



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 57962

(13) A

(51) 7 A01G31/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ТА ФОТОРЕАКТОР ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

1

2

(21) 2002042798

(22) 08 04 2002

(24) 15 07 2003

(46) 15 07 2003, Бюл. № 7, 2003 р.

(72) Адаменко Іван Олексійович, Адаменко
Олексій Іванович

(73) Адаменко Іван Олексійович

(57) 1 Спосіб вирощування мікробіодоростей у закритому об'ємі, який відрізняється тим, що мікробіодорості вирощують у закритому нерухомому об'ємі, освітлюваному щільними світловодами, утвореними із поверхонь самопливних шарів суспензії на підтримуючих поверхнях плівок, сіток, джгутів, стрічок, нахилених до горизонту під кутом, меншим або рівним 90° , зібраних у пакети чи пакети-барабани, що обертаються, прикритих знезараженим газом з регульованим вмістом кисню і двоокису вуглецю

2 Спосіб по п. 1, який відрізняється тим, що самопливні шари суспензії періодично вводять в режим промивання з підвищеною швидкістю руху суспензії

3 Фотореактор для вирощування мікробіодоростей по способу пп. 1, 2, який має закритий нерухомий об'єм і містить збірну ємність, побудовану подачі і пристрій розширення потоків суспензії із маточної культури і живильного розчину, який відрізняється тим, що робочий об'єм оснащений замкнутою механічною системою вентиляції з кондиціонуванням знезараженого газу з регульованим вмістом кисню і двоокису вуглецю і щільними світловодами, утвореними вільними поверхнями самопливних шарів суспензії, підтримуваних плівками, сітками, джгутами, стрічками із світлопрозорих змочуваних матеріалів, нерухомими або рухомими

Винахід відноситься до сільськогосподарства і може бути використаний для закритого великомасштабного вирощування мікробіодоростей, що використовуються як харчові добавки та сировина для ліків. Такою водоростю є спіруліна. Спіруліна містить унікальний комплекс необхідних людині компонентів. Розроблені технології вирощування спіруліни, збагаченої йодом, фтором, германієм, залізом. Винахід може бути використаний також для вирощування мікробіодоростей з високим вмістом ліпідів, які мають високі енергетичні характеристики і призначаються для накопичення та зберігання сонячної енергії.

Існуючі методи вирощування спіруліни відкритим способом не забезпечують сучасні санітарно-епідемічні нормативні вимоги, а низька продуктивність і висока енергозатратність не дозволяють використати переваги біотехнологій мікробіодоростей над технологіями вищих рослин.

Аналогом способу вирощування є спосіб вирощування у тонкому шарі суспензії товщиною від 5 мм до 5 см, що формується у скляних трубках діаметром 7 см і довжиною 2,5 км чи щільних з перетином $0,05 \times 1,5 \text{ м}^2$ довжиною 100 м. Останній одержав назву панельного [1] і виконується як лабораторний і як промисловий при об'ємі робочої суспензії до 6 м^3 .

Недоліком цього аналогу є незахищеність суспензії від докльпів при переході суспензії з освітленого робочого об'єму у буферний об'єм, де мікробіодорості мала б віддати надлишок кисню і підживитися газоподібним двоокисом вуглецю. Суспензія у робочому об'ємі перебуває 2 години, а у буферному - $1/4$ години при кожному кругообігу суспензії. Буферний об'єм є надто малим. Створюється висока концентрація кисню у суспензії, яким живляться супутні бактерії, їх маса досягає 20% від маси основної культури. Спіруліна набуває шкідливих характеристик [2]. Недостатнє підживлення двоокисом вуглецю зменшує продуктивність. Необхідність механічного переміщення суспензії на шляху 100 м (у панельному способі) і 2500 м (у трубчатих конструкціях) зумовлює великі енергозатрати. Існує також спосіб вирощування спіруліни у великих об'ємах при використанні барботажу. Це також енергозатратний метод. Підвищення продуктивності на 15% вимагає щогодинної подачі стисненого повітря в об'ємах, що перевищує об'єм суспензії у 100 разів.

