



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129079** (13) **C2**
(51) МПК (2024.01)
C12M 1/107 (2006.01)
C12M 1/00
C12M 1/33 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: a 2019 09032</p> <p>(22) Дата подання заявки: 29.01.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 09.01.2025</p> <p>(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 17153818.4</p> <p>(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 30.01.2017</p> <p>(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: EP</p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: 11.11.2019, Бюл.№ 21</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 08.01.2025, Бюл.№ 2</p> <p>(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/EP2018/052180, 29.01.2018</p>	<p>(72) Винахідник(и): Шпар Марсель (DE), Фехтер Леонгард (DE)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ГЕРБСТ УМВЕЛЬТТЕХНІК ГМБГ, Goerzallee 305e, 14167 Berlin, Germany (DE)</p> <p>(74) Представник: Кукшина Тетяна Архипівна, реєстр. №88</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA a201610814, 12.12.2016 UA a200613422, 15.02.2006 EP 2679688 A1, 01.01.2014 DE 102013114786 A1, 25.06.2015 DE 20121701 U1, 13.03.2003 DE 19532359 A1, 06.03.1997 DE 102006008026 A1, 23.08.2007 WO 2004/016797 A1, 26.02.2004 WO 02/06439 A2, 24.01.2002 WO 2006/048008 A2, 11.05.2006 EP 2927308 A1, 07.10.2015</p>
---	--

(54) СПОСІБ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

(57) Реферат:

Винахід стосується способу та біогазової установки для виробництва біогазу переважно з рисової соломи, де субстрат ферментують у двох реакторах (1, 2) циркуляційним методом так, що може бути покращено виробництво метану з целюлозомісткого та/або лігноцелюлозомісткого субстрату.

UA 129079 C2

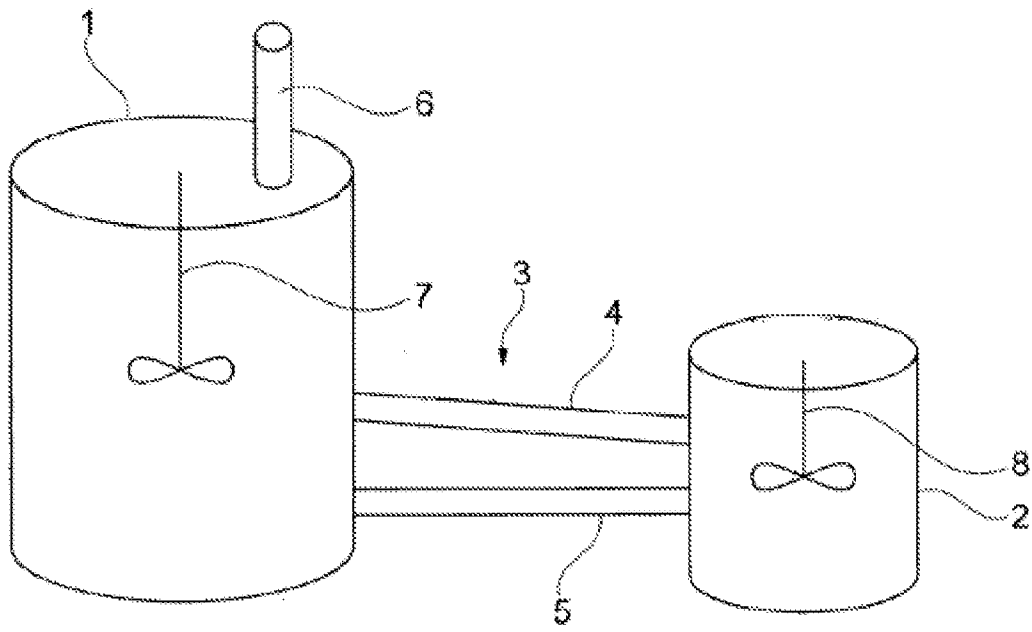


Fig. 1a

Винахід стосується способу і пристрою для виробництва біогазу.

Біогаз виробляється в біогазових установках, які застосовують, наприклад, у сільському господарстві, і в основному живлять екскрементами тварин або енергетичними культурами в якості субстрату. Біогаз виникає як продукт метаболізму бактерій і мікроорганізмів при ферментації органічного матеріалу. Біогаз є газовою сумішшю метану (CH₄) і діоксиду вуглецю (CO₂) з до 2 % сірководню (H₂S) і незначними газовими домішками, такими як аміак (NH₃), водень (H₂), азот (N₂) і монооксид вуглецю (CO).

Біогаз може вироблятися практично з усіх органічних речовин з основними компонентами жиру, білка і вуглеводів. Солому (серед іншого, пшеничну солому, ріпакову солому), яка, насамперед, містить целюлозу та лігноцелюлозу, дуже важко розкласти в анаеробному процесі і з цієї причини її використовують в меншій мірі або піддають попередній обробці. Зокрема при використанні рисової соломи, яку через високі частки лігніну і силікату важко розкласти у порівнянні з сировиною, що легко ферментується, такою як силос кукурудзи, досягається низький вихід біогазу в звичайних біогазових установках.

В патенті EP 2 927 308 A1 описано спосіб та біогазову установку для виробництва біогазу з соломи. У цьому документі передбачені засоби для попередньої обробки соломи для того, щоб здійснити їх механічне подрібнення перед подачею соломи в ферментер, в якому відбувається анаеробна, бактеріальна ферментація. Попередня обробка соломи шляхом подрібнення в молотковій дробарці, як це запропоновано, наприклад, в EP 2 927 308 A1, є дорогим процесом і призводить до прилипання ферментаційної маси, що перешкоджає перколяції і, отже, утворенню біогазу.

Тому метою винаходу є створення вдосконаленого способу виробництва біогазу. Зокрема, винахід стосується вдосконаленого, більш економічно ефективного способу. Крім того, винахід також стосується способу, який покращує виробництво біогазу з соломи та / або дозволяти виробництво біогазу з рисової соломи. Крім того, винахід має завданням запропонувати біогазову установку для здійснення способу.

Ця мета досягається способом за п. 1 формули винаходу, а також біогазовою установкою з ознаками, наведеними у додатковому незалежному пункті формули винаходу. Переважні втілення пов'язані з ознаками, наведеними у залежних пунктах формули винаходу, і прикладами варіантів втілення.

Запропонований спосіб виробництва біогазу має наступні операції. Описані операції не потребують проведення в зазначеній послідовності.

Целюлозомісткий субстрат та/або лігноцелюлозу, наприклад солому або рисову солому, щонайменше частково ферментують мезофільними бактеріями в першому реакторі протягом першого часу перебування. При цьому температура в реакторі становить щонайменше 20° C, переважно щонайменше 25° C, більш переважно щонайменше 30° C та/або не більше 55° C, переважно не більше 43° C, більш переважно не більше 46° C. Температуру можна регулювати шляхом нагрівання вмісту першого реактора та/або можна встановлювати, щонайменше, частково шляхом екзотермічних реакцій бактеріальних метаболічних процесів при виробництві метану. Мезофільні бактерії придатні для виробництва метану з оцтової кислоти. Слід зазначити, що термін "бактерії" тут слід розуміти в найширшому контексті. Серед науковців дискутується, чи є археї і бактерії різними таксонами. Однак в даному контексті, зокрема, археї також слід розуміти як бактерії. Археї переважно можуть бути розміщені в наступному порядку: Methanobacteriales, Methanococcales, Methanomicrobiales, Methanocellales, Methanosarcinales, Methanoscarchina, Methanococcus, Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanothermobacter та/або Methanopyrgale. Бактерії можуть містити метаногени, що розкладають ацетат, а також метаногени, що окислюють водень. Метаногени, що розкладають ацетат, утворюють метан, наприклад, з сполук, що містять метильні групи, наприклад, оцтову кислоту, шляхом відщеплення метильної групи і зменшення її в метан. Тим не менш, метаногени, що окислюють водень, зменшують вуглекислий газ з воднем до метану і воду також шляхом перетворення мурашиною кислотою (HCOOH). Перший реактор переважно закривають герметично, щоб можна було забезпечити анаеробну ферментацію.

Перший час перебування є часом, при якому субстрат залишається в першому реакторі. Субстрат може залишатися в першому реакторі один раз (безперервно) протягом цього часу, або перший час перебування також можна розуміти як адитивний час, тобто час, при якому частина кількості субстрату витрачається в першому реакторі між моментом, коли вносять частину кількості субстрату в біогазову установку вперше, і моментом випуску частини кількості субстрату з біогазової установки. В цьому випадку переважний час перебування становить щонайменше 20 днів, переважно щонайменше 25 днів та/або не більше 40 днів, переважно не більше 35 днів. Целюлозомісткий субстрат та /або лігноцелюлозу, зазвичай є соломою,

переважно рисовою соломою. Однак також можуть бути використані суміші субстратів, що містять целюлозу та/або лігноцелюлозу, і речовин, що легко ферментуються, таких як, наприклад, гній (рідкий гній, суспензія), компост або харчові відходи. При цьому масове співвідношення субстратів, що містять целюлозу та/або містять лігноцелюлозу m_C / LC до масового співвідношення субстратів, що легко ферментуються m_N може становити щонайменше $m_C / LC / m_N = 50/1$, переважно щонайменше

$m_C / LC / m_N = 40/1$, більш переважно $m_C / LC / m_N = 20/1$ у вагових частках.

Додатковою стадією способу є перенесення щонайменше частково частини ферментованого субстрату з першого реактора у другий реактор з гіпертермофільними бактеріями, який може підігріватися, причому гіпертермофільні бактерії є придатними для розкладання щонайменше частково ферментованого субстрату. Гіпертермофільні бактерії мають оптимум росту при температурах понад 60°C . При цьому гіпертермофільні бактерії переважно є бактеріями з групи хлостридій, переважно *Chlostridium aceticum*, *Chlostridium thermocellum* та/або *Chlostridium stercorarium*. Вони можуть розкладати лігноцелюлозу хоча б частково в симбіозі з іншими видами і метаболізувати її в більш низькі органічні кислоти і коротколанцюгові спирти. Цими проміжними продуктами можуть бути: оцтова кислота, мурашина кислота, пропіонова кислота, масляна кислота, етанол, бутанол та/або бутандіол. Ці проміжні продукти можуть згодом бути розкладені ацетогенними бактеріями на водень, вуглекислий газ і головним чином на оцтову кислоту. У цьому випадку другий реактор може бути герметично закритий таким чином, що може відбуватися анаеробна ферментація при відсутності кисню.

