



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63746 (13) U
(51) МПК
C12N 1/12 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ФОТОБІОРЕАКТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

1

(21) u201100748

(22) 24.01.2011

(24) 25.10.2011

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) ФЕДОТКІН ІГОР МИХАЙЛОВИЧ, ФЕДОТКІНА-ГІНЦГЕЙМЕР НІЛА ГЕОРГІЙВНА

(73) ФЕДОТКІН ІГОР МИХАЙЛОВИЧ

(57) 1. Фотобіореакторна установка для вирощування мікроводоростей, що включає трубчатий фотобіореактор, блок очистки газового CO₂ і димових газів, блок приготування живильного субстрату, рециркуляційний і барботажний блоки, блок обробки біомаси водоростей і виділення з неї жирних кислот, яка **відрізняється** тим, що для виділення жирних кислот із біомаси застосовується адсорбційна кристалогідратна колона, а для нейтралізації знищуючих водорості азотної і сірчаної кислот застосовують вапнянорозчинне дефекозатураційне обладнання бурякоцукрових заводів, вапнянорозчинне дефекозатураційне обладнання бурякоцукрового виробництва компонується з фотобіореактором шляхом поєднання його в лінії, які всі з'єднуються з баком живильного розчину фотобіореактора:

- лінія підготовки води включає в себе установку для структурування води за допомогою спінової поляризації, установку кавітаційного знешкодження від шкідливих мікроорганізмів, дозатори домішки морської води, дозатори мікроелементних домішок і кавітаційні змішувачі;

- лінія дефекозатурації включає в себе установку гашення вапна водою, кавітаційний активатор вапнякового розчину, апарат дефекації, до якого підключають живильний розчин з лінії водопідготовки, сатуратора, до якого підключають очищений вуглекислий газ, всі лінії мають власні насосні агрегати і їх включають до бака живильного розчину, бак живильного розчину оснащують дозаторами мікроелементного складу, вилучуваного з лінії підготовки дріжджів, до якої входить апарат експрес-методу приготування дріжджів, кавітаційний подрібнювач-змішувач, бак живильного розчину насосом для скачування сполучають з входом до фотобіореактора, в якому чергують підйомні і опускні труби, підйомні труби з'єднують в нижній частині з повітряними трубопроводами, по яких нагнітають компресором суміш повітря і CO₂ (до 3 %), з фотобіореактора біомасу разом з розчином періодично

2

скачують і подають на центрифугу безперервної дії, рідину видаляють, а біомасу подають на установку CO₂-екстракту і у міру потреби направляють до установки вибіркової кристалогідратної екстракції, де розділяють на різні компоненти, жирні кислоти для біодизельного палива подають на ректифікаційну колону і розганяють по фракціях.

2. Фотобіореакторна установка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що в ній використовують наступні пристрої стимулювання темпу росту мікроводоростей:

- спіновий поляризатор і торсійний генератор,
- інформаційно-хвильовий прилад на рідких кристалах гафнію типу SEM-TECH з датчиками запису інформаційно-хвильових характеристик мікроводоростей на виході, передачі їх на вхід реактора і перезапис на воду лінії водопідготовки, прилад SEM-TECH модернізовано, оснащено додатковими інтегральними схемами, які переводять його роботу в автоматичний режим "включення-запис-передача інформації-перезапис";

- підключення спінового поляризатора у вигляді гостроконусних електромагнітів з правоюгвинтовим і лівогвинтовим напрямками обмоток до електромережі електроживлення люмінесцентних і флуоресцентних ламп;

- установка високовольтного (30-60 кВ) електроізолюваного електрода-кавітатора на лінії водопідготовки;

- установка кавітатора-калібратора на лінії водопідготовки;

- установка рециркуляційних трубопроводів з мембранним насосом, який з'єднує вихід з фотобіореактора з входом в реактор;

- установка гідропульсатора поршневого або плунжерного типу, підключеного до рециркуляційного трубопроводу;

- установка пористих пластмасових барботерів в кожній підйомній секції трубчатого фотобіореактора, з'єднаних з мембранним акваріумним компресором і через нього з лінією очистки газового CO₂;

- установка в нижній частині кожної трубчатої секції соленоїдних котушок, забезпечуючих густину електричного струму 10 кА/м² і магнітну індукцію 1 Т;

- подача вуглекислого газу і добового настою солами 100 мл/л в малий реактор для вирощування клітковинних бактерій і відвід суспензії з клітковин-

(13) U

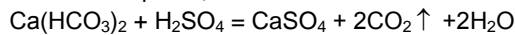
(11) 63746

(19) UA

ними бактеріями в блок приготування живильного субстрату;

- підвід вуглекислого газу до сатуратора разом з водним розчином вапна;
- установка багатоступеневого кавітатора активації вапнякового розчину.