Прототипом способу по даному винаходу є спосіб вирощування у рухомому (обертвовому) робочому об'ємі на світлопропускній поверхні у шарі суспензії мікробіодорості, що утворюється під дією відцентрових сил і має вільну поверхню суспензії.

(13) A

(11) 57962

(19) UA

газ [3]. Шар суспензії утворюється тоді, коли циліндр із скла приводиться в рух електродвигуном. Циліндр частково заповнюється суспензією, частково газом. Газообмін здійснюється на протязі всього робочого циклу, це усуває недоліки аналогів, але періодичність заповнення робочого об'єму суспензією і газом не дозволяє використати спосіб-прототип у промислових установках. А необхідність обертати всю масу суспензії створює конструктивні ускладнення і підвищені енергозатрати.

Відомі фотореактори - аналоги для великомасштабного промислового вирощування спіруліни, наприклад, фотореактор О. Пупьца [1], що реалізований на робочий об'єм 6м^3 . Аналог має робочий освітлений нерухомий об'єм, обмежений світлопрозорими поверхнями панелей, в якому знаходиться суспензія спіруліни, і додатковий буферний об'єм для газообміну.

Прототипом фотореакторів, що пропонуються, є фотореактор з підтримуючою зовнішньою світлопрозорою поверхнею обертового циліндра і вільною до газу внутрішньою вертикальною поверхнею, що утворюється силами відцентровими при обертанні всієї суспензії і зовнішнього циліндра. Недоліком прототипу є малий об'єм, який може бути приведений у рух, мала освітлювана поверхня, періодичність заповнення та роботи, що зменшують продуктивність, збільшують затрати, ускладнюють конструкцію.

Задачею винаходу - способу є забезпечення вимог по ізоляції мікробіоти від довкілля, недопущення розвитку супутніх бактерій, зменшення енергозатрат, підвищення продуктивності і створення можливостей для великомасштабного вирощування мікробіоти.

Це досягнуто тим, що 1) мікробіота вирощується в закритому нерухомому об'ємі, освітленому щільними світловодами із самопливних шарів суспензії на підтримуючих поверхнях плівок, сток, джгутів, стрічок, нахилених до горизонту під кутами меншими або рівними 90° , зібраних у пакети чи пакети-барабани, що обертаються, прикритих незараженим газом з регульованим вмістом кисню і двоокису вуглецю, 2) самопливні шари суспензії періодично вводяться в промивний режим з підвищеною швидкістю руху суспензії.

Це досягнуто тим, що фотореактор виконується із закритим нерухомим освітленим робочим об'ємом, збірною ємністю, побудником подачі і пристроєм для розшарування потоків суспензій із маточної культури і живильного розчину, який відрізняється тим, що робочий об'єм обладнано замкнутою механічною системою вентиляції з кондиціонуванням незараженого газу з регульованим вмістом кисню і двоокису вуглецю і щільними світловодами, утвореними вільними поверхнями самопливних шарів суспензії, підтримуваних плівками, сітками, джгутами, стрічками, які змочувани, світлопрозорі, нерухомі або рухомі.

Суть винаходу ілюструють приведені малюнки. При цьому

Фіг 1. Пакет щільних світловодів

Фіг 2. Диск щільного світловода

Фіг 3. Обертовий барабан щільних світловодів

Фіг 4. Фотореактор з пакетом нерухомих світловодів

Фіг 5. Фотореактор з обертовим барабаном щільних світловодів

Фіг 6. Фотореактор з обертовим барабаном. Друга проекція

Фіг 7. Фотореактор з пакетами, що з'єднані паралельно

Фіг 8. Фотореактор з пакетом, підтримуючи поверхні якого нахилені до горизонту

Спосіб вирощування мікробіоти виконується на використанні закритого нерухомого об'єму, ізольованого від довкілля на всьому шляху руху суспензії, єдиного освітленого об'єму. Буферний об'єм не використовується. Для газообміну використовуються вільні поверхні на межі рідина-газ, які є також світлосприйнятливими, і механічна вентиляція робочого об'єму газом, що має такі додаткові процеси: незараження, наприклад, ультрафіолетовим опроміненням, вилучення фотосинтетичного кисню, приготування газових сумішей і подачу вентилятором.

