



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 119322

(13) C2

(51) МПК

C12M 1/04 (2006.01)

B01D 53/62 (2006.01)

C12M 1/12 (2006.01)

C12N 1/12 (2006.01)

C12R 1/89 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2015 10248	(72) Винахідник(и):	Кржеменевський Мирослав (PL), Дебовський Марцин (PL), Зелінський Марцин (PL)
(22) Дата подання заявки:	01.10.2014	(73) Власник(и):	УНІВЕРСИТЕТ ВАРМІНСКО-МАЗУРСЬКИЙ В ОЛЬШТИНЕ, ul. Oczapowskiego 2, PL-10-719 Olsztyn, Poland (PL)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.06.2019	(74) Представник:	Кістерський Тимофій Арсенійович, реєстр. №457
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	P.407 694	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	DE 102007035707 A1, 05.02.2009 DE 102010025366 A1, 29.12.2011 JP H0957058 A, 04.03.1997
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	28.03.2014		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	PL		
(41) Публікація відомостей про заявку:	12.12.2016, Бюл.№ 23		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.06.2019, Бюл.№ 11		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/PL2014/000110, 01.10.2014		

(54) ФОТОБІОРЕАКТОР ДЛЯ БІОСЕКВЕСТРАЦІЇ CO₂ З ІММОБІЛІЗОВАНОЮ БІОМАСОЮ ВОДОРОСТЕЙ АБО ЦІАНОБАКТЕРІЙ

(57) Реферат:

Винахід стосується фотобіореактора для біосеквестрації CO₂ з іммобілізованою біомасою водоростей або ціанобактерій, що має закриту структуру, розділену на сегменти, де зазначені водорості або ціанобактерії іммобілізовані в капсулах (3) діаметром від 5 мм до 40 мм, при цьому зазначені капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) забезпечені світлом від джерела світла (6) за допомогою світлових трубок (5), при цьому зазначені світлові трубки виконані з можливістю доставки світла безпосередньо всередину зазначених капсул з біомасою.

UA 119322 C2

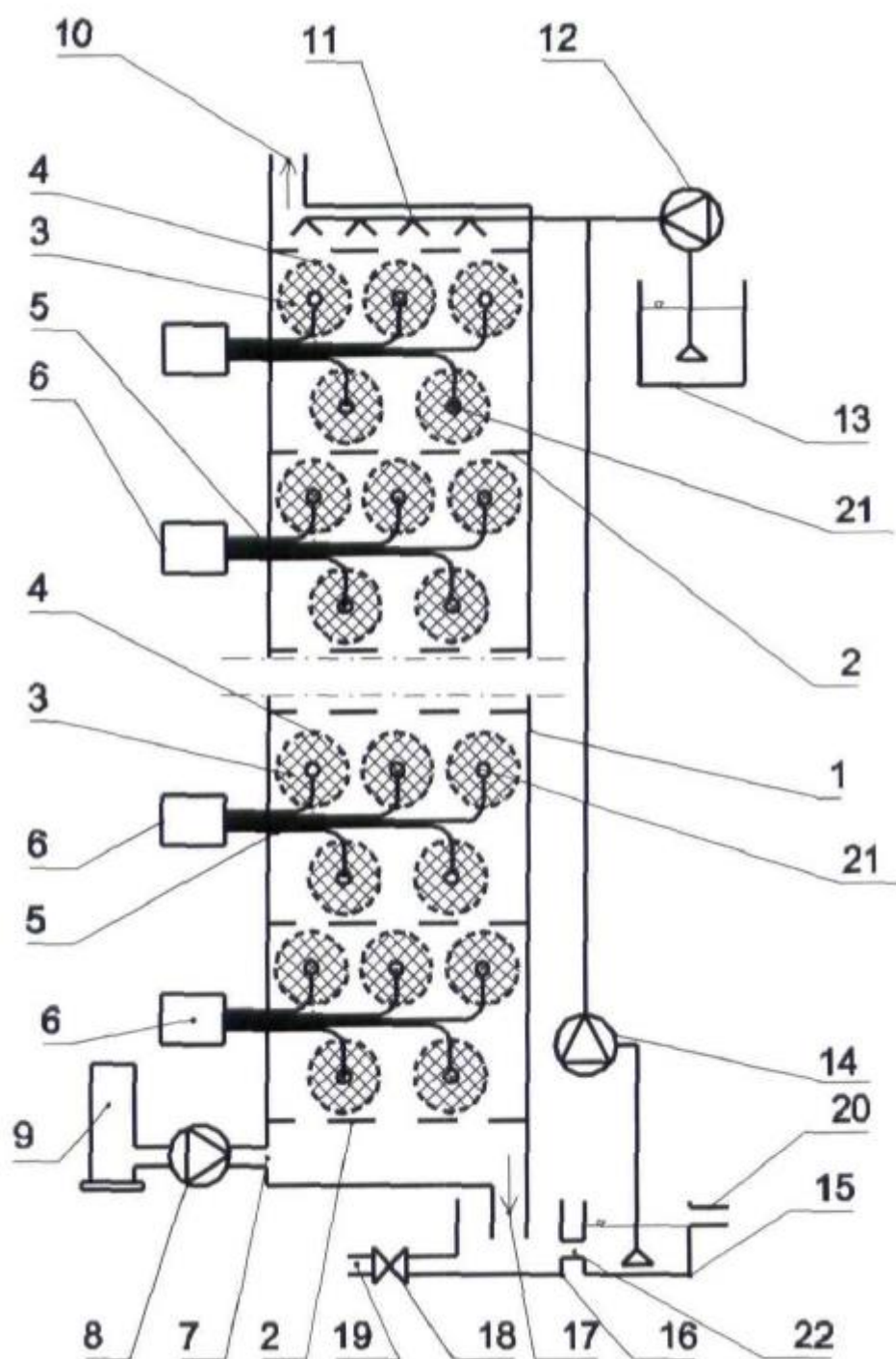


Fig. 1

Об'єктом даного винаходу є фотобіореактор для біосеквестрації CO₂ з іммобілізованою біомасою водоростей або ціанобактерій.