3. Фотобіореакторна установка за пп. 1, 2, яка **відрізняється** тим, що в ній використовують всі компоненти димових газів, включаючи окисли азоту N_2O , NO , NO_2 та двооксид сірки SO_2 , а шкідливі для мікрободоростей азотні і сірчана кислоти нейтралізують на дефекосатурації кальцій гідрокарбонатом за реакцією



сполуки кальцію з сіркою і азотом направляють в блок підготовки живильного розчину як азотне і сірчане живлення, кальцій гідрокарбонат отримують на дефекосатурації за реакцією сполучення гашеного вапна $Ca(OH)_2$ з вуглекислим газом CO_2 : $Ca(OH)_2 + CO_2 = Ca(HCO_3)_2$, надлишок кальцій-гідрокарбонату направляють в блок підготовки живильного субстрату як CO_2 -живлення, разом з надлишком газового CO_2 , утвореного на сатурації і внесеного димовими газами.

4. Фотобіореакторна установка за пп. 1-3, яка **відрізняється** тим, що для фізичної абсорбції газового CO_2 на лінії підготовки живильного субстрату використовують кавітаційно-пухирцеві, кавітаційно-суперкавернові абсорбери з аерозольним розпилом на межі каверни з рідиною та барботажні абсорбери, всі три абсорбери можуть бути виконані у вигляді єдиного блока.

5. Фотобіореакторна установка за пп. 1-4, яка **відрізняється** тим, що для стимулювання темпу росту мікрободоростей в лінії підготовки живильного середовища використовують установку експрес-методу вирощування кормових дріжджів, які мають однаковий з мікрободоростями склад мікроелементів, установка експрес-методу вирощування дріжджів відрізняється від барботажних дріжджоростильних колон наявністю ежекторів, які розпилюють живильне середовище в навколишньому повітрі з ефективністю, яка значно перевищує ефективність барботажу.

6. Фотобіореакторна установка за пп. 1-5, яка **відрізняється** тим, що CO_2 -живлення мікрободоростей здійснено в установці обладнанням, яке використовує 6 способів CO_2 -живлення, а саме: біосорбція газового CO_2 з димових газів і з повітря, що нагнітається, в основному фотобіореакторі водоростями і в допоміжному реакторі клітковинними бактеріями, для чого використовуються мембранні або відцентрові компресори і барботери із титанової металоцераміки, фізична сорбція газового CO_2 в кавітаційних абсорберах на лінії підготовки живильного субстрату;

- хімічна сорбція CO_2 на дефекосатурації з утворенням $Ca(HCO_3)_2$ гідрокарбонатів;
- використання надлишку $Ca(HCO_3)_2$ для CO_2 -живлення на лінії підготовки живильного субстрату;
- використання клітковинних бактерій для CO_2 -живлення на лінії підготовки живильного субстрату.

7. Фотобіореакторна установка за пп. 1-6, яка **відрізняється** тим, що основний фотобіореактор виконано для роботи в форсованому експоненціальному режимі за формулою

$$\frac{dN}{dt} = kN,$$

де N - поточна концентрація мікрободоростей;

$\frac{dN}{dt}$ - швидкість росту;

k - константа швидкості росту,

інтегрування цього рівняння від початкової концентрації мікрободоростей до поточної дає

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = k \int_0^t dt; \quad \ln \frac{N}{N_0} = kt; \quad N = N_0 e^{kt}$$