Спосіб вирощування ґрунтується на комплексному використанні щільних світловодів і тонких самопливних шарів суспензії на підтримуючих поверхнях плівок, сток, джгутів, стрічок із прозорих змочуваних (гідрофільних) матеріалів, які збільшують освітлювану і вільну поверхню і мають особливість за рахунок поверхневого натягу утримувати товстіші шари суспензії.

Щільні світловоди утворюються за допомогою світлопрозорих поверхонь, орієнтованих до джерела світла, нахилених до горизонту під кутом меншим або рівним 90° , які підтримують самопливні шари суспензії (фіг 1, 2, 3). Віддаля між поверхнями вибирається в залежності від призначення, конструктивного рішення та джерела світла. Потужний лазер в імпульсному режимі дозволяє освітлити щільні довжиною кілька метрів. Лампи люмінесцентні здатні освітлити глибину 5 - 10 см, природне світло проникає у щільний світловод на глибину 1 - 1,5 м. При збільшенні товщини щільної глибини проникнення світла зростає. Ця обставина дозволяє оптимізувати освітлення робочого об'єму шляхом вибору кількості шарів та віддаля між ними.

Друга важлива особливість способу вирощування мікробіоти полягає у тому, що світловодними поверхнями використовуються вільні (так називають поверхні розподілу рідини і газу) поверхні шарів суспензії, які утворюються на підтримуючих поверхнях сток із світлопрозорих змочуваних матеріалів. Сітка дозволяє підтримувати шар суспензії з двома вільними і двома світлосприйнятливими поверхнями. Сітка характеризується діаметром нитки і кроком між нитками. Чим товщі нитки, тим товщий шар суспензії утримується на поверхнях. Сили поверхневого натягу створюють локальні та загальні шари суспензії, що повторюють профіль поверхні сток. Протимоскітна поліетиленова сітка з нитками діаметром 0,25 мм і кроком 0,8 мм при куті рівному 90° - вертикальному положенні, утримує на своїй поверхні суспензію масою в 10 раз більшою маси сітки при нульовій швидкості руху. Каплі діаметром 5 мм "висять". Привести їх в рух можна подачею додаткової суспензії.

Підтримуючими поверхнями можуть бути використані також поверхні джгутів, стрічок із світлопрозорих змочуваних матеріалів, а також нержавіючої сталі

Третя особливість способу полягає у використанні залежності швидкості самопливного руху суспензії у полі земного тяжіння від товщини шару суспензії. Ця залежність вивчена механікою суцільного середовища [4, с. 85]

Величина подачі і середня швидкість руху пропорційна товщині шару суспензії у третій степені, синусу кута нахилу поверхні і обернена пропорційна густині (в'язкості). Якщо на одній поверхні $n = 1$ підтримується товщина шару h при подачі Q і така ж сумарна товщина підтримується в n шарах, то швидкість руху і величина подачі зменшаться в n^2 раз $Q_{\Sigma n} = Q/n^2$

При $n = 100$ затрати на подачу суспензії зменшуються в 10^4 раз порівняно з тими, які потрібні при створенні одного товстого шару. Середня швидкість руху суспензії на підтримуючих поверхнях пропорційна подачі $Q_{\Sigma n}$. Швидкість самопливного руху легко регулюється. Періодично на підтримуючі поверхні подається імпульс збільшеної кількості суспензії. Це промивний режим, який виконує дві функції розбавлення освітленої частини суспензії в загальній масі, природний таксис, і промивний режим підтримуючої поверхні.

Різде зростання світлосприймаючих поверхонь обумовлює необхідність використання лазерного скануючого освітлення щільних світловодів, яке знижує поріг фотосинтезу і дозволяє використати малі освітленості. Пряме сонячне світло в наших широтах має потужність 1 кВт/м^2 і освітленість 80 клкс . Кожне відбиття променя в світловоді зменшує освітленість.

