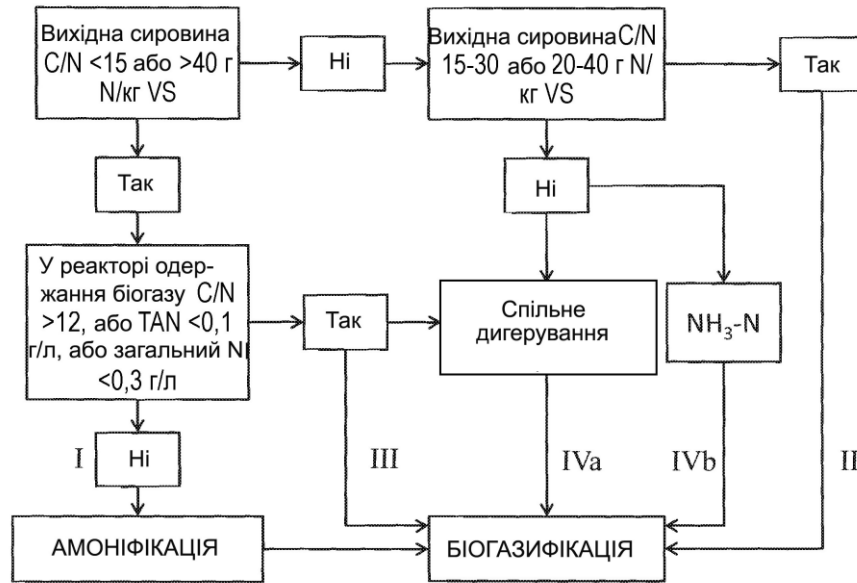
<220>
<221> misc_feature
<222> (8)..(8)
<223> n is a, c, g, or t