можливість встановити константу швидкості росту, для забезпечення цього режиму конструкцію фотобіореактора виконують секційною (не зміювикою), причому в кожен секцію входить дві труби, об'єднані загальним повітряно-газовим ковпаком з запобіжним клапаном в верхній точці для скиду надлишкового повітря, одна із труб секції підйомна, в неї вдувають з надлишком повітря з добавкою 3 % вуглекислого газу CO_2 , друга труба секції - опускна, в неї повітря не подається, опускную трубу цієї секції в нижній частині з'єднують з підйомною трубою наступної секції, барботер повітря і газу розміщують в підйомній трубі вище місця приєднання опускної труби попередньої секції, всі секції компонують в три ряди і фіксують притискними планками, для забезпечення плавності повороту опускної труби в місці приєднання до підйомної труби їх з'єднують з переходом одного ряду в другий, між трубами на притискних планках розміщують люмінесцентні, флуоресцентні, денні, нанометровхвильові лампи освітлення (з довжиною хвилі $\lambda = 230-260$ нм) з таким розрахунком, щоб було забезпечено потужність освітлення 100 Вт/м^2 площі світлоприйому з обох боків, вихід з останньої опускної труби фотобіореактора з'єднують із входом першої його підйомної труби рециркуляційним трубопроводом, до якого приєднують гідравлічний плунжерний або поршневий пульсатор, кожна пара підйомних і опускних труб створює циркуляційний напір, а рециркуляцію розраховують з врахуванням напору першої підйомної і останньої опускної труби, всі параметри процесу в цьому режимі фіксують на максимальних величинах, а саме: концентрація мікрободоростей 5 г/літр; лужність $pH=9,5-11,0$; температура до $t=40^\circ\text{C}$; кількість CO_2 1,8 кг/1кг сухої біомаси; освітлення 100 Вт/м^2 площі світлоприйому; забезпечення цих показників здійснюють системою автоматизації, до якої входять: автоматичний pH -метр з блоком регулювання лужності на лінії приготування живильного субстрату і лінії дефекосатурації змінюю кількості подачі гашеного вапна $Ca(OH)_2$; автоматичний терморегулятор зі змінюю інтенсивності освітлення і температури живильного субстрату на лінії живлення; кількість CO_2 регулюють подачею газового CO_2 до повітряного потоку, барботованого в підйомні труби реактора.

Корисна модель належить до галузі біотехнології, зокрема до біофотосинтезуючих установок для вирощування одноклітинних мікроводоростей (МКВ) і ціанобактерій на основі поглинання двооксиду вуглецю CO₂ із атмосфери або димових газів і споживання живильних речовин із побутових, сільськогосподарських і промислових стоків при їх одночасному знешкодженні, що вирішує екологічні проблеми.

Загальна характеристика проблеми МКВ та переваги МКВ.

В останній час у світі невпинно нарощується обсяг досліджень в галузі МКВ як альтернативного поновлюваного джерела енергії та речовин, які забезпечують високу якість життя і довголіття лю-

дини. Створюються десятки концернів, виділяються мільйонні асигнування для досліджень в галузі вирощування МКВ і їх переробки.

Багато спеціалістів (в тому числі і в Україні) розглядають можливість вирощування великої кількості олійних культур для вирішення проблеми харчової кризи. Цей підхід має два недоліки: по-перше, вирощування великої кількості олійних культур витисне харчові культури, які вирощуються для задоволення харчових потреб людства, по-друге, традиційні олійні культури далеко не найпродуктивніші і ефективніші джерела рослинної олії. Виявилось, що олійною культурою, здатною давати найвисокі потенціальні виходи енергії, є мікроводорості (МКВ).

Таблиця 1

Виробництво олії (масла) різними олійними культурами з 1га.

Культура	Кг олії/га	Літрів олії/га	Культура	Кг олії/га	Літрів олії/га
Кукурудза	145	172	Рижик (рослина)	490	583
Кеш'ю	148	176	Кунжут	585	696
Овес	183	217	Рис	696	828
Люпин	195	232	Соняшник	800	952
Календула	256	305	Какао	863	1026
Бавовна	273	325	Арахіс	890	1059
Конопля	305	363	Мак	978	1163
Соя	375	446	Рапс	1000	1190
Кава	386	459	Олива	1019	1212
Льон	402	478	Кастор	1188	1413
Лісовий горіх	405	482	Кокос	2260	2689
Насіння гарбуза	449	534	Пальмова олія	5000	5950
Коріандр	450	536	Водорості		95000
Насіння гірчиці	481	572			

В останній час розроблено біофотореактори, в яких в результаті споживання водоростями вуглекислого газу і димових газів, а також стічних вод комунальних, сільськогосподарських і промислових підприємств, за допомогою біофотосинтезу нарощується біомаса вдвічі за 3-6 годин. Такі біофотореактори застосовуються для виробництва біодизельного палива і інших цінних біопродуктів з олії (масла), яка виробляється МКВ на основі запатентованих технологій. Технології не потребують високих капіталовкладень і адаптовані до очищення атмосфери від вуглекислого газу та до знежирення і очищення стічних вод, крім того вони можуть давати колосальні величезні виходи біодизельного палива із олії (масла), вироблюваної водоростями. Водорості можуть знаходитись всередині розробленої системи біофотореакторів безперервної дії всього 3,5 години, після чого вони надходять в переробку.