На приведених малюнках показано напрями подачі світла у пакети щільних світловодів. Поз 1 означає збірну ємність. Світлопрозора поверхня, поз 2, обмежує робочий об'єм і захищає культуру мікроводоростей від доквілля. Поз 3 показує щільний світловод і підтримуючі сітки, зібрані у пакет фіг 1 і пакет-барабан фіг 2 і 3. Для подачі суспензії використовується побудник подачі 5, фіг 4 і фіг 5. Тонкі шари суспензії на підтримуючих поверхнях створюються пристроями розшарування потоку, поз 6, розміщеними у верхній частині робочого об'єму. Схеми організації освітлення з пакетами-барабанами приведено на фіг 2 + 6. Барабан приводиться в рух приводом поз 4, фіг 6. Нижня частина барабана занурена в суспензію на глибину $1/3$ діаметра барабана і обертається з швидкістю $10 - 15 \text{ об/хв}$. Змочувані поверхні спок виносять суспензію в зону освітлення і газообміну. Цим створюються можливості для значного розвитку освітленої поверхні без застосування побудника подачі.

Газообмін. При фотосинтезі 1 г сухої речовини спіруліни в суспензію виділяється $1,6 \text{ г}$ кисню. Для дихання використовується $0,4 \text{ г}$. Надлишок кисню становить $1,2 \text{ г}$ на кожний грам вирощеної маси. При вирощуванні спіруліни загальновідомими способами цей кисень використовується супутніми мікробами, маса яких досягає 20% від маси основної культури.

При газообміні в атмосферу дифузія повинна

йти в середовище, в якому кисню 21% , а порційний тиск $0,2 \text{ атм}$. Для підживлення культури в суспензію потрібно ввести 25% двоокису вуглецю. Повітря має тільки $0,015$ вуглекислого газу. Даний метод різко змінює ситуацію. 1) Вільні поверхні прикривають тонкі шари суспензії, яка рухається зустрічно потоку газів, що подаються ззовні від системи кондиціонування. Час контактування і площа контакту змінюється на три порядки. 2) У газі підтримується 4% кисню з порційним тиском $0,04 \text{ атм}$. Швидкість виходу кисню із суспензії значно зростає. 3) У газі, що подається в зону фотосинтезу, двоокису вуглецю може бути 96% . Порційний тиск може перевищувати одну атмосферу. Швидкість дифузії зростає на три порядки. 4) Турбулентність потоку і зміна швидкості його руху в промивних режимах створюють сприятливі можливості для природного таксису мікроводоростей.

Подача газу у робочий об'єм після обробки бактерицидним опроміненням ультрафіолетовим світлом створює можливості для пригнічення процесів окислення вирощеної органічної маси. Швидкий ріст культури, використання якісного початкового матеріалу також повинні бути використані. Переваги даного способу вирощування реалізуються конструктивними рішеннями для фотореакторів, призначених для промислового вирощування мікроводоростей.

Приведені малюнки фіг 4, 5, 6, 7, 8 розкривають суть технічних рішень. Вони є варіантами виконання фотореактора. Кожний із приведених фотореакторів має збірну ємність 1, нерухомий закритий освітлюваний робочий об'єм, що обмежується від доквілля поверхнею 2. У робочому об'ємі установлені щільні світловоди у формі пакетів-сіток, нерухомих (фіг 4, 7, 8, поз 3) або рухомого барабана 3 на фіг 5, 6, нахилених до горизонту під кутом меншим або рівним 90° , нахилених у протилежні сторони з метою перерозподілу та зменшення швидкості руху, фіг 8. Щільний світловод у формі барабана має електропривод 4. Відбиваючими і світлосприймаючими поверхнями у щільних світловодах являються вільні поверхні шарів суспензії, що стікають самопливно в полі земного тяжіння по підтримуючих поверхнях спок, джгутів, стрічок, циліндрів. Над світловодами розміщується пристрій 6 для розшарування потоку суспензії, яка подається побудником подачі 5. Робочий об'єм обладнано приточно-витяжною системою вентиляції 7 з кондиціонером 8 і камерами фільтрації 9, вилучення кисню 10, приготування суміші газів 11, вентилятора 12, знезаражування 13. Барабан щільних світловодів 3, фіг 5, розміщується над ємністю так, щоб низ барабана занурювався у суспензію на третину його діаметра. Щільні світловоди можуть бути приєднаними до потоку суспензії паралельно, як це показано на фіг 7, або послідовно, фіг 8.