Щонайменше частково ферментований субстрат інкубують протягом другого часу перебування при температурі в діапазоні щонайменше 55°C , переважно щонайменше 60°C , більш переважно щонайменше 65°C та/або не більше 80°C , ще більш переважно не більше 75°C , найбільш переважно не більше 70°C . При цьому щонайменше частково утворюється оцтова кислота. Другий час перебування субстрату у другому реакторі зазвичай становить щонайменше 10 год., переважно щонайменше один день та/або найбільше 5 днів, переважно щонайменше два дні та/або найбільше три дні. Отже, утворення супутніх речовин (фенолів, крезолів, диметилфенолів, ваніліну) може бути значно послаблене. Крім того, сполуки заліза можуть бути підмішані до другого реактора. Сполуки заліза можуть бути вже введені в субстрат при введенні в перший реактор та/або безпосередньо в термофільний реактор. Враховуючи високі концентрації, продукт реакції може бути виведений з термофільного реактора. Невеликі кількості/залишки можуть бути видалені з системи з твердими залишками ферментації під час процесу відділення. Другий час перебування також може бути абсолютним або адитивним, як і при першому часі перебування. Таким чином, субстрат може залишатися у другому реакторі протягом другого часу перебування (безперервно), або сума індивідуальних тривалостей часу, який субстрат проводить у другому реакторі, відповідає другому часу перебування.

Субстрат з утвореною оцтовою кислотою переносять з другого реактора назад в перший реактор. Лігноцелюлоза або целюлоза, яка міститься в субстраті, була розкладена, щонайменше частково, на, наприклад, оцтову кислоту, після інкубації у другому реакторі. Лігноцелюлоза, яка не була перетворена в оцтову кислоту протягом другого часу інкубації, була щонайменше частково розкладена на більш низькі структури мікроорганізмами. Повернений відстій з утвореною оцтовою кислотою інкубують у першому реакторі, а зокрема оцтова кислота перетворюється в метан мезофільними бактеріями, як описано вище.

На додатковій операції біогаз, що містить метан, видаляють з першого реактора. При цьому біогаз зазвичай включає від 40 % до 60 % метану (CH_4), від 40 % до 60 % діоксиду вуглецю (CO_2), від 100 до 5000 ppm сірководню (H_2S) і незначні газові домішки.

Спосіб додатково має ту перевагу, що біогаз може бути вироблений навіть при низькій концентрації амонійного азоту. У той час як у відомих біогазових установках мінімальна концентрація амонійного азоту складає 1,1-2,5 г $\text{NH}_4\text{-N}$ /л, описаним вище способом вже може виробляти біогаз з концентраціями щонайменше 100 мг $\text{NH}_4\text{-N}$ / л, переважно щонайменше 150 мг $\text{NH}_4\text{-N}$ / л, більш переважно щонайменше 200 мг $\text{NH}_4\text{-N}$ /л та/або не більше 1 г $\text{NH}_4\text{-N}$ /л, переважно не більше 700 мг $\text{NH}_4\text{-N}$ / л, більш переважно не більше 400 мг $\text{NH}_4\text{-N}$ /л. Крім того, внаслідок адаптації мікроорганізму до низького N-навантаження, також не є необхідним штучно підтримувати N-концентрацію, наприклад, шляхом надлишкового навантаження гною або навіть додавання хімічних продуктів азоту. Тут, звичайно, слід враховувати відношення вуглецю до азоту. Відповідно, винахід може бути також встановлено в полях, де є лише невеликі кількості гною. Це до певною міри є дуже важливо для звичайних біогазових установок.

Питома швидкість утворення біогазу описаної біогазової установки або описаного способу, з рисової соломи, може становити щонайменше 200 Nm^3 метану / (t oDM) (t oDM - кількість

органічної сухої речовини в тонах), переважно щонайменше 210 Нм³ метану (t oDM) та / або до до 250 Нм³ метану / (t oDM), переважно до 330 Нм³ / (t oDM). Час перебування, як правило, становить найбільше 30 днів, тоді як у звичайних біогазових установках, з урахуванням порівняно тривалого часу перебування 180 днів, було досягнуто порівняно низькі виходи метану, лише 210 Нм³ метану / (t oDM).

Об'ємне співвідношення отриманого субстрату, тобто співвідношення між об'ємами субстрату, який реактор може отримувати, між другим і першим реактором, зазвичай становить приблизно $V_2 / V_1=1/20$, переважно приблизно $V_2 / V_1=1/6$, більш переважно приблизно $V_2 / V_1=1/15$. Тому перший реактор може отримувати, наприклад, 1000 м³ субстрату, тоді як другий реактор може отримувати 50 м³ субстрату, більш переважно 100 м³ субстрату. Переважне співвідношення V_2 до V_1 може бути від 1/6 до макс. 1/20.

Об'ємне навантаження відповідає кількості органічної сухої речовини (oDM), вимірної об'ємом реактора протягом часу, вимірюного в днях (д). Об'ємне навантаження в першому реакторі зазвичай становить щонайменше 2,5 (кг oDM) / (м³ д), переважно щонайменше 3 (кг oDM) / (м³ д), більш переважно 3,5 (кг oDM) / (м³ д) і / або не більше 5,0 (кг oDM) / (м³ д), переважно не більше 4,5 (кг oDM) / (м³ д).

Об'ємне навантаження другого реактора в деяких прикладах втілення становить від 5 до 20 разів вище, переважно 7-13 разів вище, більш переважно 9-11 разів вище, ніж об'ємне навантаження в першому реакторі.

Тверда речовина, що подається у вигляді соломи, зокрема рисової соломи, в реактор, переважно становить щонайменше 10 % по масі в потоці живлення, більш переважно 20-40 % по вазі, не більше до 70 % по вазі. До цього додається переважно 30-90 % по вазі гною, наприклад, коров'ячого гною, більш переважно 60 % по вазі. Рециркуляція може бути додана для обробки рідини як альтернативи суспензіям та/або воді, переважно 5-8 % по вазі, більш переважно 10-70 % по вазі. Взагалі, вищезазначені тверді речовини можуть переважно додавати до 100 %.

Субстрат може бути перемішаний, зокрема безперервно перемішуватися, в першому та/або другому реакторі з допомогою насосного пристрою та/або пристрою для перемішування. Це може бути доцільним для запобігання обволокуванню і прилипанню субстрату і таким чином може бути забезпечена максимальна рівномірність температура і розподілу поживних речовин.

Крім того, спосіб може бути здійснений, щонайменше частково, циркуляційним методом, тобто можна повторювати операції "перенесення щонайменше частково частини ферментованого субстрату з першого реактора, у другий реактор, що підігрівається і має гіпертермофільні бактерії, причому, гіпертермофільні бактерії є придатними для розкладання щонайменше частково ферментованого субстрату " і "повернення субстрату з оцтовою кислотою з другого реактора в перший реактор". Таким чином, може бути забезпечена циркуляція субстрату і він може бути додатково розкладений при кожному повторному проходженні крізь реактор. Реакції в реакторі можуть впливати одна на одну, оскільки, наприклад, продукт реакції знаходиться у другому реакторі (оцтова кислота), а реагент знаходиться в першому реакторі. Виробництво метану в першому реакторі, таким чином, безпосередньо відповідає за виробництво метану, але розкладання целюлози або лігноцелюлози не є безпосередньо необхідним у другому реакторі. Переважно, додаткове розкладання, зокрема, субстрату, що важко ферментується, такого як, наприклад, лігноцелюлоза, може, таким чином, створювати збільшене виробництво метану порівняно з випадком одного проходження субстрату крізь перший та/або другий реактори.

Ферментаційні залишки, які накопичуються в першому реакторі і які, суттєво, не розкладаються бактеріями після ферментації в першому реакторі, можуть виводитися з першого реактора і піддаватися дренажу. Можна, наприклад, приладом, який вимірює, наскільки великий вихід біогазу в даний момент, визначити, коли вихід біогазу зменшується. Якщо біогаз більше не виробляється в достатній мірі або продовжує вироблятися лише у невеликій кількості, то залишки субстрату в реакторі, здебільшого, більше не розкладаються. Ці залишки субстрату є відповідно ферментаційними залишками. Момент часу, коли ферментаційні залишки повинні бути вивантажені, також може бути зафіксований і не визначатися виходом біогазу. Наприклад, ферментаційні залишки можуть вивантажуватися регулярно після першого часу перебування. Відповідно, відокремлене технологічне рідке середовище можна, щонайменше частково, подавати знову у перший реактор по розвантажувальному трубопроводу. Ферментаційні залишки є рідкими або твердими залишками, які залишаються після ферментації субстрату. При дренаванні, рідини можуть бути відокремлені від твердих ферментаційних залишків таким чином, що виникають твердий ферментаційний залишок і технологічна рідина. Тверді ферментаційні залишки можуть бути

видалені з біогазової установки, а технологічне рідинне середовище може подаватися в змішувальний пристрій або безпосередньо в перший реактор. Отже, розвантажувальний трубопровід може проходити в дренажний пристрій, а звідти або в перший реактор, або в змішувальний пристрій. Субстрат, який повинен подаватися в перший реактор, може бути

5 змішаний з технологічним рідинним середовищем в змішувальному пристрої для того, щоб досягти більш однорідної консистенції субстрату та / або бути здатним регулювати вміст сухої речовини. Тут суха речовина є такою часткою речовини, яка залишається після повного видалення води. Субстрат і технологічна рідинна суміш можуть бути виведені із змішувального пристрою в перший реактор.