Переваги МКВ над іншими олійними культурами надзвичайно великі:

- мікроводорості ростуть протягом всього року з надзвичайно коротким життєвим циклом - подвоюють свою біомасу за 3-5 годин;

- для МКВ потрібна легкодоступна сировина: сонячне світло (або штучне освітлення), вода, вуглекислий газ - це дає 94% біомаси, і 6% біомаси

дають живильні речовини Р і N - мікродози фосфорних і азотних добрив, попутно мікрофлора і речовини стічних вод;

- МКВ - найшвидше ростучі рослини на Землі, вони ростуть у 100 разів швидше за дерева; звичайно біомаса МКВ за добу подвоюється;

- з мікроводоростей можна отримувати багато природних продуктів: пігментів, білків, ензимів (ферментів), амінокислот, в тому числі всіх незамінних, цукрів, жирів, мікроелементів, вітамінів, антибіотиків і ліків;

- МКВ ведуть біофотосинтез на основі поглинання вуглекислого газу і обеззараження стічних вод, їх вирощування супроводжується очищенням атмосфери від вуглекислого газу і великим викидом в атмосферу кисню, а також а також обеззараженням і очищенням стічних вод;

- біомаса і кінцеве біопаливо, що виробляються фотосинтезуючими водоростями, мають молекулярну структуру аналогічну нафті і нафтопродуктам, які споживаються в паш час, це забезпечує сумісництво біопалива і сучасної транспортної і енергетичної інфраструктури;

- отримана з фотосинтезуючих водоростей біоолія може бути використана для виробництва всього асортименту палив, включаючи біодизель-

не паливо, бензин, керосин, мазут і ракетне паливо.

Речовини, які можна отримувати з фотосинтезуючих мікроводоростей методом розроблення нами технології вибіркової кристалогідратної екстракції.

До фотосинтезуючих водоростей належать: синьо-зелені водорості - хлорела, спіруліна, хлорококові, ціанобактерії та різноманітні їх штами. Це одноклітинні мікроскопічні рослини з хроматофорами зеленого кольору і діаметром клітин від 1,5 до 15 мікрон.

Кліткові стінки хлорококових водоростей мають такий хімічний склад: 24-74% нейтральні цукри, 1-24% уранілові кислоти, 2-16% білки, 0-15% глюкозамін. Нейтральні цукри представлені рамнозою, галактозою, маннозою, глюкозою. В оболонці цієї групи водоростей є локалізовані у зовнішньому шарі ліпідні включення, які являють собою гідрокарбонати.

В білках хлорели містяться всі незамінні амінокислоти. В 100 г загального азоту хлорели, по даних Рахімова і Якубова (1971р.), міститься 6,4 г аспарагінової амінокислоти; 6,2 г гліцину; 7,7 г альніну; 7,8 - глютамінової амінокислоти; 3,3 - серину; 2,8 - триазину; 5,8 - проліну; 0,2 - цистину; 5,5 - валіну; 15,8 - аргініну; 3,3 - гістидину; 3,5 - ізолейцину; 6,1 - лейцину; 10,2 - лізину; 1,4 - метіоніну; 2,1 - триптофану.

По вмісту вітамінів хлорела переважає всі рослинні корми і культури сільськогосподарського виробництва.

В 1 г маси сухої речовини хлорели міститься каротину 1600 мкг, вітаміну А - 100, В1-18, В2-28, В6-9, В12-0,1, С - 1300; провітаміну D-1000, К - 6, РР - 180, Е - до 350, пантотенової кислоти - 17, фолієвої кислоти - до 485, біотину - 0,1, лейковорину - 22 мкг.

Крім того, хлорела містить велику кількість різних мікроелементів, всіх життєво необхідних.