<220>
<221> misc_feature
<222> (14)..(14)
<223> k is t or g

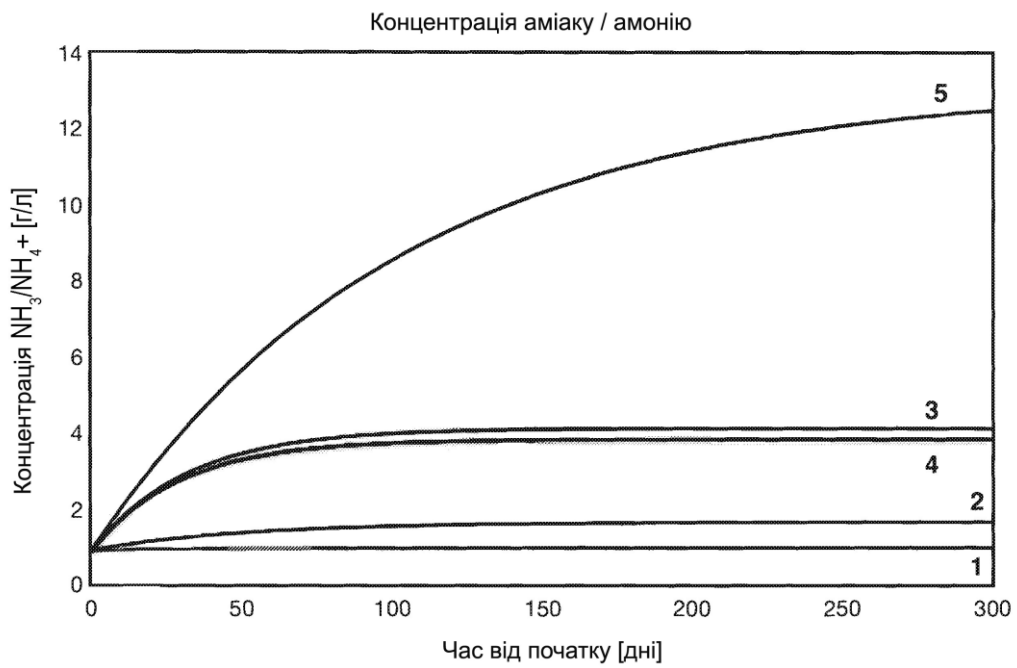
<400> 2
gtnttacngc ggckgctg
18

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Система для одержання біогазу з вихідної сировини, що містить:
перший реактор для обробки збагаченої азотом сировини для здійснення амоніфікації для
5 одержання аміачного дигестату,
систему для видалення азоту з аміачного дигестату для одержання дигестату зі зниженим
вмістом аміаку,
другий реактор для одержання біогазу з дигестату зі зниженим вмістом аміаку або зі збагаченої
вуглицем вихідної сировини, або зі збагаченої азотом вихідної сировини,
10 засоби для доставки вихідної сировини до першого реактора,
засоби для доставки аміачного дигестату з першого реактора в систему для видалення азоту,
засоби для доставки дигестату зі зниженим вмістом аміаку із системи для видалення азоту до
другого реактора,
засоби для доставки вихідної сировини або аміачного азоту безпосередньо до другого
15 реактора,
засоби для контролю за статусом азоту, які містять:
першу вимірювальну систему для визначення вмісту загального елементарного азоту в леткій
твердій речовині або молярного відношення вуглецю до азоту (C/N) у вихідній сировині,
другу вимірювальну систему для визначення кількості загального аміачного азоту, загального
20 елементарного азоту або молярного співвідношення C/N у дигестаті зі зниженим вмістом аміаку
після видалення азоту,
третю вимірювальну систему для визначення кількості загального аміачного азоту, загального
елементарного азоту або молярного відношення C/N у вмісті другого реактора,
засоби для керування розподілом збагаченої азотом вихідної сировини, збагаченої вуглицем
25 сировини або збагаченої азотом сировини, що містить більше 60 грам моносахаридів,
олігосахаридів, крохмалів або здатних піддаватися ферментації харчових волокон на кг леткої
твердої речовини, в перший або другий реактор для підтримки кількості загального аміачного
азоту, загального елементарного азоту або молярного відношення C/N у другому реакторі в
межах оптимального діапазону, і
30 засоби для контролю ефективності системи видалення азоту й потоку дигестату зі зниженим
вмістом аміаку в другий реактор на основі даних вимірювань, одержаних від другої та третьої
вимірювальної системи, для підтримки кількості загального аміачного азоту, загального
елементарного азоту або молярного відношення C/N у другому реакторі в межах оптимального
діапазону, які виконані з можливістю
35 обробки вихідної сировини в першому реакторі для одержання аміачного дигестату, коли
вихідна сировина збагачена азотом або другий реактор має молярне співвідношення C/N нижче
оптимального або вміст загального аміачного або елементарного азоту вище оптимального,
доставки вихідної сировини безпосередньо у другий реактор, коли сировина збагачена
вуглицем,
40 доставки збагаченої азотом сировини безпосередньо у другий реактор, коли другий реактор має
молярне співвідношення C/N вище оптимального або вміст загального аміачного або
елементарного азоту нижче оптимального.
2. Система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що перша вимірювальна система, яка визначає
загальний вміст елементарного азоту в леткій твердій речовині або молярне відношення C/N у
45 вихідній сировині, виконана з можливістю визначати, чи є вихідна сировина збагаченою азотом
або збагаченою вуглицем,
де вихідна сировина є збагаченою азотом, коли молярне співвідношення C/N у сировині нижче
15, або загальний вміст елементарного азоту в леткій твердій речовині сировини вище 40 грам
N на кілограм леткої твердої речовини, і
50 де вихідна сировина є збагаченою вуглицем, коли молярне співвідношення C/N у сировині
становить 15 або вище, або загальний вміст елементарного азоту в леткій твердій речовині
сировини становить 40 грам N на кілограм леткої твердої речовини або нижче.
3. Система за п. 1 або 2, в якій засоби для контролю статусу азоту виконані з можливістю
визначення, чи є статус азоту оптимальним,
55 де статус азоту у вмісті другого реактора є оптимальним, коли молярне співвідношення C/N
становить від 5,0 до 12 або кількість загального аміачного азоту становить від 0,1 до 2,5 грама
на літр або кількість загального елементарного азоту становить від 0,3 до 2,8 грама на літр.