10 З другого реактора можна вивести будь-які небажані речовини. Кремнієва кислота може виникати, наприклад, як небажаний продукт при розкладанні біомаси. Вона може потрапити в перший реактор з допомогою циркуляційних пристроїв і діяти таким чином, що зменшує утворення метану. Для того, щоб зменшити концентрацію кремнієвої кислоти, яка зменшує утворення метану, та/або інших речовин, які є шкідливими для бактерій, ці речовини можуть

15 виводитися переважно, коли вони вже знаходяться у другому реакторі. Таким чином, це може сприяти утворенню метану та позитивно впливати на ефективність роботи біогазової установки.

Крім того, як вже було сказано, целюлозомісткий субстрат, може містити лігноцелюлозу. В якості субстрату переважно може бути використана соломоподібна біомаса, наприклад солома, зокрема солома пшениці, сіно та/або рисова солома, та/або їх силос. Особливо підходить

20 рисова солома, оскільки тут високий вміст енергії обумовлено високою часткою лігноцелюлози. Ця енергія може бути використана у вигляді біогазу в першому реакторі шляхом розкладання лігноцелюлози у другому реакторі. Тут субстрати консервуються молочнокислими бактеріями шляхом силосування, при цьому молочнокислі бактерії перетворюють цукор, що міститься в субстраті, в кислоти. Крім того, біогазові установки також можуть завантажуватися гноєм або

25 гноєподібними залишками, переважно курячим гноєм, свинячим гноєм або коров'ячим гноєм.

Величина рН субстрату в першому реакторі зазвичай лежить в діапазоні від рН-нейтрального до слабколужного, так що мезофільні бактерії можуть існувати при максимально сприятливих умовах життя, щоб стимулювати утворення метану. Сприятливі умови життя зазвичай складають 6,6-8,3 рН.

Величина рН у другому реакторі зазвичай становить 3,5, переважно щонайменше 4,5 та/або не більше 7,5; переважно не більше 6,5. Така величина рН може сприяти утворенню оцтової кислоти у другому реакторі гіпертермофільними бактеріями. У свою чергу, метан може бути утворений з оцтової кислоти в першому реакторі, так що більш велике виробництво оцтової кислоти опосередковано стимулює утворення метану.

35 Як правило, волокна основи можуть бути зменшені в розмірах перед подачею субстрату в перший реактор. Волокна субстрату можуть бути попередньо механічно оброблені, наприклад, з допомогою різального млина. Рисову солому зазвичай нарізають на волокна довжиною 40 мм, причому, звичайно, для рисової соломи, як і для інших волокон субстрату, можливі інші довжини волокон, переважно, менше 60 мм. Таке зменшення розміру може мати ту перевагу, що волокна

40 субстрату не зможуть накручуватися навколо пристроїв перемішування або роторів насосів і тим самим порушувати їх функціонування.

Субстрат, зокрема солома, гній і плаваюча на поверхні рідина, можуть бути змішані перед введенням у перший реактор. Однак, солома, зокрема рисова солома, також може бути введена в перший реактор без попереднього домішування гною, технологічних рідинних середовищ та/або іншої біомаси. Це має ту перевагу, що можна запобігти природному нагріванню за рахунок розчиненого кисню в суміші внаслідок процесів респірації і утворення метану після певного часу зупинки і втрат енергії. Більш того, контейнер постачання часто не може бути охолоджений, тому за рахунок цього не може відбуватися інактивація мікроорганізмів. Рисову солому переважно суттєво висушують, механічно зменшують в

50 розмірах і отримують пухкий матеріал для заповнення. Рисова солома може бути завантажена в перший реактор, наприклад, з допомогою шнекового живильника. Інші біомаси (наприклад, суспензії та/або силоси) можуть бути завантажені в перший реактор паралельно цьому, наприклад, з допомогою насосів. Винахід, крім того, відноситься до біогазової установки для отримання біогазу, яка має перший реактор, другий реактор і циркуляційний пристрій. Перший реактор містить мезофільні бактерії, які придатні для отримання метану з оцтової кислоти, водню і діоксиду вуглецю. Другий реактор, що може нагріватися, містить гіпотермічні бактерії, які придатні для щонайменше часткової анаеробної ферментації целюлозомісткого субстрату, переважно лігноцелюлозомісткого субстрату в оцтову кислоту. Циркуляційний пристрій для

55 забезпечення циркуляції біомаси між першим реактором і другим реактором має транспортуючий пристрій і щонайменше один з'єднаний трубопровід, який з'єднує перший

60

реактор і другий реактор. Транспортуючий пристрій виконано з можливістю транспортування субстрату по з'єднальному трубопроводу від першого реактора до другого реактора, а також від другого реактора до першого реактора. Циркуляційний пристрій може мати насосний пристрій, який перекачує субстрат з одного реактора в інший. Насосний пристрій може включати, наприклад, ексцентриковий насос-шнек.

З'єднальний трубопровід для транспортування або доставки субстрату з першого в другий реактор може мати аераційний пристрій. Це може бути доцільним, оскільки штами анаеробних бактерій першого реактора, щонайменше, частково гинуть або інактивуються. У деяких варіантах втілення клапан, переважно однокерований клапан, і насос передбачені в з'єднальному трубопроводі перед аераційним пристроєм і після нього. При, наприклад, закритому клапані за аераційним пристроєм, субстрат може бути перекачаний цим насосом з першого реактора крізь клапан, який відкритий перед аераційним пристроєм, в аераційний пристрій і там підданий аерації. Аераційний пристрій може бути, необов'язково, розташований на більш високому рівні порівняно з виходом з'єднального трубопровода з першого реактора, так що насос перекачує субстрат вгору (тобто в напрямку, протилежному силі ваги) тому субстрат піддається тиску згідно рівняння Бернуллі. Це може бути реалізовано, наприклад, шляхом перекачування субстрату в аераційний пристрій у вигляді вертикальної колони. Згодом клапан перед аераційним пристроєм закривають до аерації або після заповнення аераційного пристрою. Клапан після аераційного пристрою відкривають після аерації. У тих варіантах здійснення, в яких субстрат піддається тиску, субстрат надходить у другий реактор за рахунок різниці тисків і схильності субстрату до створення компенсації тиску при відкритому другому клапані. Інші варіанти здійснення можуть також передбачати відкачування субстрату з аераційного пристрою у другий реактор з допомогою додаткового насоса.

У деяких варіантах здійснення другий реактор може мати додатковий трубопровід подачі. Наприклад, речовини, що легко ферментуються, можуть бути введені безпосередньо у другий реактор по цьому трубопроводу подачі, щоб оптимізувати процес ферментації, який відбувається там, та/або регулювати співвідношення речовин, що важко ферментуються і що легко ферментуються. Таким чином, можна стимулювати регулювання величини рН у кислому діапазоні. Тому додавання хімічних речовин, як правило, є зайвим.

Біогазова установка може додатково мати дренажний пристрій для відділення технологічного рідинного середовища при дренажі залишків ферментації. При цьому перший реактор може бути з'єднаний з дренажним пристроєм випускним трубопроводом для відведення залишків ферментації. Випускний трубопровід може бути виконаний, наприклад, як труба або як шланг. Також можливе відкачування залишків ферментації в додатковий контейнер.

Залишки ферментації є тими залишками субстрату, які після ферментації в першому реакторі та/або у другому реакторі суттєво більше не розкладаються мезофільними та/або гіпертермофільними бактеріями.

Установка для біогазу може мати пристрій перемішування, розташований перед першим реактором і з'єднаний з цим першим реактором впускним трубопроводом. Отже, субстрат може бути змішаний з технологічним рідинним середовищем, тобто вміст сухої речовини в субстраті, який можна подавати по впускному трубопроводу до першого реактора, можна регулювати. В даному описі вміст сухої речовини зазвичай становить щонайменше 8 %, переважно щонайменше 12 % та/або не більше 30 %, переважно не більше 20 %.

Біогазова установка може додатково мати зворотний пристрій для повернення технологічного рідинного середовища в перший реактор. Технологічне рідинне середовище може бути введене в пристрій перемішування та/або в перший реактор і тому може бути змішане з субстратом, який підлягає ферментації. Технологічне рідинне середовище може мати сенс, оскільки воно розріджує і гомогенізує субстрати, які важко ферментувати, і бактерії мають кращий доступ до субстрату, що допомагає ферментації.

В деяких варіантах здійснення з'єднальний трубопровід між першим реактором і другим реактором має двохходовий клапанний пристрій та/або аераційний пристрій. Додатково, або альтернативно, циркуляційний пристрій може також мати два з'єднальних трубопроводи між першим реактором і другим реактором. Таким чином, може бути створена циркуляція субстрату між першим і другим реакторами. Субстрат, який не може бути метаболізований або важко метаболізується в метан мезофільними бактеріями, далі розкладають додатково у другому реакторі. Зокрема, субстрат, що містить лігноцеллюлозу, далі додатково розкладається у другому реакторі. Після розкладання переважно лігноцеллюлозомісткого субстрату його можна провести по з'єднальних трубопроводах назад у перший реактор, щоб щонайменше частково піддати ферментації там в метан. Цей цикл може повторюватися так часто, як бажано.

Циркуляційний пристрій може мати насос, наприклад, ексцентриковий насос-шнек, для подачі субстрату. Звичайно, також можливі будь-які інші насосні системи, які підходять для транспортування щонайменше в'язкої біомаси, наприклад, роторні насоси. Використання перистальтичних насосів особливо підходить для обробки відстою рисової соломи.

5 Біогазова установка зазвичай може мати щонайменше один пристрій перемішування та/або насосний пристрій для перемішування субстрату в першому реакторі та/або в другому реакторі. Пристрій перемішування може бути мішалками, наприклад центральними мішалками, заглибними моторними мішалками та/або лопатевими мішалками. Можна, звичайно, також використовувати інші мішалки. В цьому випадку характеристики текучості субстрату або біомаси
10 можуть бути покращені і забезпечений, суттєво, постійний склад біомаси, а також покращується процес ферментації.