Фототрофні водорості, використовуючи енергію сонячного або штучного світла, шляхом фотосинтезу перетворюють CO₂ з атмосфери в органічні сполуки, які є для них будівельним матеріалом. Доступ до достатньої кількості світла та CO₂ необхідний для проведення фотосинтезу й одержання біомаси водоростей. Крім того, важливими параметрами є рН і температура культури, а також тип реактора, відкритий або закритий.

Через надмірні глобальні викиди CO₂ в атмосферу та необхідність проведення інтенсивної й інноваційної секвестрації CO₂, що походить з різних джерел, для захисту середовища, що оточує людину та для захисту від парникового ефекту постійно ведеться пошук ефективного способу зв'язування CO₂ у формі біомаси, щоб зберегти екологічну рівновагу в природі.

Один напрямок даного пошуку спрямований на фотобіореактори й, зокрема, закриті фотобіореактори, в яких культура водоростей або ціанобактерій, що знаходиться під контролем, здатна зв'язувати CO₂ у вигляді своєї біомаси. Різні структури закритих біореакторів дозволяють здійснювати моніторинг і контролювати інтенсивність світла та час впливу, рН і температуру культури, чистоту й час життя культури вибраного штаму водоростей або ціанобактерій.

Фотобіореактори вже відомі в даній області техніки.

В документі DE102007035707 описаний спосіб оксигенації та поглинання домішок з води, який включає культивування мікрководоростей, їх іммобілізацію в стабільних альгінатних оболонках діаметром від 0.1 до 5 мм. Альгінатні сфери, що містять мікрководорості та фізіологічний розчин, додатково поміщають у прозорі пористі мембрани з розміром пор у діапазоні 0.5-50 мкм. Мембрани з альгінатними сферами поміщають у фотобіореактор, в який подається забруднена вода. Фотобіореактор оснащений двома світлодіодними джерелами світла.

Із заявки на патент США US 20080286857 відомий багатофункціональний ерліфтний біореактор, що включає клітини, які утримують у полімерних сферах для поглинання газів (летучих органічних сполук) або запахів, причому зазначений біореактор оснащений спринклерним пристроєм.

З іншої заявки на патент США US 5073491A відомий спосіб культивування клітин в ерліфтному біореакторі, зазначені клітини іммобілізовані в сферах на основі альгінату.

Китайська заявка CN 101240270 описує капсули на основі альгінату з іммобілізованими клітинами та спосіб їх одержання.

Японська заявка JP 3112481 описує пристрій для культивування водоростей, що містить культивувальну камеру, кошик, що обертається, і пучок оптичних волокон. Газоподібний діоксид вуглецю та сонячне світло рівномірно поставляють у культуральну камеру за допомогою обертання кошика, що обертається.

Відомий спосіб іммобілізації мікробних клітин у капсулах з альгінатом натрію, наприклад, із PL 213167B1.

DE 102007035707 A1 описує можливість використання іммобілізованої біомаси водоростей для очищення води, в основному для аквакультури. В даній публікації запропоновано розмістити вибрані мікрководорості у полімерній оболонці та використовувати структури такого типу для біофільтрації води, що поступає в основному з системи риборозведення. Функція іммобілізованої біомаси водоростей, зануреної в рідину, полягає у видаленні домішок із води. Запропонована система для біофільтрації води. Інформація, що міститься в даному документі, не може бути основою для розвитку технологій видалення діоксиду вуглецю з газоподібних відходів.

US 5073491 описує спосіб одержання клітин в альгінатній підкладці ерліфтного реактора. Єдина загальна особливість цих двох рішень – іммобілізація клітин в альгінатному гелі. Проте, використання альгінату натрію як носія різних типів біологічних форм відоме вже давно.

Відомі технологічні рішення для систем біосеквестрації діоксиду вуглецю, засновані на застосуванні біомаси водоростей, що включають відкриті та закриті біореактори, в яких біомаса водоростей поміщена у водний розчин, не дозволяють одержати задовільні результати видалення CO₂ з точки зору роботи установок у промисловому масштабі. Крім іншого це пов'язано з явищем розчинності карбоксиду вуглецю у воді, а саме це може призводити до зменшення рН, тобто закислення культурального середовища нижче рівня, необхідного водоростям або ціанобактеріям для росту та життя. Ефективність функціонування класичних систем, заснованих на біомасі водоростей або ціанобактерій обмежується також тим, що культуральне середовище інгібує проходження світла, що сповільнює швидкість росту біомаси й ефективність видалення CO₂. З цих причин у відомі системи водоростей можна вводити невеликі кількості газу, який містить діоксид вуглецю, або вони потребують дуже великих

поверхонь (як наприклад, відкриті водойми) або кубатур (закриті фотобіореактори). Ефективність видалення CO_2 надалі обмежується утворенням і накопиченням у навколишньому просторі газоподібних продуктів метаболізму цих організмів у формі кисню та вуглекислого газу, введених у водне середовище.

Метою даного винаходу є створення нової структури пристрою для видалення CO_2 з димових газів і відпрацьованих газів, що поступають з різних секторів промисловості, наприклад, від харчової промисловості від дріжджового виробництва, систем виробництва біогазу, систем згоряння рідкого та газоподібного палива, технології переробки вуглеводнів. Рішення, запропоноване в даному винаході, дозволяє ефективно видаляти діоксид вуглецю з газів, що містять CO_2 у високих концентраціях. У той самий час зазначений пристрій характеризується значно зменшеною кубатурою у порівнянні з рішеннями, що використовуються на даний момент, у яких використовується процес біосеквестрації CO_2 .