Фіг.1



Фіг.2

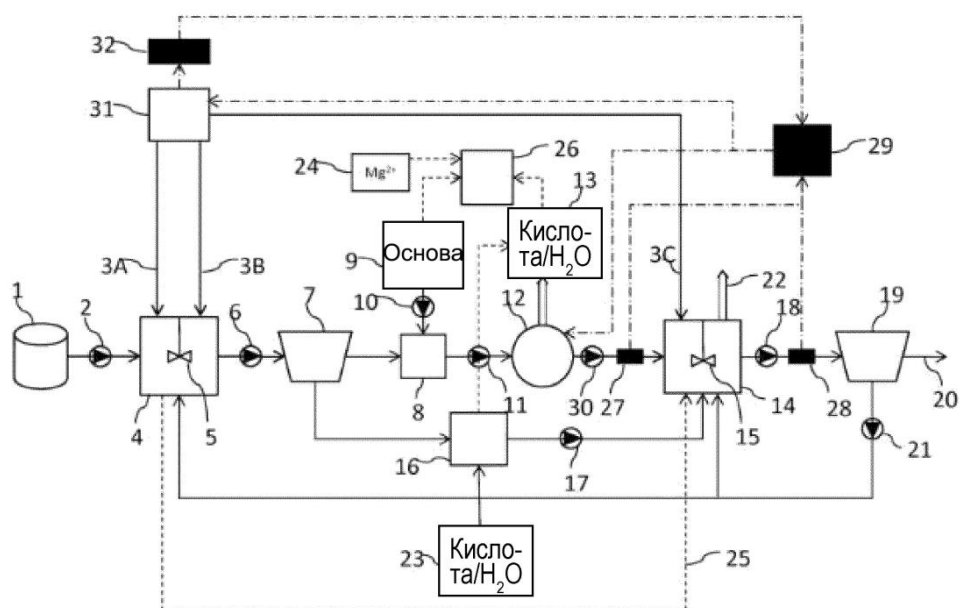


Fig.3

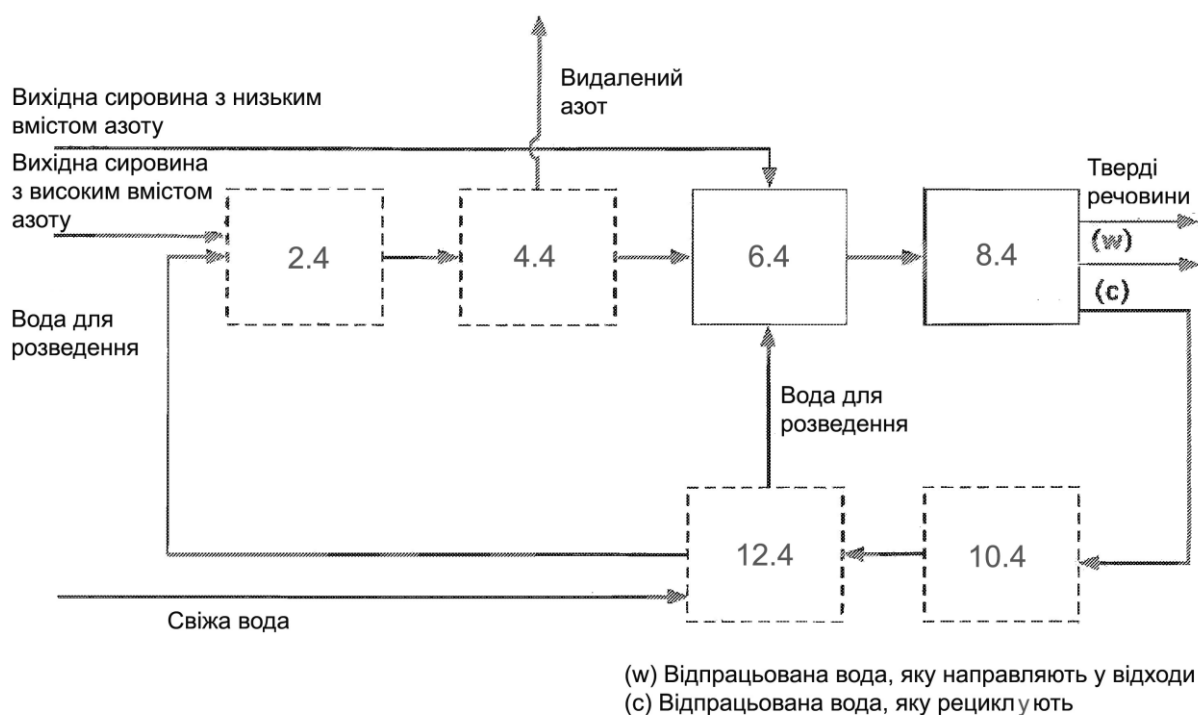


Fig.4