Перший реактор може бути підігрітий до температури щонайменше 30° С, переважно щонайменше 35° С, більш переважно щонайменше 40° С. Другий реактор може бути підігрітий до температури щонайменше 55° С, переважно щонайменше 60° С, більш переважно
15 щонайменше 65° С.

У додатковому варіанті здійснення біогазова установка може мати пристрій попередньої обробки для зменшення розміру волокон субстрату. При цьому волокна субстрату можуть бути порізані до регульованої довжини волокна, переважно максимум 40 мм, для досягнення істотного гомогенного перемішування субстрату з допомогою насоса або мішалки, що буде
20 протидіяти накручуванню волокон субстрату навколо лопаток мішалки або блокуванню трубопроводів або насосів спайками або вузловими волокнами субстрату.

Другий реактор переважно містить бактерії, вибрані з групи *Clostridium* spp., переважно *Clostridium acetivum*, *Clostridium thermocellum* та/або *Clostridium stecorarium*, та/або *Thermotogaceae*.

У деяких варіантах втілення інокуляція гіпертермофільного реактора здійснюється перед першою подачею субстратів. Культуру інокуляції можна взяти, наприклад, з існуючих гіпертермофільних реакторів згідно з описаною патентною заявкою (так званий активований відстій). Крім того, у другому реакторі можливе розмноження гіпертермофільних мікроорганізмів шляхом додавання речовин залишків тваринного походження та/або біомаси з процесу
25 анаеробного / аеробного розкладу (гниття, компостування, респіраційних процесів).

Описана біогазова установка може бути використана для проведення описаного способу. Ознаки, які описані стосовно способу, можуть, відповідно, стосуватися біогазової установки, а особливості, які описані стосовно біогазової установки, можуть також стосуватися способу.

В існуючих біологічних системах обробки не можна виключити речовини, які можна легко ферментувати (гексози, крохмалі) і які метаболізуються при респіраторних (аеробних) процесах у вуглекислий газ. Формування високоенергетичного метану може бути неможливим через ці речовини. Цього можна уникнути в описаному способі, оскільки свіжі маси спочатку розкладаються / ферментуються анаеробним способом. Аеробні респіраторні процеси не відбуваються. Тільки речовини, які важко розкладаються (переважно целюлози, геміцелюлози,
35 лігноцелюлози та/або воски), є доступні для конкретних мікроорганізмів для утворення органічних кислот і спиртів. Кількість поданого тепла однакова у порівнянні з існуючими системами. Підвищена подача енергії не відбувається.

Приклади здійснення цього винаходу далі пояснюються з посиланням на супровідні креслення, де показано:

45 Фіг. 1a: схематичне зображення біогазової установки,
Фіг. 1b: схематичне зображення біогазової установки з аераційним пристроєм,
Фіг 2a: схематичне зображення біогазової установки з двоходовим клапанним обладнанням,
Фіг 2b: схематичне зображення біогазової установки з двоходовим клапанним обладнанням і аераційним пристроєм;

50 Фіг 3: схематичне зображення біогазової установки з дренажним пристроєм,
Фіг 4: схематичне зображення біогазової установки зі змішувальним пристроєм, пристроєм зменшення розміру і з дренажним пристроєм, і

Фіг 5: схематичне зображення способу виробництва біогазу.

На Фіг.1a показано біогазу установку з першим реактором 1 і другим реактором 2. Вміст першого реактора 1 складають мезофільні бактерії і субстрат, що містить целюлозу і лігноцелюлозу, причому субстрат, що містить целюлозу і лігноцелюлозу має рисову солому, силос рисової соломи і курячий гній. У наведеному прикладі перший реактор 1 піддається нагріванню і вміст першого реактора 1 нагрівається до температури 33° С. Проте, також можливе, щоб перший реактор 1 не піддавався нагріванню, а реакція відбувалась при
60 температурі між 20° С і 40° С внаслідок екзотермічного процесу ферментації, за рахунок

вміщених мезофільних бактерії. Мезофільні бактерії, в даному прикладі це є архебактерії і зокрема Methanobacteriales, Methanococcales, Methanomicrobiales, Methanocellales, придатні для отримання метану з оцтової кислоти. Субстрат, який міститься в першому реакторі 1, перебуває, наприклад, 30 днів у першому реакторі 1 і, щонайменше, частково ферментується, так що утворюється метан. Частина щонайменше частково ферментованого субстрату виводиться з першого реактора 1 у другий реактор 2 з допомогою циркуляційного пристрою 3. Циркуляційний пристрій в даному описі має перший 4 і другий 5 з'єднальні трубопроводи 5, в яких щонайменше частково ферментований субстрат транспортується по першому з'єднальному трубопроводу 4 з першого реактора 1 у другий реактор 2 з допомогою насосного пристрою, переважно ексцентрикового насоса-шнека. Другий реактор 2 є таким, що може нагріватися і вміст другого реактора 2 нагрівається до температури 68° С. Гіпертермофільні бактерії, наприклад, clostridia, переважно Clostridium acetium, Clostridium thermocellum та/або Clostridium stecorarium, знаходяться у другому реакторі 2. Гіпертермофільні бактерії є придатними для додаткового розкладання щонайменше частково ферментованого субстрату, зокрема лігноцелюлози. Для цього, щонайменше, частково ферментований субстрат залишають у другому реакторі максимум на 3 дні. Там лігноцеллюлоза перетворюється, щонайменше частково, в ацетат, бутанол і інші кислоти / спирти з допомогою гіпертермофільних бактерій. Субстрат з оцтовою кислотою відводять з другого реактора 2 у перший реактор 1 по другому з'єднальному трубопроводу 5 з допомогою ексцентрикового насоса-шнека. Субстрат з оцтовою кислотою інкубують у першому реакторі 1 з допомогою мезофільних бактерії, а також метановмісного біогазу з щонайменше 50 % метаном, 30 % діоксидом вуглецю, 1000 ppm сірководнем і незначними газовими домішками. Біогаз, щонайменше, частково виділений і виведений з першого реактора 1 крізь випускний пристрій 6, тобто газовідвід. Решту, щонайменше, частково ферментованого субстрату знову переносять у другий реактор 2 по першому з'єднальному трубопроводу 4 і далі розкладають, щоб після додаткового часу перебування протягом 5 днів у другому реакторі 2 знову подати в перший реактор 1 по другому з'єднальному трубопроводу 5 і інкубувати там знову. Таким чином, субстрат ферментується і далі розкладається як в першому, так і в другому реакторі 2. Циркуляція цього субстрату повторюється так часто, поки з субстрату не може бути отримано, або дуже мало отримано, біогаз.

При перенесенні щонайменше частково ферментованого субстрату з першого реактора 1 у другий реактор 2 більшість мезофільних бактерій гинуть у другому реакторі 2 внаслідок високої робочої температури. Гіпертермофільні бактерії гинуть у першому реакторі, щонайменше, здебільшого, коли вони проходять по другому з'єднальному трубопроводу 5 у перший реактор 1 за рахунок зниження температури. Перший реактор 1, а також другий реактор 2, кожен має пристрій 7, 8 перемішування, причому перше пристрій 7 перемішування безперервно перемішує вміст першого реактора 1, а другий пристрій 8 перемішування перемішує вміст другого реактора 2, щоб запобігти утворення відкладень і спайок вмісту і утримувати субстрат в якомога однорідному стані. У першому реакторі субстрат у вагових частинах в двадцять разів більше, ніж субстрат у другому реакторі 2.

На Фіг. 1b показано біогазову установку, яка суттєво відповідає установці на Фіг. 1a, але має аераційний пристрій 28 в з'єднальному трубопроводі 4. Одноходовий клапан 29 і насос 30 розташовані перед аераційним пристроєм 28. Додатковий односторонній клапан 30 розташований за аераційним пристроєм. Насос 30 відкачує субстрат з першого реактора 1 в аераційний пристрій і крізь відкритий клапан 29 при закритому клапані 31. Клапан 29 потім закривається. Субстрат аерують в аераційному пристрої. В даному описі, переважно анаеробні бактерії з першого реактора 1, які знаходяться в субстраті, що підлягає аерації, інактивуються або гинуть під дією аерації. Клапан 31 згодом відкривають і аерований субстрат вводять у другий реактор 2. Таким чином, вдалося значною мірою запобігти метаноутворюючої ферментації у другому реакторі 2. Немає необхідності аерації субстрату у зворотному каналі з другого реактора 2 в перший реактор 1, оскільки бактерії реактора 2, переважно clostridia, дезактивуються або гинуть через різницю температур у другому реакторі 2 і першому реакторі 1, оскільки ці бактерії потребують більш високих температур, що відповідають температурам в реакторі 2, для виживання та/або для активного метаболізму.

Другий реактор на Фіг. 1b додатково має живильний трубопровід 32. Речовини, що легко ферментуються, можуть бути змішані з вмістом реактора шляхом подачі по цьому живильному трубопроводу 32.

На Фіг. 2a показаний ще один приклад втілення біогазової установки на Фіг.1, де в першому реакторі застосовується насосний пристрій 9 для перемішування субстрату. Вміст другого реактора 2 ретельно перемішують пристроєм 8 перемішування. Поєднання пристрою 8

перемішування та/або насосного пристрою 9 в першому 1 та/або другому реакторі 2 є також можливим для біогазової установки. Зокрема, це може бути вигідним для того, щоб можна було вибрати змішувальний пристрій, який є недорогим і енергозберігаючим, наскільки це можливо відповідно до розмірів реакторів, щоб зменшити виробничі та експлуатаційні витрати на біогазову установку.