Фотореактори працюють так. Суспензія із живильного розчину (для спіруліни середовище Зарука) і маточної культури подається у нижню збірну ємність, поз 1, включається механічна система вентиляції, поз 7, з вентилятором 12, фільтрами 9, лампами знезараження 12 і робочий освітлений об'єм заповнюється знезараженим газом. Включається привід 4, фіг 6, і побудник подачі 5. Розпочи-

нається робочий процес нарощування біомаси. Включається в роботу камера 10 вилучення кисню. Найдоступнішим у сільському господарстві є біогаз $1/3 \text{ CO}_2$, $2/3 \text{ CO}_2$. Зв'язування кисню досягається спалюванням біогазу за допомогою каталітичних горілок. Пристрої знезаражування тепер мають всі кондиціонери, це зумовлено розвитком на каплях води мікробів лепонелі.

Найважливішим новим результатом застосування способу та конструкцій фотореакторів є введення в робочий об'єм суспензії світлової енергії, переведення поверхневого процесу в об'ємний. Відношення освітлюваної поверхні до об'єму може становити 1000 $1/\text{м}$. В аналога цей показник має значення 40 $1/\text{м}$. Фотореактор по фіг 5, 6 при діаметрі в 1 м легко забезпечує освітлену поверхню 140м^2 . Потужність побудника подачі і приводного для барабана в сумі не перевищує 3кВт. Вирощу-

вана культура не має контактів з відкритою атмосферою на протязі всього циклу вирощування. Робочі об'єми не мають конструктивних обмежень.

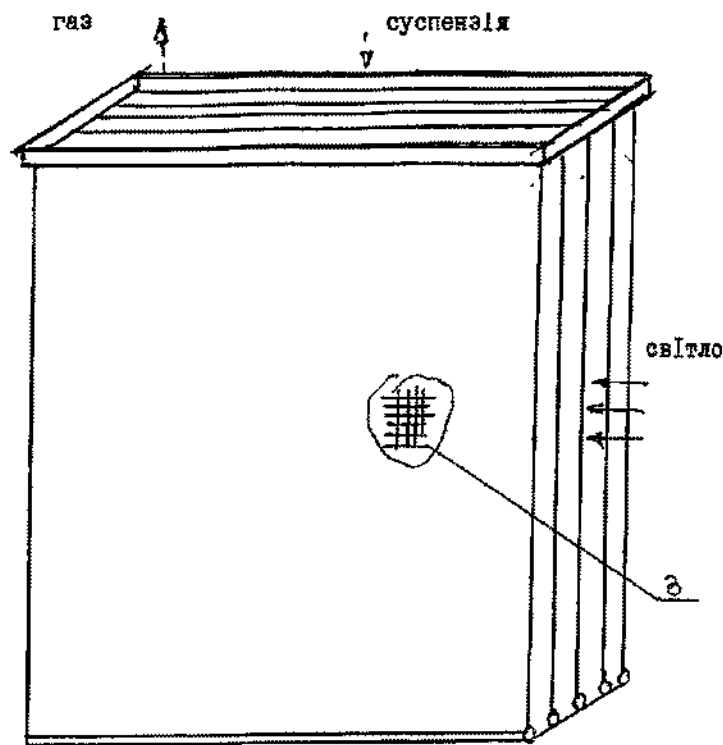
Література

1 О. Пульц, Плоскостной фотореактор открытого типа для продукции биомассы микроводорослей. Физиология растений, 1994 г., том 41, № 2, с 292 - 298.