У хлорелі, крім амінокислот, вітамінів, мікроелементів, містяться такі речовини, як антибіотики: антибіотик хлорелін, арахідонова кислота, що належить до умовно незамінних органічних кислот організму, зниження рівня яких подавляє репродуктивну функцію, викликає дерматити і хвороби, пов'язані з порушенням обміну речовин, арахідонова кислота є найбільш ефективною по впливу і дії на організм, знижує склеротичні явища, стимулює розвиток і нормалізацію репродуктивних органів, а також фактор або хлон А, речовину, яка індукує в організмі вироблення інтерферону і подавляє віруси грипу.

У хлорелі містяться регулятори росту і розвитку рослин - ауксини і гібереліноподібні речовини, застосування яких в рослинництві дає великий ефект.

Хлорела в процесі росту виділяє в середовище дуже корисні метаболіти, в клітинній масі - до 350, в середовищі - 310 (болгарський вчений Станічев).

Хлорела і інші МКВ (планктон) становили основу їжі ацтеків, що доживали до 250-300 років.

Актуальність проблеми МКВ.

Мікроводорості (МКВ) визнані вченими всього світу новим ефективним альтернативним поновлюваним джерелом енергії (енергоносієм). Ціни на нафту і газ невпинно зростають, тягнуть за собою ціни на інші енергоносії і всю промислову і сільськогосподарську продукцію. Запаси традиційних енергоносіїв на Землі безупинно і невблаганно скорочуються. Створюється енергетична криза. Неймовірні викиди в атмосферу забруднюють повітря. Промислові побутові і сільськогосподарські стічні води лишають людей питної води.

МКВ вирішують одразу всі ці проблеми. Вони очищують повітря від CO₂, що створює парниковий ефект глобального потепління, екранує ділянки сонячного спектру, які знищували патогенну мікрофлору і породжує нові тяжкі хвороби. МКВ очищує і знезаражує, знешкоджує всі стічні води і, нарешті, забезпечує людство поновлюваними енергоносіями у великих кількостях.

В Україні ці проблеми стоять ще більш гостро.

Були і раніше спроби і пропозиції щодо вирішення цих проблем.

Були наші пропозиції перевести 189 спиртових заводів України на вироблення технічного спирту-сирцю з відходів сільгосппродукції: підгнилих овочів і фруктів, відходів кукурудзи (качанів), макухи, буряків, целюлозних, бавовняних відходів. І перевести автотранспорт, як це використано в Чилі, на спиртове паливо.

За нашими розробками було створено біогенератори, в тому числі і дешевого напільного кагатного типу, для переробки гною і курячого посліду на високоякісні добрива, горючий газ метан і рафіновану сірку.

Побудований за нашою участю біогенератор на Київській птахофабриці і досі переробляє курячий послід, вирішує потрійну екологічну проблему: ліквідує джерела зарази, створює екологічно чисте біоактивне добриво замість хімічних добрив, що отруюють людей, і реалізує ці добрива.

Були пропозиції різних установ НДІ і ентузіастів по будівництву біогенераторів (див. схему), базальтових фільтрів для переробки, крім навозу і курячого посліду, фекальних вод комунальних господарств, стічних вод підприємств харчової промисловості, м'ясокомбінатів, масломаргаринових заводів, спиртових, сахарних заводів на високоякісні органічні добрива і суміш горючих газів (метан, бутан, пропан) для палива з метою покращення екології сфери проживання людини.

В останній час в Україні був взятий курс на вироблення біопалива з рослинної сировини, яку передбачається вирощувати спеціально з цією метою.

Серед біооб'єктів - рослин-носіїв жирних кислот і масел (олії), придатних для переробки на біодизельне паливо, пропонувалось використовувати сухопутні олійні культури: рапс, сою, кукурудзу, амарант, соняшник, роголисник, рдест, нитчатку і ін.

Проте, як вже було показано (табл. 1), в сучасний час абсолютну перевагу віддають виробництву рослинної олії з одноклітинних мікроводоростей (МКВ) типу спіруліна, хлорела морська, прісноводна, ціанобактерії і ін. Вироблена з МКВ

олія переробляється на біопаливо, розганяється на ректифікаційних колонах на бензин, керосин, біодизельне паливо, ракетне паливо для реактивних двигунів і лишається кубовий залишок тяжка фракція мазут.