Передбачається, що винахід, завдяки своїй структурі, дозволяє досягати дуже високої концентрації біомаси водоростей або ціанобактерій, шляхом їхньої іммобілізації в капсулах. Це дозволить уникнути феномена зниження рН, тобто закислення середовища, в якому ростуть водорості або ціанобактерії, через уведення відпрацьованого газу з високою концентрацією CO_2 .

Система для доставки світла в капсули водоростей або ціанобактерій характеризується високим ступенем корисності у зв'язку з меншими втратами через явище поглинання світлової енергії водою. В результаті циклічного дозування газів, що містять діоксид вуглецю, газоподібні метаболіти водоростей або ціанобактерій видаляють за межі технологічної системи, тим самим усувають негативний вплив цього фактора на процеси зв'язування CO_2 . Періодичне введення культурального середовища з високою концентрацією живильних речовин сприяє їх більш ефективному використанню, і процес промивання дозволяє систематично видаляти надлишкову біомасу зовні пристрою.

Отримана в цьому технологічному процесі біомаса може бути використана для різних цілей, в основному в якості корму для тварин (корм для риб, культуральне середовище для середнього зоопланктону), добрив і в області енергетики (субстрат для біогазових установок, джерело біо-масла).

Об'єктом винаходу є фотобіореактор для біосеквестрації CO_2 з іммобілізованою біомасою водоростей або ціанобактерій, який характеризується тим, що зазначені водорості або ціанобактерії іммобілізовані в капсулах.

Переважно, капсули мають зовнішню оболонку з порами діаметром від 5 мкм до 100 мкм.

Переважно, капсули мають діаметр від 5 до 40 мм.

Переважно, світло до капсул поступає з джерела світла через світлові трубки.

Переважно, окрема одиночна світлова трубка йде від джерела світла до кожної капсули.

Переважно, капсули в частинах фотобіореактора вільно розташовані на сітці з отворами й оточені атмосферою газу.

Переважно, капсули змочують культуральним середовищем, переважно, їх періодично змочують і промивають.

Переважно, фотобіореактор за даним винаходом має багатогранний або круглий поперечний переріз.

Об'єкт за даним винаходом показаний на фігурах, на яких:

Фіг. 1 - загальна схема фотобіореактора,

Фіг. 2 - схема фотобіореактора, сконструйованого з одним сегментом,

Фіг. 3 - поперечний переріз багатогранного фотобіореактора,

Фіг. 4 - поперечний переріз круглого фотобіореактора.

Капсули формують з біомаси водоростей або ціанобактерій двома різними способами. Перший спосіб включає використання перфорованої гелевої оболонки. Біомасу водоростей або ціанобактерій, отриману з культури, просівають через мікросито, так, що розмір водоростей або ціанобактерій відповідає розміру отворів у гелевій оболонці. Відібрану біомасу концентрують та зневоднюють до рівня 8 % - 15 % сухої речовини, що дозволяє одержати формовану пластичну масу. Потім створюють форму, близьку до сфери з діаметром у діапазоні від 4.5 мм до приблизно 40 мм. У сформовану в такий спосіб біомасу водоростей або ціанобактерій вводять світлову трубку діаметром від 0.7 мм до 3.0 мм. Якщо діаметр капсули не перевищує 15 мм, можна використовувати світлову трубку без матеріалу на кінці, що розсіює світло, а при більшому діаметрі кінець світлової трубки повинен бути обладнаний матеріалом, що розсіює світловий промінь, виготовленим із акрилу або скла діаметром щонайменше в 2 рази більше, ніж діаметр світлової трубки. Потім отриману біомасу водоростей або ціанобактерій покривають гелеутворюючим агентом, наприклад, альгінатом натрію. Для того, щоб зробити оболонку

пористою з розміром пор від 5 мкм до 100 мкм, гелеутворюючий агент наносять разом із пороформуючим матеріалом, який після розчинення та промивання формує пори необхідного діаметра. Для водоростей або ціанобактерій, що віддають перевагу солодким середовищам, запропоновано використовувати кристали глюкози з розмірами кристалів, що відповідають

5 розмірам очікуваних пор. Для водоростей або ціанобактерій, що віддають перевагу солоним середовищам, можна використовувати глюкозу або кристалізований хлорид натрію. Для підтримки механічної міцності оболонки кількість пороформуючого матеріалу щодо кількості гелеутворюючого агента не повинна перевищувати 40 % за об'ємом. Пороформуючий матеріал розчиняється після 1 – 5 годин з моменту його додавання до гелеутворюючого агента.

10 Другий спосіб формування капсули включає конденсацію та дегідратацію біомаси водоростей або ціанобактерій для одержання від 5,0 % до 10 % сухої речовини. Потім біомасу водоростей або ціанобактерій вводять в оболонку, сформовану з пластикового матеріалу, який має пори від 5 мкм до 100 мкм. Слід зазначити, що водорості або ціанобактерії, які призначені для введення в оболонку, до конденсації та дегідратації просівають через сито залежно від

15 їхнього розміру, і їх розмір повинен бути рівним або трохи перевищувати розмір пор оболонки капсули. Заповнивши оболонку біомасою водоростей або ціанобактерій, вводять світлові трубки діаметром від 0.7 мм до 3.0 мм. Таким чином, у випадку пластикової оболонки, якщо капсули мають діаметр більше, ніж 15 мм, трубка закінчується розсіювальним акриловим або скляним матеріалом. Діаметр розсіювального матеріалу в 2 рази більше, ніж діаметр світлової трубки.

20 Отвір, через який вводять біомасу та світлову трубку з розсіювальним матеріалом, закривають знімним ущільнювальним матеріалом, який легко видаляти і що таким чином дозволяє повторювати процедуру наповнення капсули у випадку надмірної кількості біомаси водоростей або ціанобактерій, що витікає з неї.