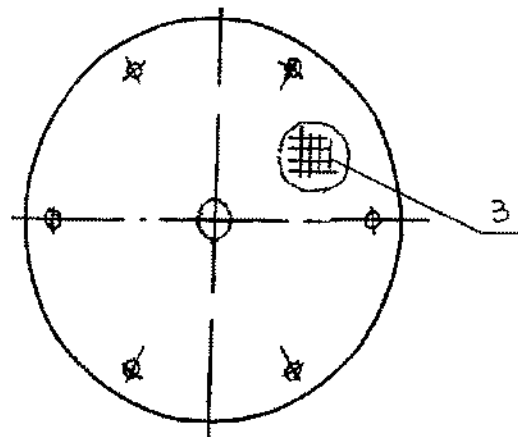
2 А.Я. Болсуновский, С.В. Косиненко, Е.Б. Хромчек. Исследование кислородного режима культуры микроводоросли. Биотехнология, 1997, № 7 - 8, с 60 - 68.

3 Л.Н. Цогин, Б.В. Габель, Т.Н. Фалькович, В.Е. Семенов. Фотореакторы закрытого типа для культивирования микроводорослей. Физиология растений, 1996, том 43, № 1, с 149 - 153.

4 Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Гидродинамика, М. Наука, 1986, с 736, с 84, 85.