На Фіг. 2b показано біогазову установку, яка, суттєво, відповідає біогазовій установці на Фіг. 2a, але має з'єднаний трубопровід 10, який додатково має аераційний пристрій 28, два насоси 30 і два двоходові клапани 11. Субстрат може бути перекачений з першого у другий реактор 2 і навпаки шляхом відповідного відкриття і закриття клапанів 11. Субстрат переважно аерують при перекачуванні з першого реактора 1 у другий реактор 2. Для цього двоходовий клапан 11 (аналогічно одноходовому клапану на Фіг. 1b) після аераційного пристрою спочатку закривають і субстрат перекачують з першого реактора 1 в аераційний пристрій 28. Двоходовий клапан 11 ' перед аераційним пристроєм 28 потім закривають і субстрат аерують в аераційному пристрої 28. Двоходовий клапан 11 ' за аераційним пристроєм відкривають після процесу аерації для введення субстрату у другий реактор 2. Двоходові клапани 11 і 11 ' можуть бути відкриті таким чином, що субстрат може протікати тільки в напрямку першого реактора 1, для повернення субстрату з другого реактора 2 в перший реактор, щоб забезпечити циркуляцію. Для цього передбачений додатковий насос 30 ', згаданий додатковий насос відкачує субстрат з другого реактора 2 в перший реактор 1. Крім того, на аераційному пристрої 28 може бути передбачений додатковий клапан, який закривають, даючи зворотній напрям, так що субстрат можливо, але необов'язково, знову аэриувати після того, як його повертають у перший реактор. Такий клапан не показаний на Фіг. 2b, але він може бути додатково доданий.

Вміст першого реактора має значення рН - 7. Вміст другого реактора 2 має значення рН - 5,5. Ці значення рН відповідають переважним значенням рН бактерій, які вводяться в перший і другий реактори 1, 2.

На Фіг. 2 перший реактор 1 має в двадцять разів більший об'єм, ніж об'єм другого реактора 2. Два реактори 1, 2 на Фіг. 2a і 2b з'єднано з циркуляційним пристроєм 3, причому, циркуляційний пристрій має пристрій транспортування або доставки у вигляді ексцентрикового насоса- шнека і з'єднального трубопровода 10 з пристроєм 11 з двоходовим клапаном. Напрямок потоку субстрату може бути встановлений з допомогою пристрою 11 з двоходовим клапаном, так що потік субстрату з першого реактора 1 у другий реактор 2, а також потік субстрату з другого реактора 2 у перший реактор 1 може проходити по з'єднаному трубопроводу 10. Як вже було описано і показано на фігурах 1a і 1b, біогаз може бути виділений і виведений крізь випускний пристрій 6. Циркуляція субстрату може, звичайно, також здійснюватися шляхом передавання субстрату з одного реактора, наприклад реактора 1, в проміжний контейнер і з проміжного контейнера в інший, наприклад, другий реактор 2. Це може бути доцільним, наприклад, якщо перший реактор і другий реактор з точки зору розташування повинні бути встановлені на відстані один від одного і буде потрібно застосовувати довгі з'єднанні трубопроводи зі складними частинами.

Крім того, час перебування може бути ефективно пов'язаний з об'ємами реактора. Перший реактор має об'єм, який у двадцять разів перевищує об'єм другого реактора. Тільки частина субстрату в першому реакторі може, таким чином, поміститися в другому реакторі, в цьому прикладі двадцята частина. Оскільки весь вміст першого реактора повинен проходити крізь другий реактор і інкубувати у другому реакторі протягом 2,5 днів за один раз, перший час перебування в першому реакторі становить 50 днів. Субстрат, наприклад, як залишок ферментації, потім виводять з першого реактора після 50 днів.

На Фіг.3 показано біогазову установку з дренажним пристроєм 12, який з'єднаний з першим реактором 1 випускним трубопроводом 13. Залишки ферментації, що виникають після ферментації в першому реакторі 1 та/або у другому реакторі 2, потім подаються по випускному трубопроводу. Це може бути здійснено, наприклад, в момент, коли виробництво біогазу падає і об'ємний потік у випускному пристрої 6 опускається нижче вимірюваного граничного значення, наприклад, при зниженні на 5-10 % значення попереднього об'ємного потоку біогазу [$\text{Нм}^3 / \text{год.}$]. Звичайно, залишки ферментації також можуть бути випущені з першого реактора в дренажний пристрій після першого часу перебування, наприклад, через 50 днів. Там технологічне рідинне середовище відокремлюється від залишків ферментації. Це технологічне рідинне середовище пропускають, щонайменше частково, в перший реактор крізь зворотний пристрій 14 і змішують там з субстратом з допомогою помішувального пристрою 7. Таким чином, можна протидіяти згущенню субстрату, а співвідношення рідинного вмісту субстрату до вмісту сухої речовини субстрату можна регулювати. Твердий залишок ферментації, тобто висушений залишок ферментації, може бути додатково вивантажений з дренажного пристрою 12 крізь

розвантажувальний елемент 15, наприклад, трубу. Щонайменше частково ферментований субстрат ретельно змішують (перемішують) у другому реакторі 2 з допомогою насосного пристрою 16, переважно безперервно.

5 На Фіг. 4 представлена біогазова установка, яка відповідає конструкції біогазової установки на Фіг. 2а. Однак вона має інші елементи, такі як, наприклад, дренажний пристрій 12, змішувальний пристрій 16, пристрій 17 попередньої обробки і пристрій 20 видалення кремнієвої
10 кислоти. Перед подачею субстрату в перший реактор 1 він зменшується за розміром в пристрої 17 попередньої обробки до довжин волокна переважно 40 мм, переважно з допомогою механічного різача або різального млина. Волокна субстрату, зокрема рисової соломи та пшеничної соломи, зменшені в розмірі до 40 мм, проходять по трубі 18 у змішувальний пристрій. Дренажний пристрій 12 також передбачено, як і на Фіг. 3. Відокремлене технологічне рідинне середовище виводиться крізь зворотний пристрій 14 в змішувальний пристрій 16. Цей зменшений в розмірі субстрат і технологічне рідинне середовище змішуються в змішувальному пристрої 16 до того, як вони будуть подані далі в перший реактор 1 по впускному трубопроводу
15 19. У наведеному прикладі, крім субстрату, зменшеного за розміром і технологічного рідинного середовища, до змішувального пристрою 16 не подаються інші речовини. Звичайно, інші складові речовини, наприклад, гній, можуть бути введені до змішувального пристрою 16 по додатковим трубопроводам.

20 Біогазова установка, показана на Фіг. 4, додатково має пристрій 20 видалення кремнієвої кислоти. Кремнієва кислота, яка переважно збирається у другому реакторі 2, виникаючи частково за рахунок clostridia при розкладанні лігноцелюлози і може діяти, як інгібітор утворення метану, може бути виведена перед передачею субстрату в перший реактор 1. Отже, тому можна досягти мети при утворення метану, який не був інгібований в першому реакторі мезофільними бактеріями, і ефективність біогазової установки може бути підвищена. Кремнієва
25 кислота може бути відокремлена, наприклад, силікатним фільтром і фільтром кремнієвої кислоти або також відокремлена з рідкої фази шляхом попередніх реакцій осадження і згодом вивантажена з другого реактора 2.

На Фіг. 5 схематично показано, як приклад, послідовність способу виробництва біогазу в описаній біогазовій установці. На першій операції 21 перший целюлозовмісний субстрат, що містить рисову солому і коров'ячий гній, щонайменше частково ферментують в першому реакторі при температурі від 30 до 48° С протягом першого часу перебування 30 днів. Мезофільні бактерії, які можуть метаболізувати субстрат, поміщають в перший реактор.

На другій операції 22, щонайменше частково ферментований субстрат виводять з першого реактора у другий реактор. Другий реактор нагрівають і його вміст має температуру 68° С. У
35 другому реакторі знаходяться гіпертермофільні бактерії, які придатні для розкладання щонайменше частково ферментованого субстрату, зокрема, лігноцелюлози.

На третій операції 23 гіпертермофіли інкубують щонайменше частково ферментований субстрат у другому реакторі протягом часу перебування переважно 2 дні. Тут гіпертермофільні бактерії, зокрема бактерії роду Clostridia, розкладають частково розкладений субстрат, зокрема целюлозу і лігноцелюлозу, і переважно виробляють оцтову кислоту, окрім інших органічних кислот.

Потім, щонайменше частково розкладений субстрат виводять з другого реактора в перший реактор начетверту стадію 24.

45 На п'ятій операції 25 субстрат, що повернений, інкубують знову мезофільними бактеріями в першому реакторі. При цьому, біогаз що містить метан, виникає щонайменше частково, і його відділяють і виводять з першого реактора на шостій операції 26.

Залишений, щонайменше частково розкладений субстрат відводиться далі у другий реактор і описані операції 22, 23, 24, 25 і 26 повторюються, так що створюється петля 27. Операції від 22 до 26 повторюють доти, поки більше майже не буде вилучатися біогаз, що містить метан,
50 наприклад, після триразового повторення. Після цього залишки ферментації можуть бути розвантажені, біогазова установка завантажується знову субстратом і спосіб знову здійснюється.

Зазвичай, операції, зокрема, інкубація в першому і другому реакторі, тобто операції 21, 23 і 25, частково можуть також відбуватися одночасно. Крім того, також можлива безперервна циркуляція субстрату, інкубація субстрату і випуск метану. Всі операції від 21 до 26 також можуть проходити з часовими інтервалами (так званий спосіб періодичного культивування з підпиткою).

60 Типова композиція субстрату в першому реакторі і в другому реакторі при здійсненні способу далі пояснюється більш детально у прикладі втілення. Звичайно, деталі, зазначені далі, можуть також відрізнятись в інших прикладах втілення.

Далі більш детально пояснюється додатковий приклад втілення. При розгляді способу допускається стаціонарна робота. На початку реалізації способу перший реактор містить, наприклад, 3000 м³ субстрату. У ньому розташовані необхідні мікроорганізми для процесу отримання біогазу. Температури 40-48° С забезпечуються джерелом тепла. Субстрат змішують з часовими інтервалами з допомогою мішалок та/або змішувальних пристроїв, а утворений біогаз виводять з рідкої фази. Далі здійснюють новий розподіл суспензії біомаса /бактерії.