Фотобіореактор згідно з даним винаходом має наступну структуру:

25 Корпус фотобіореакторного пристрою (1) має форму вертикального бака, розділеного на сегменти (від одного до декількох сотень). Розділяючими перегородками є сітки з отворами (2), на яких знаходиться біомаса водоростей або ціанобактерій у капсулах (3) з діаметром від 5 мм до 40 мм в їх поперечному перерізі. Вибір діаметра капсули, типу газів, типу водоростей або ціанобактерій, ряду капсульних шарів, інтенсивності світла та т.п. має важливе значення.

30 Зовнішня оболонка (4) капсули (3) зроблена з пористого матеріалу з розміром пор від 5 мкм до 100 мкм, які дозволяють витікати надлишку біомаси водоростей або ціанобактерій з капсули (3). Зовнішня оболонка (4) може бути створена на біомасі водоростей або ціанобактерій, укладених в капсулу, наприклад, шляхом її покриття гелевою масою або введенням біомаси водоростей чи ціанобактерій у приготовлену зовнішню оболонку (4), наприклад, з перфорованого пластикового матеріалу. Всередину капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) вводять світлову трубку (5), яка закінчується наконечником (21) із матеріалу, що розсіює світло у всю капсулу (3) в напрямку її зовнішньої оболонки (4). Другий кінець світлової трубки (5) пов'язаний з джерелом світла (6).

40 Під самою нижньою перфорованою сіткою (2) у корпусі фотобіореакторного пристрою (1) знаходиться впускна трубка (7) для газу, що містить CO₂, яка з'єднана з насосом (8), що перекачує газ із CO₂ від резервуара, що містить CO₂ (9).

В захисну кришку корпусу пристрою (1) вмонтований вихідний канал (10) для газів.

45 Спринклерні форсунки (11) розташовані над капсулами з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) та з'єднані з насосом для дозування культурального середовища (12) і з резервуаром культурального середовища (13), а також із промивним насосом (14) і збірним резервуаром (15) з очищеною водою.

Збірний резервуар (15) має рідинне з'єднання через трубопровід (22) з віддільним резервуаром (16) для надлишку біомаси водоростей або ціанобактерій.

50 Вихідний канал (17) видаляє надлишок біомаси водоростей або ціанобактерій з дна фотобіореакторного пристрою (1) у віддільний резервуар (16) для надлишку біомаси водоростей або ціанобактерій, і цей надлишок біомаси видаляють надалі з фотобіореактора через трубопровід для зливу (19) з клапаном (18).

60 Сформована біомаса водоростей або ціанобактерій (3) має форму капсули діаметром від 5 мм до 40 мм і покрита зовнішньою оболонкою (4) з отворами від 5 мм до 100 мкм. Зовнішня оболонка (4) має форму шару субстанції гелю або шару, утвореного з перфорованої пластикової оболонки.

Світло проводять через окрему світлову трубку (5) до кожної капсули (3) у біомасу водоростей або ціанобактерій. У біомасу водоростей або ціанобактерій в капсулі (3), періодично вводять гази, що містять CO₂ і рідке культуральне середовище, яке періодично подають зверху зі спринклерних форсунок (11).

Надлишкову біомасу водоростей, що утворилася, періодично змивають зверху, направляють у віддільний резервуар (16) і виводять з фотобіореактора через зливний трубопровід (19).

Світло від джерела світла (6) безупинно подають до сформованої біомаси водоростей або ціанобактерій у капсулах (3) за допомогою світлових трубок (5). Джерелом світла (6) може бути сонце або генератор світла з різними довжинами хвиль світла від 300 нм до 800 нм.

Порцію газу, що містить CO_2 , накопичену в резервуарі (9) та перекачувану насосом (8), періодично подають у резервуар корпусу фотобіореактора (1). Перекачуваний газ, що містить CO_2 , проникає в капсули з біомасою водоростей (3) через зовнішню мембрану (4), витісняючи з водоростевої біомаси газоподібні метаболіти, які видаляються через газовідвідний канал (10).

Коли насос (8) припиняє свою роботу, починає працювати насос (12), через який рідке культуральне середовище накачують від резервуара з культуральним середовищем (13) до спринклерних форсунок (11). Культуральне середовище тече за зовнішніми поверхнями оболонок (4) і проникає у водоростеву масу в капсулах (3), сприяючи разом зі світловою енергією, що постачається, і CO_2 збільшенню біомаси водоростей. Водоростева біомаса виходить з капсул (3) через перфоровану зовнішню оболонку (4) та її періодично змивають рідиною при перекачуванні рідини промивним насосом (14) з ємності збірного резервуара (15). Зазначену рідину одержують після попереднього відділення надлишку водоростевої біомаси у віддільному резервуарі (16), в який вона стікає з усього об'єму корпусу фотобіореакторного пристрою (1) разом із промивною рідиною через випускний канал (17). Після періодичного відкриття клапана (18), накопичену надлишкову біомасу водоростей видаляють з фотобіореактора через трубопровід (19) і суміш невикористаного рідкого середовища та рідких метаболітів витікає частково через канал для витікання (20) зовні фотобіореактора, а частково повертається в циркуляцію, при прокачуванні насосом для промивання (14).

Приклад 1

Фотобіореакторний пристрій зроблений в лабораторному масштабі. Експеримент проводили для визначення ефективності. Корпус фотобіореакторного пристрою 1 являв собою трубку з прозорого пластику. Зовнішню поверхню фотобіореактора покривали темною плівкою, непроникною ні для сонячного, ні для штучного світла, яке переважає в лабораторії. Була можливість вилучити плівку з метою оцінки стану капсул і ситуації всередині корпусу фотобіореакторного пристрою 1. Внутрішні розміри корпусу фотобіореакторного пристрою 1 були, відповідно: діаметр 30 мм, висота 1000 мм. Підтримуючу сітку 2 з розміром отворів 5 мм поміщали на висоті 50 мм над нижньою основою корпусу фотобіореакторного пристрою 1. Нижню основу корпусу занурювали на 15 мм нижче поверхні води в резервуар 16, місткістю 1 дм^3 , з якого через трубопровід 22 витікає надлишок води в другу накопичувальну ємність місткістю 1 дм^3 , наприклад, у збірний резервуар 15. У верхній частині корпусу фотобіореакторного пристрою 1, розмістили газовідвідний канал 10 у вигляді каналу діаметром 5 мм, через який вихідні гази збирали в тедларовий пакет, з якого гази збирали для аналізу. Газ аналізували способом газової хроматографії на хроматографі Agilent 7980A. Другий канал у верхній частині корпусу пристрою 1, разом із перфорованою пластиковою сіткою з розміром отворів 2 мм, виконує функцію форсунок 11, з'єднаних з каналом, який дозує і культуральне середовище, і воду для промивання з другої накопичувальної ємності.