Фіг.1



Фіг.2

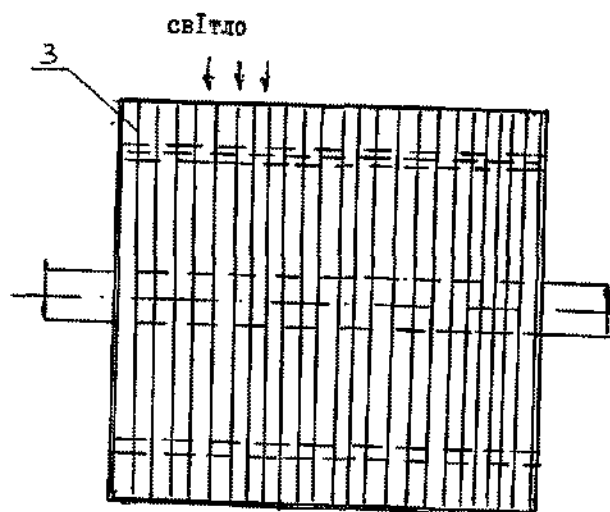


Fig. 3

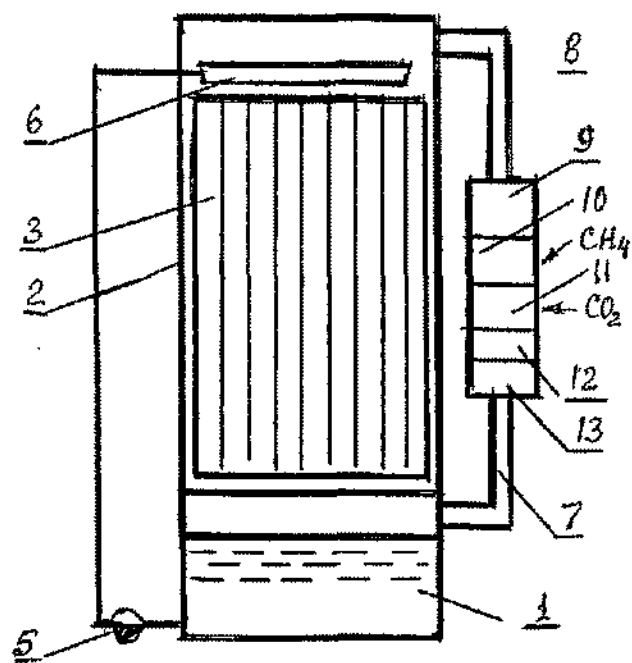


Fig. 4

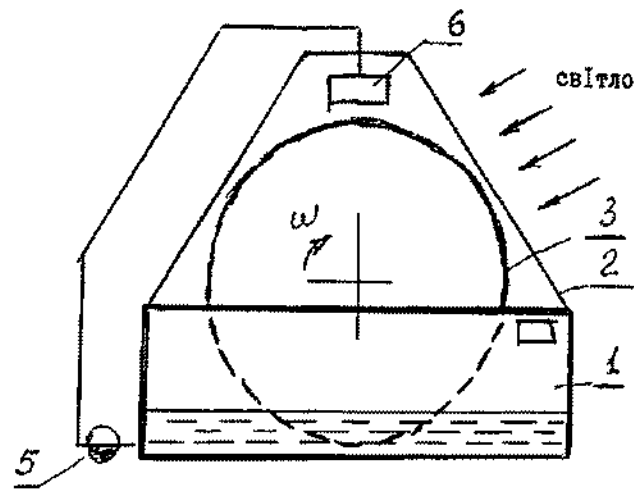


Fig. 5

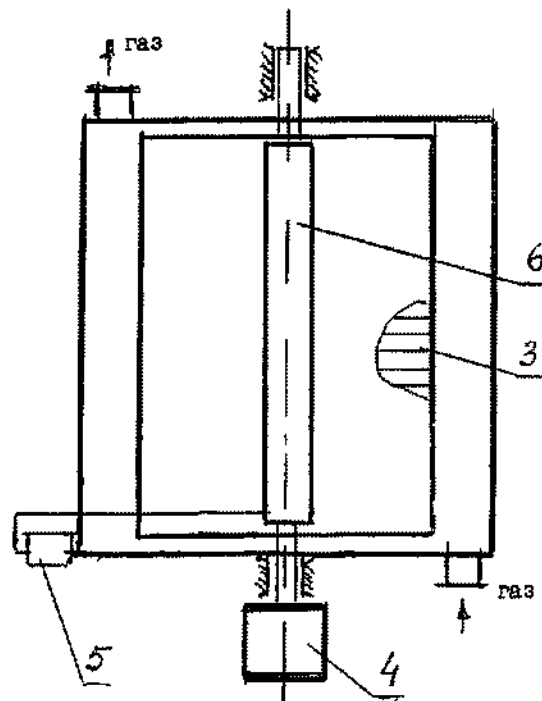


Fig. 6

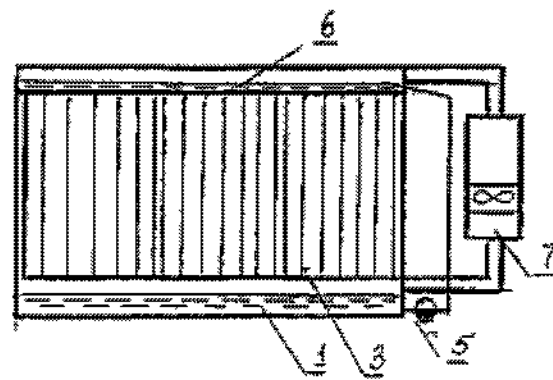


Fig. 7

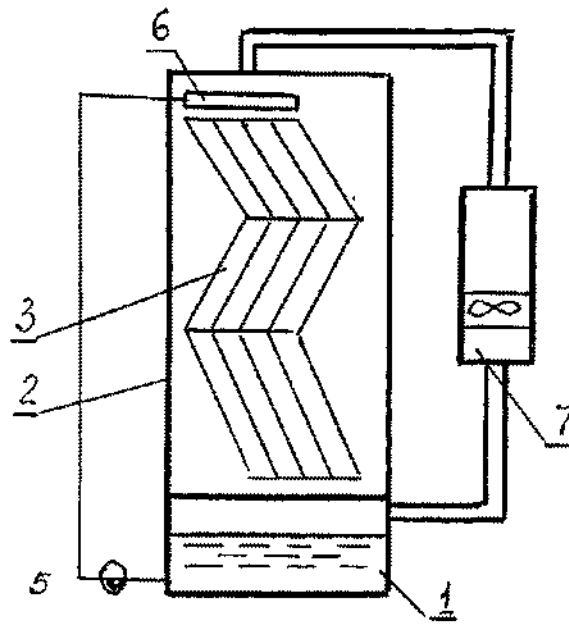


Fig.8