100 т субстрату подають у перший реактор щодня. Одна подача твердої речовини може складати 14 т. Вона, в свою чергу, складається з 60-65 % сухої маси (DM%) рисової соломи в суміші (з 15 % вмістом води), 20-25 % сухої маси коров'ячого гною, 10-20 % сухої маси рециркуляції з мезофільними бактеріями. Приблизно 100 т субстрату /відстою з часткою сухої маси 10-12 % подають у другий реактор на початку періоду часу спостереження після першого перенесення. Частка твердої речовини може складатися, наприклад, з 60-65 % сухої рисової соломи, 25 % вагового вмісту сухого коров'ячого гною. Решту частину складають залишкові речовини потоків замкнутого кола, а також неорганічні речовини, зола, а також інші сторонні речовини. Не враховуючи 10 т твердої речовини, потік, що подається, містить до 90 т води.

До 30 % сухої маси розкладається на розчинні складові під час перебування, наприклад, 3 дні, у другому реакторі. Це, як правило, реалізується за рахунок властивості гіпертермофільного мікроорганізму, який можна культивувати при температурі 55-80° С. Оптимальна температура залежить від додавання субстрату та його складу. При цьому, протягом процесу розкладання може накопичуватися до 10 г/л оцтової кислоти і все це повертається назад у перший реактор і перетворюється в біогаз.

Винахід стосується, серед іншого, таких аспектів:

1. Спосіб виробництва біогазу, який полягає в:

щонайменше частковій ферментації целюлозомісткого субстрату протягом першого часу перебування при температурі 20-50° С в першому реакторі (1) з мезофільними бактеріями, придатними для забезпечення виробництва метану з оцтової кислоти,

передаванні щонайменше частково частини ферментованого субстрату з першого реактора в другий нагрівальний реактор (2) з гіпертермофільними бактеріями, причому гіпертермофільні бактерії є придатними для розкладання щонайменше частково ферментованого субстрату,

інкубації щонайменше частково ферментованого субстрату при температурі 55-80° С протягом другого часу перебування, коли щонайменше частково утворюється оцтова кислота,

поверненні субстрату з оцтовою кислотою з другого реактора (2) в перший реактор (1),

інкубації субстрату з оцтовою кислотою в першому реакторі (1),

виділенні біогазу, що містить метан, з першого реактора (1).

2. Спосіб згідно аспекту 1, в якому субстрат перемішують в першому (1) та/або другому реакторі (2) насосним пристроєм (9, 16) та/або помішувачем (7, 8).

3. Спосіб згідно аспекту 1, в якому операції:

передавання щонайменше частково частини ферментованого субстрату з першого реактора в другий нагрівальний реактор (2) з гіпертермофільними бактеріями, придатними для розкладання щонайменше частково ферментованого субстрату, та

повернення субстрату з оцтовою кислотою з другого реактора (2) в перший реактор (1),

повторюють щонайменше один раз.

4. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-3, в якому залишки ферментації, які залишаються в першому реакторі (1) і які після ферментації в першому реакторі (1), суттєво, не розкладені мезофільними бактеріями, видаляють з першого реактора (1) і піддають дренажу, причому, відповідним чином відокремлену технологічну рідину, щонайменше частково подають назад у перший реактор (1) по розвантажувальному трубопроводу (14).

5. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-4, який відрізняється тим, що мезофільні бактерії вибирають з групи архебактерій і які переважно є *Methanobacteriale*, *Methanococcales*, *Methanomicrobiale*, *Methanocellale*, *Methanosarcinale*, *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanobrevibacter*, *Methanothermobacter* та/або *Methanopyrale*.

6. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-5, який відрізняється тим, що гіпертермофільні бактерії вибирають із групи хлостридій, переважно *Chlostridium aceticum*, *Chlostridium thermocellum* та/або *Chlostridium stecorarium*.

7. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-6, в якому вміст першого реактора (1) також нагрівають.

8. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-7, в якому кремнієву кислоту виводять з другого реактора (2) для зменшення концентрації кремнієвої кислоти, яка перешкоджає утворенню метану.

9. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-8, який відрізняється тим, що целюлозомісткий субстрат, містить лігноцелюлозу.

10. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-9, який відрізняється тим, що целюлозомісткий субстрат включає соломку, зокрема рисову соломку.

5 11. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-10, який відрізняється тим, що величина рН субстрату в першому реакторі (1) знаходиться в діапазоні від рН-нейтрального до слабколужного, і величина рН переважно становить щонайменше 6,6, більш переважно щонайменше 6,8 та/або не більше 8,3, ще більш переважно становить не більше 8,0.

10 12. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-11, який відрізняється тим, що величина рН субстрату у другому реакторі (2) становить щонайменше 4,5 та/або не більше 6,5.

13. Спосіб згідно будь-якого з аспектів 1-12, в якому волокна субстрату зменшують в розмірі перед завантаження субстрату в перший реактор (1).

15 14. Біогазова установка для виробництва біогазу, яка має перший реактор (1), що містить мезофільні бактерії, які придатні для виробництва метану з оцтової кислоти, водню і діоксиду вуглецю,

другий нагрівальний реактор (2) з гіпертермофільними бактеріями, придатними переважно для анаеробної ферментації целюлозомісткого субстрату в оцтову кислоту,

20 циркуляційний пристрій (3) для забезпечення циркуляції біомаси між першим реактором (1) і другим реактором (2), причому, циркуляційний пристрій (3) має транспортуєчий пристрій і щонайменше один з'єднаний трубопровід (4, 5), який з'єднує перший реактор (1) і другий реактор (2), причому, транспортуєчий пристрій виконано з можливістю транспортування субстрату по з'єднаньому трубопроводу (4, 5) з першого реактора у другий реактор (2), а також з другого реактора (2) у перший реактор (1).

25 15. Установка згідно з аспектом 14, яка відрізняється тим, що має дренажний пристрій (12) для відділення технологічної рідини із залишків ферментації, які суттєво більше не розкладаються мезофільними бактеріями після ферментації в першому реакторі (1), причому, перший реактор (1) з'єднано з дренажним пристроєм (12) випускним трубопроводом (13) для вивантаження залишків ферментації.

30 16. Установка згідно будь-якого з аспектів 14 або 15, яка відрізняється тим, що має змішувальний пристрій (16), який розташовано перед першим реактором (1) і з'єднано з першим реактором (1) впускним трубопроводом (19), для змішування субстрату з технологічною рідиною, щоб вміст сухої речовини субстрату, який можна подавати по впускному трубопроводу (19) до першого реактора (1), можна було регулювати.

35 17. Установка згідно з аспектом 14 або 15, оскільки є посилання на п. 13, яка відрізняється тим, що має зворотний пристрій (14) для повернення технологічного рідинного середовища в перший реактор (1).

18. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-17, яка відрізняється тим, що з'єднаний трубопровід (4, 5) має двоходовий клапан (11) та/або тим, що циркуляційний пристрій має два з'єднаних трубопроводи (4, 5) між першим реактором (1) і другим реактором (2).

40 19. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-18, яка відрізняється тим, що циркуляційний пристрій (3) має насос для подавання субстрату.

20. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-19, яка відрізняється тим, що має щонайменше один помішувальний пристрій (7, 8) та / або насосний пристрій (9, 16) для перемішування субстрату в першому реакторі (1) та/або або в другому реакторі (2).

45 21. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-20, яка відрізняється тим, що перший реактор (1) може нагріватися до температури щонайменше 30° С та/або тим, що другий реактор (2) може нагріватися до температури щонайменше 65° С.

22. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-21, яка відрізняється тим, що має пристрій (17) попередньої обробки для зменшення розміру волокон субстрату.

50 23. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-22, яка відрізняється тим, що з'єднаний трубопровід (4) для подавання субстрату з першого реактора (1) у другий реактор (2) має аераційний пристрій (28).

24. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-22, яка відрізняється тим, що другий реактор (2) має живильний трубопровід (32) для подавання речовин, що можуть легко ферментуватися.

55 25. Установка згідно будь-якого з аспектів 14-24, яка відрізняється тим, що другий реактор (2) містить бактерії, вибрані з групи *Chlostridia*, переважно *Chlostridium aceticum*, *Chlostridium thermocellum* та/або *Chlostridium stecorarium*.

26. Застосування біогазової установки згідно будь-якого з аспектів 14-25 для здійснення способу згідно будь-якого з аспектів 1-11.