Шар капсул з водоростевою біомасою 3, поміщених усередину корпусу 1 мав товщину 800 мм. Капсули 3 мали діаметр 8 мм. Для приготування капсул була використана водоростева біомаса *Chlorella protothecoides* штаму SLYCP01 із власної культури у фотобіореакторах об'ємом 3 м^3 , освітлювана і природнім, і штучним світлом. Перед розміщенням капсул у фотобіореактор, водоростеву біомасу концентрували на сітчастому фільтрі з розміром сітки 10 $\mu\text{м}$ і потім дегідрували на центрифугі. Після дегідрування водорості мали властивості пластичної маси. Їх формували в капсули 3, покриті масою альгінату натрію. Після формування, капсула 3 мала діаметр 8 мм, у кожну капсулу вводили світлову трубку 5, яка в даному випадку через маленький діаметр капсули не мала наконечника, що розсіює світло. Другий кінець світлових трубок 5 поміщали в джерело світла 6, в даному випадку штучне, у вигляді лампи білого світла. Водоростеві капсули 3 насипали вільно. У нижній частині корпусу нижче перфорованої сітки 2, що підтримує капсули 3, була розташована впускна трубка для CO_2 7, яку контролював насос 8. Газ складався з атмосферного повітря, збагаченого технічно чистим CO_2 до концентрації CO_2 25 % об/об. Культуральне середовище для водоростей готували в окремому резервуарі 13 та дозували за допомогою насоса 12. Дозування культурального середовища та газу з CO_2 відбувалося по чергові кожні 10 хвилин протягом 1 хвилини. Капсули промивали раз на день.

Ефективність зв'язування CO_2 пристроєм визначали, вимірюючи концентрацію CO_2 у поданому газі та кількість CO_2 у вихідному газі. Ефективність видалення CO_2 склала приблизно 80 %.

У типовому фотобіореакторі неможливо використовувати таку високу концентрацію CO_2 через феномен швидкого закислення водного середовища. При високій концентрації біомаси у пристрої згідно з прикладом закислення або зменшення величини рН не відбувається, тому що CO_2 відразу використовується біомасою водоростей.

Об'ємна ефективність абсорбції CO_2 отримана в реакторі згідно з прикладом у 15 разів більше, ніж в інших фотобіореакторах.

Приклад 2

Корпус пристрою 1 має чотири бічні стінки, плоску захисну кришку та плоске дно з нахилом у 2 % до випускного отвору. Висота корпусу пристрою відповідно до внутрішніх розмірів від дна до захисної кришки становила 5.1 м і у поперечному перерізі внутрішні розміри, відповідно: довжина 2.5 м, ширина 1.0 м. Три вертикальні стінки прозорі, виготовлені з 3 мм скла з вакуумною ізоляцією. Четверта стінка розташована на північній стороні. Ця сталеві стінка виготовлена з кислототривкої сталі та теплоізолюючого пінополістиролу товщиною 80 мм. Вертикальні стінки корпусу розділені горизонтально на 20 рівних сегментів, кожний по 0.2 м висотою та на два крайніх сегмента з висотою 0.3 м кожний – верхній, що закінчується захисною кришкою, і нижній, що закінчується плоским дном. Кожний з 20 сегментів – незалежний структурний елемент, що має бічну стінку, з термоізоляцією, постійно з'єднану з перфорованою сіткою 2 з пластику товщиною 8.0 мм, яка розташована на напрямній, яка дозволяє її переміщати та видаляти сітку з корпусу пристрою для періодичної зміни положень сіток відповідно до правила, що сама верхня сітка повинна бути послідовно переміщена на місце самої нижньої. Перфорація проводиться під час створення сітки та займає 60 % поверхні сітки, отвори мають діаметр 10 мм. Краї перфорованої сітки мають висоту 50 мм, що захищає капсули від випадання при переміщенні сітки. Капсули 3 у кількості 32 000 шт. на кожному сегменті розташовані вільно (у всьому пристрої знаходиться приблизно 640 000 капсул), що сприяє промиванню надлишку біомаси водоростей або ціанобактерій. Насип капсул приймає форму оболонки з висотою 150 мм і у напрямку від краю сітки насип збільшується у співвідношенні 2/1. Капсули 3 у гелевій оболонці 4 діаметром 25 мм усередині мають акрилову масу, що розсіює світло, діаметром 5 мм, з'єднану з наконечником світлової трубки 5 діаметром 1.5 мм. Світлові трубки 5 з кожної капсули проводять через бічну стінку з термоізоляцією до джерела світла 6 з довжиною хвилі 640 нм і потужністю 200 Вт, і прикріплюють до нього. У верхньому сегменті висотою 0.3 м на верхівці корпусу пристрою, в захисній кришці біореактора, постійно вмонтовані 24 спринклерні форсунки 11 у вигляді повноконусних форсунок. Форсунки 11 забезпечують розподіл води або води з культурального середовища для промивання за всією поверхнею. Кожна форсунка з'єднана з трубопроводом під тиском діаметром 25 мм, з'єднаним з головним трубопроводом діаметром 50 мм. Усі трубопроводи кріпляться до захисної кришки корпусу 1. Далі, головний 50 мм трубопровід, що розширюється зовні корпусу пристрою, ізолюваний термоізоляцією та з'єднаний через трійник із заглибним перекачувальним насосом 12 потужністю 0.2 кВт зі зворотним клапаном, ефективність якого являє собою $Q=0.001 \text{ м}^3/\text{хв}$, і підйомна висота являє собою $H=10 \text{ м H}_2\text{O}$. Другий кінець трійника з'єднаний з трубопроводом під тиском діаметра 50 мм і з 0.5 кВт заглибним насосом зі зворотним клапаном 14, ефективність якого $Q=0.01 \text{ м}^3/\text{хв}$ і підйомна висота $H=30 \text{ м H}_2\text{O}$. Насос 12 розташований в резервуарі 13 з культуральним середовищем об'ємом 0.2 м^3 і поміщений на висоті останнього, найвищого сегмента корпусу 1. Обидва насоси 12 і 14 мають контролери для визначення часу роботи кожного насоса. Для насоса 12 вибраний час накачування культурального середовища 0.5 хвилин і час паузи 10 хвилин. Інший насос 14 качає воду зі збірного резервуара 15 кожні 6 годин по 8 хвилин, обов'язково перериваючись на перекачування культурального середовища. Об'єм збірного резервуара 0.5 м^3 , і він є проточним резервуаром, який з одного боку з'єднаний з віддільним резервуаром 16, а з іншого боку закінчується каналом для витікання 20 діаметром 200 мм для видалення надлишку води, яка після очищення у віддільних пристроях, повертається в резервуар 13 і використовується для приготування розчину мінеральних культуральних середовищ. Концентрація культурального середовища в 50 разів більше, ніж у стандартних відкритих культуральних резервуарах. Газу в кількості 1000 м^3 за день після згоряння біогазів охолоджують до температури 30°C і збирають у резервуар 9 в об'ємі 30 м^3 і періодично кожні 9 хвилин протягом 1 хвилини вводять у нижній сегмент корпусу пристрою 1. Димові газу з резервуара 9 течуть через канал з діаметром 300 мм у насос, що перекачує газ, 8 у вигляді вентилятора з витратою $Q_g=7.0 \text{ м}^3/\text{хв}$. Вихід вентилятора з'єднаний з впускним трубопроводом для CO_2 , виконаним у вигляді дифузора, який разом із корпусом пристрою 1 має