Завдяки тому, що водні рослини не потребують міцного стебла і кореневої системи, і, головне, можуть вбирати в себе живильні речовини всією своєю поверхнею, володіють інтенсивним ефективним фотосинтезом. Використовуючи світло і світлові промені різних видів, структуровану морську воду і розчинений CO_2 основа нарощування біомаси, крім газоподібного CO_2 , водорості можуть і здатні набагато швидше нарощувати біомасу, ніж будь-які сухопутні рослини.

Наведемо аргументи провідних енергокомпаній світу на користь МКВ.

Компанія Valeent produrs використовує різновид одноклітинних МКВ, який є самою швидкозростаючою рослиною на планеті і відрізняється високим масовим вмістом олії - до 50%.

Для порівняння з сухопутними видами олієвмістних рослин наведемо такі дані цієї компанії.

"На одному акрі (4047 м^2) землі можна виростити кукурудзу, якої вистачить на виробництво 18 галонів пального у рік. Акр пальмової плантації за рік дасть пальмове масло для виробництва 700-800 галонів біопалива, а ферма на основі біореакторів для вирощування водоростей виробляє ліпідну сировину, з якої може бути отримано до 20000 галонів палива".

Тут ще одна перевага вирощування водоростей в біореакторах при штучному освітленні: відсутність літнього сезону, вирощування йде круглий календарний рік, освітлення триває по 22 години на добу і весь цей час іде інтенсивний фотосинтез, біомаса водоростей подвоюється щодоби. Ніякі наземні рослини не мають таких можливостей.

Крім того, можливості жирів можна змінювати, змінюючи склад культурального середовища в залежності від того, який вид палива планується виробляти.

Спеціалісти Боїнга вважають, що оптимальною сировиною для виробництва біопалива стануть морські водорості, з яких отримують в 150-300 разів більше масла, ніж із сої. За їх думкою, біопаливо з водоростей - це майбутнє авіації. Вже були пробні польоти літаків на біодизельному паливі.

Ще одне свідчення про переваги вирощування водоростей для виробництва біопалива.

Американські вчені Вірджинського Університету в пошуках найбільш вигідного джерела біопалива розробили стратегію, яка дозволяє одночасно вирішити дві глобальні екологічні проблеми: виробити альтернативне "чисте паливо" і очистити атмосферу від вуглекислого газу (збагатити киснем).

Основою для здійснення подібного проекту стане звичайне баговиння, так як морські водорості є одним із самих енергоємних видів рослин. З них можна "витиснути" значно більше палива, ніж із сої або рапсу. Так із акра сої (4047 м^2) виробляється 189 літрів палива на рік, з акра рапсу - 568 літрів на рік. В той час, як з акра морських водоро-

стей можна отримати 37000 літрів біопалива на рік.

Дуглас Р. Хенстон, генеральний директор американської компанії Solix, виробляючої біопаливо, підрахував, що, якщо замінити весь соляр, що використовується в США, на біопаливо з водоростей, то потрібно буде зайняти зеленою сировиною лише 0,5% сільськогосподарського земельного фонду штатів, щоб отримати взамін потрібну кількість біодизеля.

Крім того, від усіх інших видів рослинної сировини водорості відрізняються тим, що живляться вони не спеціальними дорогими добривами, а CO_2 . Причому водорості настільки "люблять" вуглекислоту, що збільшують свою вагу в 15 раз швидше саме на цьому раціоні при інтенсивному фотосинтезі. Якщо ж до того баговиння вирощувати на забрудненій, фекальній, стічній воді від харчових підприємств, масложирових комбінатів, м'ясокомбінатів, бурякоцукрових заводів, спиртових заводів, маргаринових підприємств, комунальних господарств і т. д., то досягається подвійний ефект - очистка води від забруднень, знешкодження бактерій, і маса водоростей кожен день буде зростати вдвічі.

Розробник, автор, має власний досвід вирощування хлорели для очищення самої гнилісної і зараженої транспортерно-мийної води на цукровому заводі за радянських часів. Результат - повне знезараження, знешкодження, очищення, знищення всієї бактеріальної мікрофлори, повне подавлення гноїння, повна очистка води.

Висновки.

1. Обсяг росту біомаси водоростей перевищує обсяг росту наземних сухопутних маслосімейних культур в 15-80 разів.

2. Для вирощування водоростей не потрібно дорогих добрив.