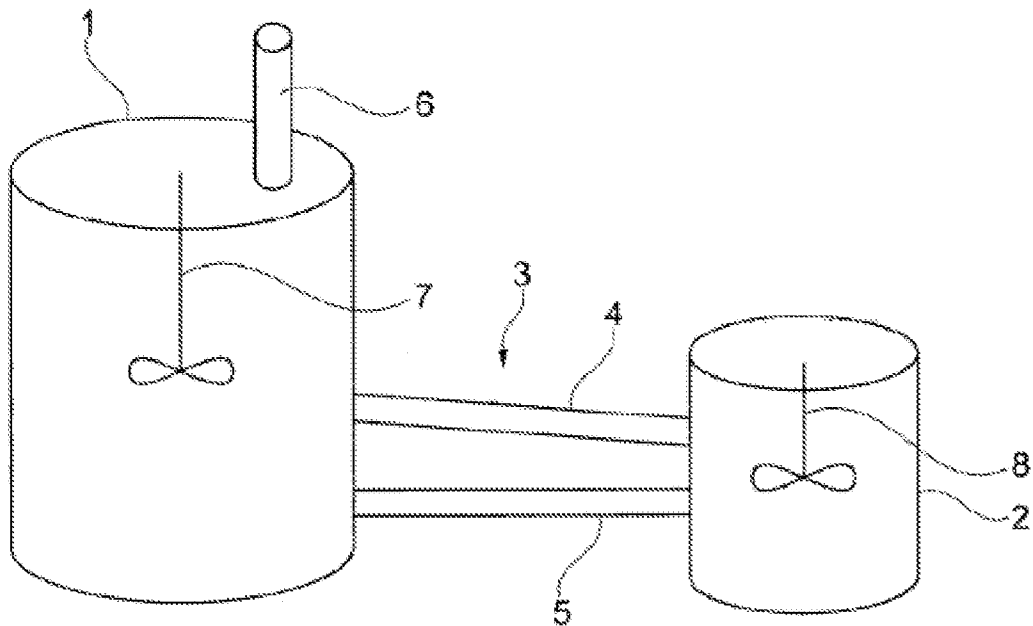
60

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб виробництва біогазу, який полягає в:
 5 знаходженні при температурі 20-55 °С в першому реакторі (1) з мезофільними бактеріями, придатними для забезпечення виробництва метану з оцтової кислоти; передаванні, щонайменше частково, частини ферментованого субстрату з першого реактора в другий нагрівальний реактор (2) з гіпертермофільними бактеріями, придатними для розкладання, щонайменше частково, ферментованого субстрату;
 10 інкубації, щонайменше частково, ферментованого субстрату при температурі 55-80 °С протягом другого часу знаходження, коли, щонайменше частково, утворюється оцтова кислота; поверненні субстрату з оцтовою кислотою з другого реактора (2) в перший реактор (1), інкубації субстрату з оцтовою кислотою в першому реакторі (1);
 15 виділенні біогазу, що містить метан, з першого реактора (1), при цьому операція передавання, щонайменше частково, частини ферментованого субстрату з першого реактора (1) в другий реактор (2) включає передавання, щонайменше частково, частини ферментованого субстрату з першого реактора в аераційний пристрій для інактивації анаеробних бактерій.
2. Спосіб за п. 1, в якому целюлозовмісний субстрат має концентрацію амонійного азоту NH₄-N щонайменше 100 мг/л або щонайменше 150 мг/л, або щонайменше 200 мг/л та/або не більше 1
 20 г/л або не більше 700 мг/л, або не більше 400 мг/л.
3. Спосіб за п. 1 або 2, в якому операції:
 передавання, щонайменше частково, частини ферментованого субстрату з першого реактора (1) у другий нагрівальний реактор (2) з гіпертермофільними бактеріями, придатними для розкладання, щонайменше частково, ферментованого субстрату; та
 25 повернення субстрату з оцтовою кислотою з другого реактора (2) в перший реактор (1) повторюють щонайменше один раз.
4. Спосіб за будь-яким одним з пп. 1-3, в якому залишки ферментації, які залишаються в першому реакторі (1) і після ферментації в першому реакторі (1) суттєво є додатково нерозкладеними мезофільними бактеріями, видаляють з першого реактора (1) і дренують,
 30 причому, відповідним чином відокремлену технологічну рідину, щонайменше частково, подають назад у перший реактор (1) по розвантажувальному трубопроводу (14).
5. Спосіб за будь-яким одним з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що мезофільні бактерії вибирають з групи архебактерій, що містить Methanobacteriale, Methanococcale, Methanomicrobiale, Methanocellale, Methanosarcinale, Methanosarcina, Methanococcus,
 35 Methanobacterium, Methanobrevibacter, Methanothermobacter та/або Methanopyrale, та/або тим, що гіпертермофільні бактерії вибирають з групи, що містить Clostridiaceae та/або Thermotogaseae, або групи, що містить Clostridium aceticum, Clostridium thermocellum, Clostridium та/або Clostridium stecorarium, та/або Thermotogales.
6. Спосіб за будь-яким одним з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що целюлозовмісний субстрат містить лігноцелюлозу, та/або тим, що лігноцелюлозовмісний субстрат містить соломку, зокрема
 40 рисову соломку.
7. Спосіб за будь-яким одним з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що значення рН субстрату в першому реакторі (1) знаходяться в діапазоні від нейтрального або слабколужного, та/або тим, що значення рН субстрату у другому реакторі (2) дорівнюють щонайменше 4,0 та/або не більше
 45 6,5.
8. Біогазова установка для виробництва біогазу, яка має:
 перший реактор (1) з мезофільними бактеріями, придатними для виробництва метану з оцтової кислоти, водню і діоксиду вуглецю,
 50 другий нагрівальний реактор (2) з гіпертермофільними бактеріями, придатними для анаеробної ферментації целюлозовмісних субстратів в оцтову кислоту, циркуляційний пристрій (3) для здійснення циркуляції біомаси між першим реактором (1) і другим реактором (2), причому циркуляційний пристрій (3) має транспортуючий пристрій і щонайменше один з'єднувальний трубопровід (4, 5), який з'єднує перший реактор (1) і другий реактор (2), а транспортуючий пристрій виконано з можливістю транспортування субстрату по з'єднувальному трубопроводу (4, 5) з першого реактора (1) у другий реактор (2), а також з
 55 другого реактора (2) у перший реактор (1), при цьому з'єднувальний трубопровід (4) для транспортування субстрату з першого (1) у другий реактор (2) має аераційний пристрій (28).
9. Установка за п. 8, яка **відрізняється** тим, що має дренажний пристрій (12) для відділення
 60 технологічної рідини у процесі дренажу залишків ферментації, які суттєво більше не

розкладаються мезофільними бактеріями після ферментації в першому реакторі (1), причому перший реактор (1) з'єднано з дренажним пристроєм (12) випускним трубопроводом (13) для вивантаження залишків ферментації.

10. Установка за будь-яким з п. 8 або 9, яка **відрізняється** тим, що має змішувальний пристрій (16), який розташовано перед першим реактором (1) і з'єднано з першим реактором (1) впускним трубопроводом (19), і який призначено для змішування субстрату з технологічною рідиною таким чином, що вміст сухої речовини в субстраті, що подається по впускному трубопроводу (19) до першого реактора (1), є регульованим.
11. Установка за п. 9 або 10, яка **відрізняється** тим, що має зворотний пристрій (14) для повернення технологічного рідкого середовища в перший реактор (1).
12. Установка за будь-яким одним з пп. 8-11, яка **відрізняється** тим, що з'єднувальний трубопровід (4, 5) має двоходовий клапан (11), та/або тим, що циркуляційний пристрій має два з'єднувальних трубопроводи (4, 5) між першим реактором (1) і другим реактором (2).
13. Установка за будь-яким з пп. 8-12, яка **відрізняється** тим, що циркуляційний пристрій (3) має щонайменше один насос для подавання субстрату, та/або тим, що біогазова установка має щонайменше один перемішувальний пристрій (7, 8) та/або насосний пристрій (9, 16) для перемішування субстрату в першому реакторі (1) та/або в другому реакторі (2).
14. Установка за будь-яким з пп. 8-13, яка **відрізняється** тим, що перший реактор (1) є таким, що може нагріватися до температури щонайменше 30 °С, та/або тим, що другий реактор (2) є таким, що може нагріватися до температури щонайменше 65 °С.
15. Застосування біогазової установки за будь-яким одним з пп. 8-14 для здійснення способу за будь-яким одним з пп. 1-7.