розміри прямокутника 100 мм x 1500 мм і вмонтований на 100 мм нижче найнижчої перфорованої сітки 2.

Крім того, газовідвідний канал 10 пристрою знаходиться в захисній кришці у верхньому сегменті сталевому корпусу пристрою й являє собою трубку висотою 0,3 м і діаметром 0,5 м, захищену зверху сталеву сіткою з розміром гнізд 5 мм x 5 мм.

Дно корпусу пристрою 1 зроблене з кислототривкої сталі та має нахил 2 % до вихідного каналу 17, через який витікає біомаса водоростей або ціанобактерій і водні рідини, що містять і невикористані субстанції культурального середовища, і метаболіти, вироблені у процесі фотосинтезу.

Вихідний канал 17 діаметром 200 мм поміщений одним кінцем у воду у віддільний резервуар 16 для надлишку біомаси водоростей або ціанобактерій об'ємом 0,5 м³ і має форму закритого сифона, яка не дає газам, уведеним у пристрій, виходити через цей канал. У резервуар 16 вбудований клапан 18, а на іншому кінці вмонтований трубопровід для зливу 19 діаметром 200 мм, через який видалюють конденсовану біомасу водоростей або ціанобактерій, і при реалізації вона дає приблизно 30 кВт на сільськогосподарському біогазовому заводі.

Кількість біогазу, який одержують щодня у процесі ферментації органічних субстратів для цього типу установок, складає близько 100 м³.

Якісний склад біогазу наступний:

метан – 66 % об/об,

CO₂ – 33 % об/об,

інші гази приблизно 1 % об/об.

Біогаз спалюють у газових котлах, і за день одержують приблизно 1000 м³ димових газів зі вмістом CO₂ 14 % об/об. Кількість діоксиду вуглецю, виробленого за день, становить близько 30 кг.

Ефективність біосеквстрації діоксиду вуглецю у пристрої згідно з винаходом становить 80 % і призводить до видалення CO₂ з димових газів у кількості 24 кг CO₂ за день. Об'єм пристрою, наповненого капсулами, становить приблизно 6 м³ при концентрації мікробіомаси в капсулах на рівні 22 кг д.м./м³.

Загальна кількість сухої речовини мікробіомаси у пристрої була приблизно 130 кг. Ефективність росту водоростевої біомаси у пристрої знаходиться в діапазоні 8.2 – 8.6 кг д.м./м³ за день.

В результаті зв'язування CO₂ і застосування введення живильних речовин у технологічну систему, загальний приріст біомаси водоростей становить приблизно 50 кг д.м. за день.

Отримана біомаса водоростей буде використана в якості субстрату для біогазової установки.

З 50 кг сухої речовини мікробіомаси можна одержати приблизно 25 м³ біогазу зі вмістом метану приблизно 70 %, що задовольняє внутрішні потреби біогазової установки для органічних субстратів на приблизно 25 % і забезпечує потенційну потужність на рівні 7.2 кВт.

Для порівняння, у типових відкритих фотобіореакторах концентрація мікробіомаси знаходиться на рівні приблизно 3 кг д.м./м³, що в 7 разів менше, ніж у представленому пристрої. Більше того, швидкість росту водоростевої біомаси знаходиться на рівні приблизно 0,25 кг д.м./м³ за день. Це означає, що для одержання 50 кг д.м. мікробіомаси за день, які потрібні для видалення 24 кг CO₂ за день, потрібний пристрій зі стандартною глибиною 0,3 м і поверхнею приблизно 600 м².

Список пронумерованих посилань

(1) корпус фотобіореакторного пристрою

(2) перфоровані сітки

(3) капсула з біомасою водоростей або ціанобактерій

(4) зовнішня оболонка капсули

(5) світлова трубка

(6) джерело світла

(7) впускна трубка для CO₂

(8) насос для перекачування газу

(9) резервуар з CO₂

(10) газовідвідний канал

(11) спринклерні форсунки

(12) насос для дозування культурального середовища

(13) резервуар з культуральним середовищем

(14) насос для промивання

(15) збірний резервуар

- (16) віддільний резервуар для надлишку біомаси водоростей або ціанобактерій
- (17) вихідний канал
- (18) клапан
- (19) трубопровід для зливу
- 5 (20) канал для витікання
- (21) наконечник світлової трубки всередині капсули
- (22) трубопровід

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 10 1. Фотобіореактор для біосеквстрації CO₂ з іммобілізованою біомасою водоростей або ціанобактерій, що має закриту структуру, розділену на сегменти, який **відрізняється** тим, що зазначені водорості або ціанобактерії іммобілізовані в капсулах (3) діаметром від 5 мм до 40 мм, при цьому зазначені капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) забезпечені
- 15 світлом від джерела світла (6) за допомогою світлових трубок (5), при цьому зазначені світлові трубки виконані з можливістю доставки світла безпосередньо всередину зазначених капсул з біомасою.
- 2. Фотобіореактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що зазначені капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) в сегменті фотобіореактора вільно розташовані в сітці з отворами (2).
- 20 3. Фотобіореактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що зазначена зовнішня оболонка (4) капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) має пори діаметром від 5 мкм до 100 мкм.
- 4. Фотобіореактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що до кожної капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) від зазначеного джерела світла (6) веде окрема одиночна світлова трубка (5).
- 25 5. Фотобіореактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що зазначені капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) оточені газовою атмосферою.
- 6. Фотобіореактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що зазначені капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) виконані з можливістю змочування культуральним середовищем.
- 30 7. Фотобіореактор за п. 6, який **відрізняється** тим, що зазначені капсули з біомасою водоростей або ціанобактерій (3) виконані з можливістю періодичного змочування та промивання зазначеним культуральним середовищем.