Фіг. 1а

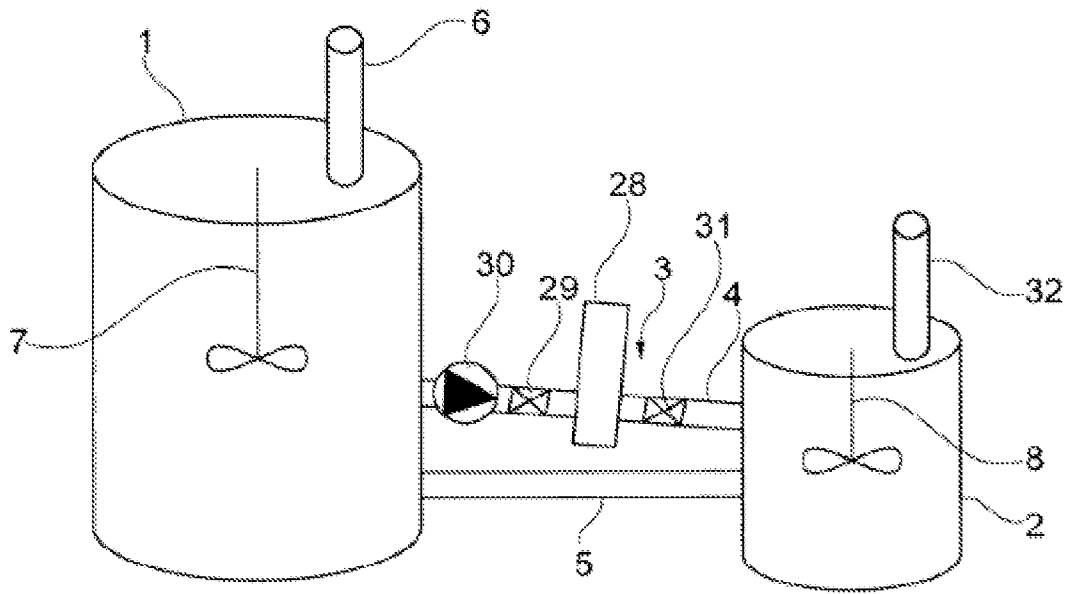


Fig. 1b

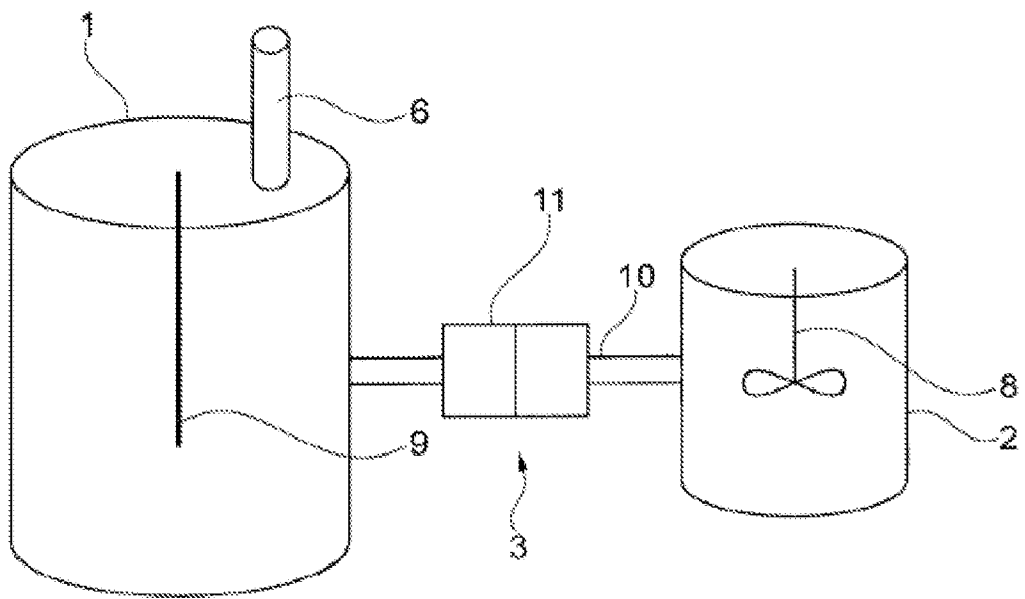


Fig. 2a

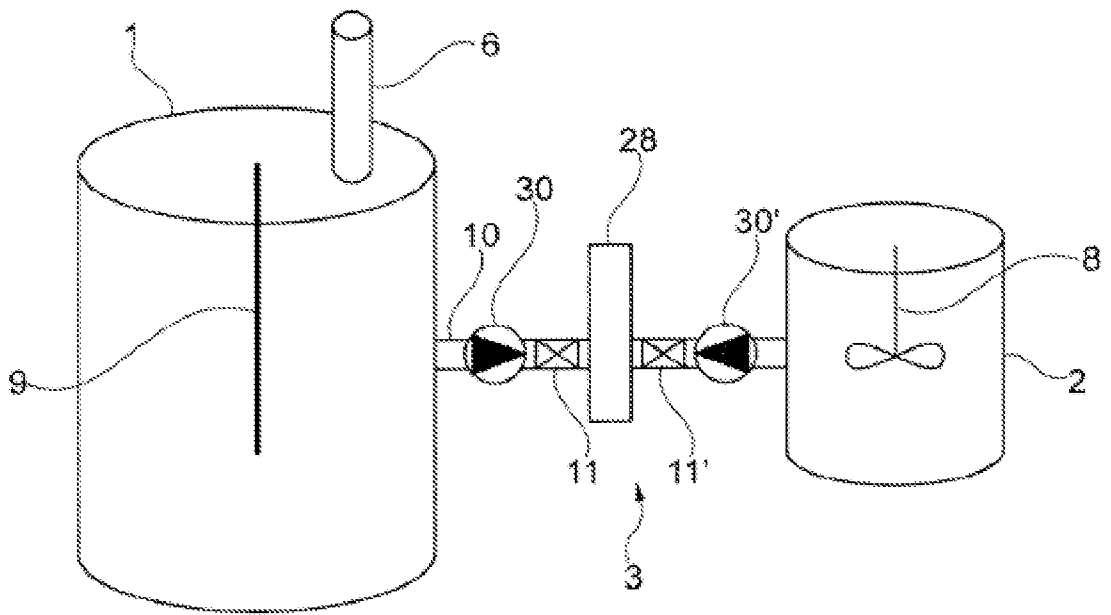


Fig. 2b

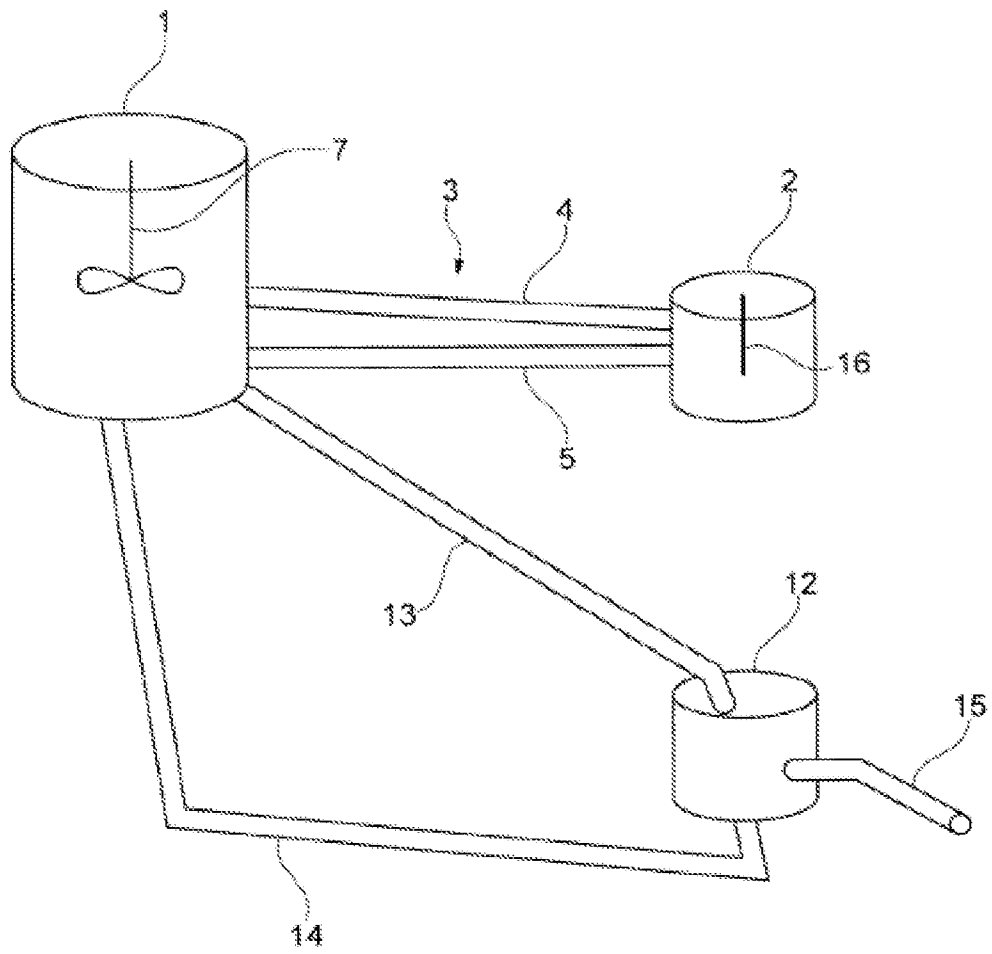


Fig. 3

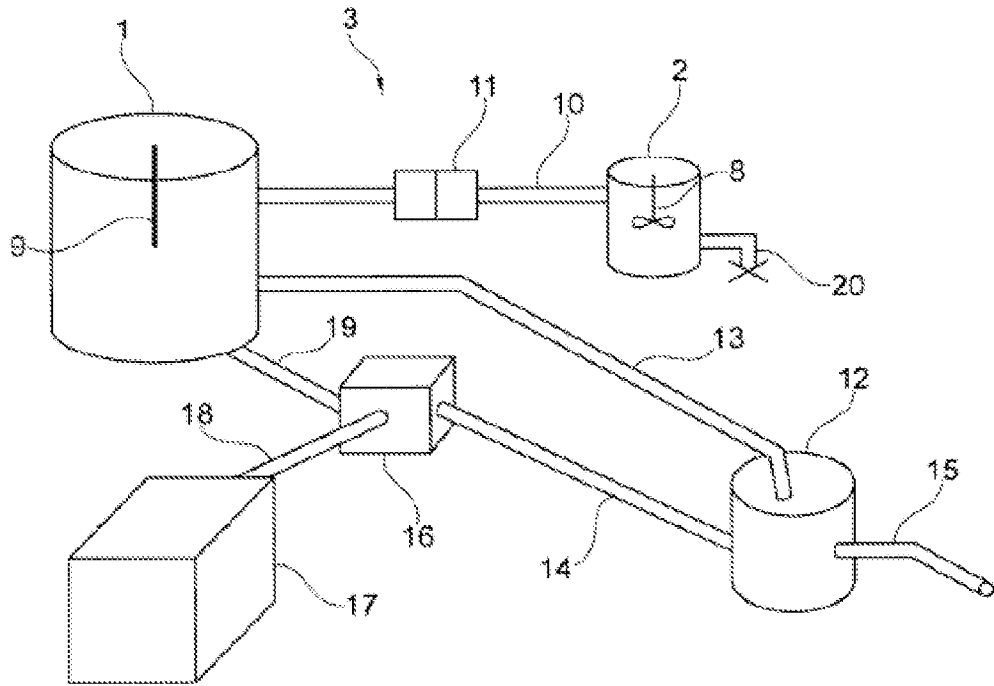


Fig. 4

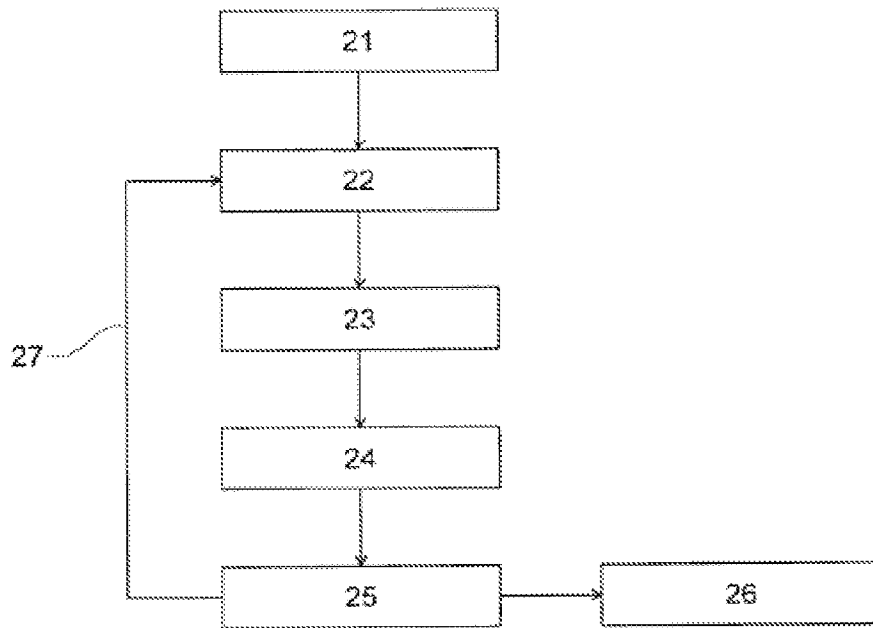


Fig. 5