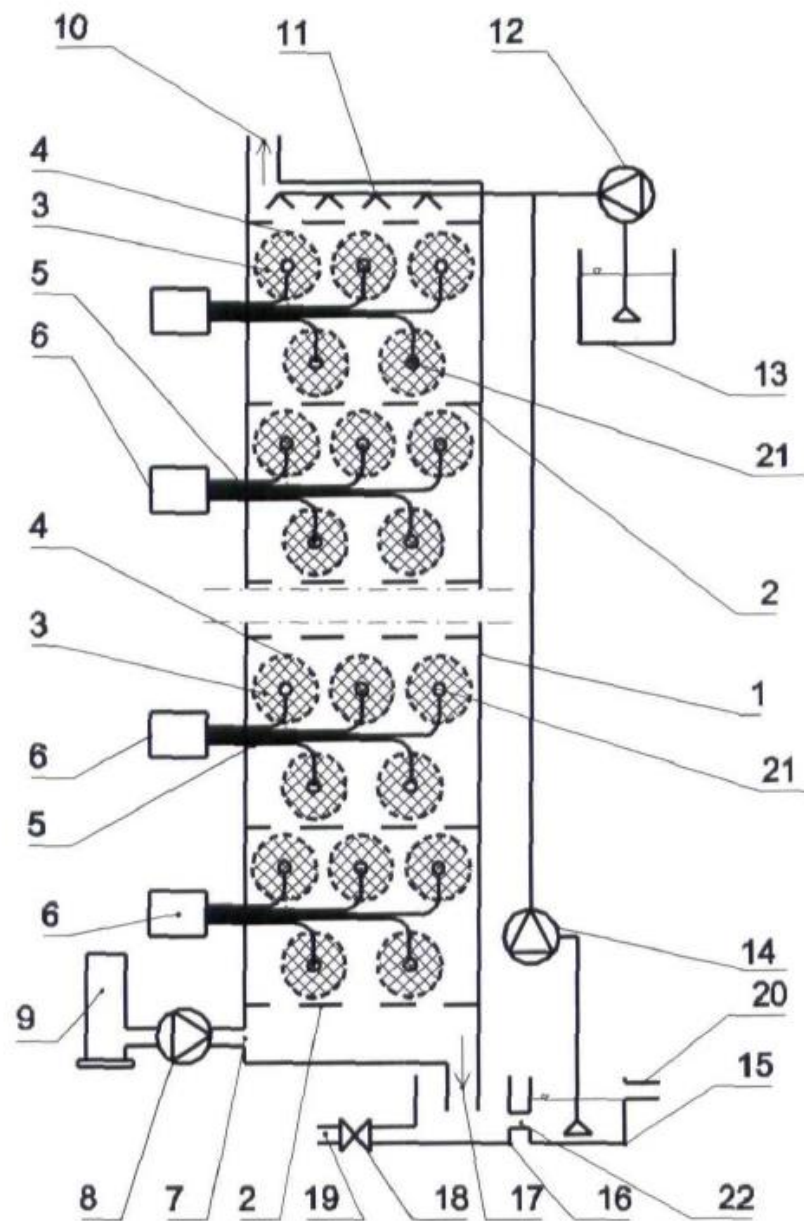


Fig. 1

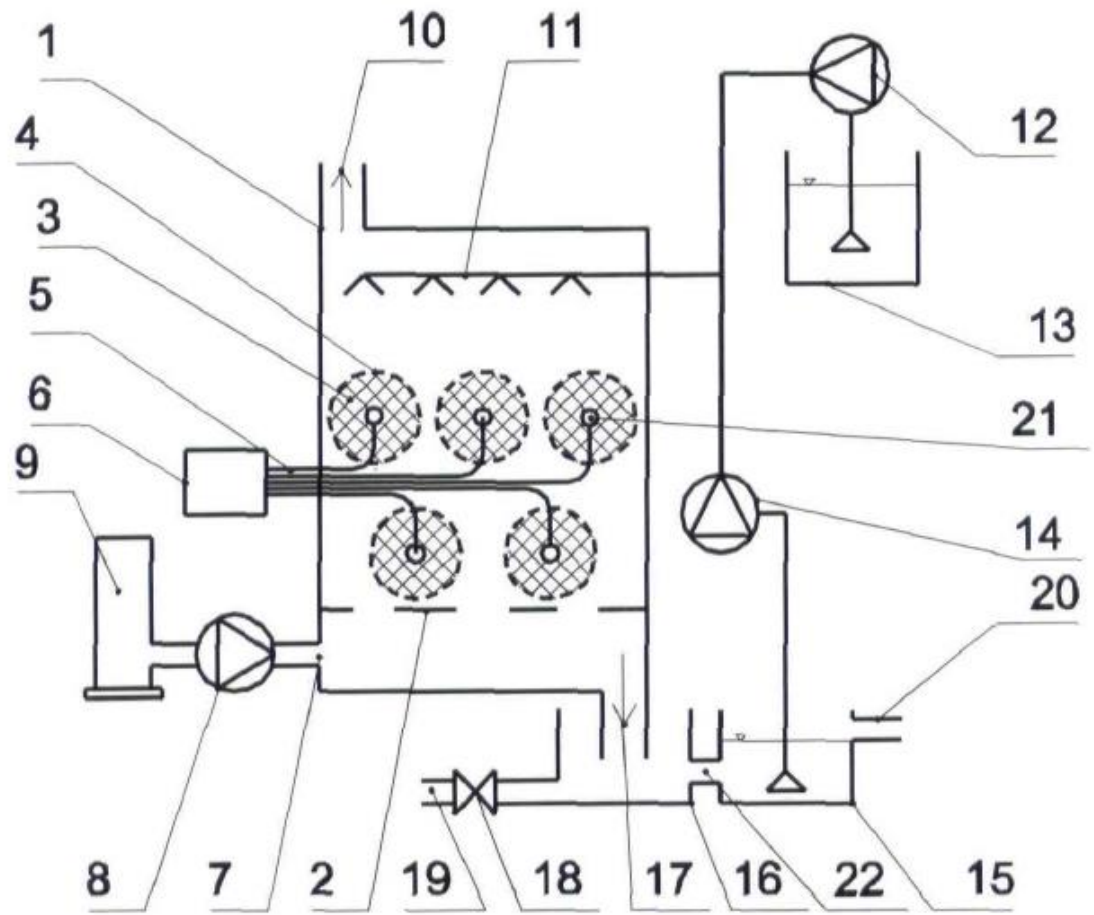
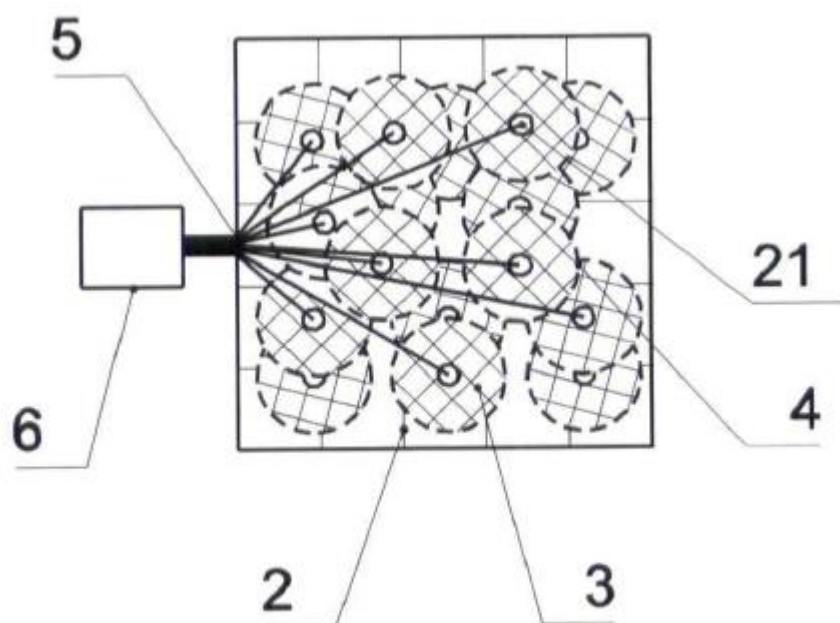
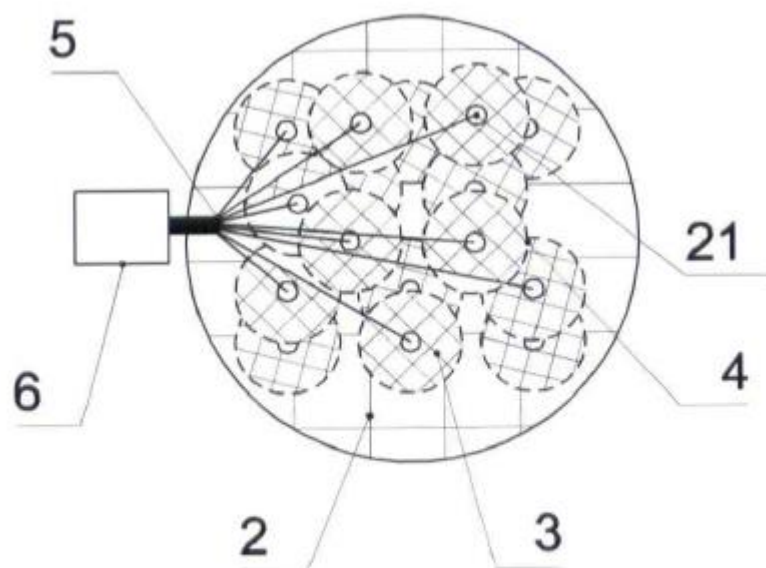


Fig. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка В. Юкін

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601