3. Ріст водоростей супроводжується інтенсивним поглинанням CO_2 із атмосфери, викидів із котелень ТЕЦ, металургійних заводів, транспорту, що сприяє оздоровленню екології планети. Одночасно водорості інтенсивно поповнюють атмосферу киснем.

4. Вирощування водоростей прекрасно суміщається з очисткою забруднених стічних вод підприємств харчової промисловості, комунального господарства, металургійної промисловості, нафтопереробних заводів і інш.

5. За допомогою водоростей можна проводити знезараження стічних вод.

6. Біопаливо, що виробляється з водоростей, можна диференціювати по призначенню, змінюючи культуральне середовище.

7. Найбільш інтенсивний ріст водоростей можна здійснити в спеціальних біофотореакторах, в яких можна використати всі найновіші досягнення науки для створення оптимальних умов росту водоростей.

Спираючись на цей останній висновок, проведемо порівняння найбільш ефективних проектів, технологій, апаратури і установок, розроблених в США і пропонує в Україні.

Український проект передбачає застосування спеціальних науково доведених і обґрунтованих

методів стимулювання темпів росту водоростей, використання трьох джерел поставки CO_2 водоростям: сорбція газового CO_2 водою, сорбція з утворення гідрокарбонатів і клітковинні бактерії, насичені CO_2 димові гази поглинаються всі, включаючи NO , NO_2 , SO_2 , які з водою утворюють азотну і сірчану кислоти, що знищують водорості, запобігання цьому - застосування дефексатурації з утворенням гідрокарбонатів, які, вступаючи в обмінну реакцію з сірчаною і азотною кислотою, дають CaSO_4 і CaNO_4 , який використовується як азотне і сірчане живлення водоростей. В той час як в американському проєкті димові гази розділяються на мембранах і оксиди азоту і сірки викидаються в атмосферу. Нарешті в проєкті України водорості не знищують подрібненням і пресуванням, добуваючи з них жирні кислоти, а лишають цілими і непошкодженими, повертаючи їх в цикл нарощування біомаси, а жирні кислоти з них відбирають, вилучають за допомогою вибіркової кристалогідратної екстракції.

Огляд конструкцій фотобіореакторних установок для фотобіосинтезного вирощування мікробіодоростей.

Як впливає з загальної характеристики проблеми вирощування мікробіодоростей, мікробіодорості вченими всього світу визнані нетрадиційним поновлюваним джерелом енергії (енергоносії) і, добавимо від себе, невичерпним джерелом людського здоров'я. Споживання мікробіодоростей позбавляє від усіх хвороб, включаючи онкологічні.

Відомі фотосинтезуючі біореакторні установки для вирощування водоростей з використанням біофотосинтезу під дією сонячного або штучного освітлення, газоподібного CO_2 та мінерального живлення [1, 2, 3, 4, 5, 6-17, 18, 19, 20, 21].

У патенті РФ 2292389 [1] описано установку для культивування термофільних ціанобактерій або мікробіодоростей, яка складається з робочої камери з мішалкою, трубопроводів подачі теплої води і живильного субстрату, компресора для безперервного збагачення субстрату повітрям і CO_2 в 0,030% мас., що міститься в повітрі (при потребі мікробіодоростей 0,017% мас. CO_2), системи додаткової подачі повітря вентилятором, люмінесцентних ламп низького тиску, свіжі порції теплої води розподіляються по об'єму субстрату за допомогою мішалки і шляхом барботажу.

Недоліками цієї установки є відсутність засобів стимулювання темпу росту водоростей (ціанобактерій), невикористання CO_2 , димових газів (3-11%) і побутових, сільськогосподарських і промислових стоків і їх знешкодження, що знижує ефективність дії установки і її екологічну спрямованість.

В [2] описано декілька типів біореакторів, які поділяються на три групи за ознакою природи реакції виділення водню: 1) фотобіореактори з використанням ціанобактерій і зелених водоростей для фотореакції виділення водню; 2) фотореактори, які використовують темпові (без освітлення) процеси бродіння; 3) фотореактори, які використовують конверсію оксиду вуглецю CO за реакцією $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$, яка без участі біосубстрату водоростей в техніці потребує високих тиску і температури, описано плоскі і трубчасті біофотореакто-

ри. Трубчастий фотобіореактор складається із прозорої поліхлорвінілової трубки довжиною 42 м і діаметром 7,9 мм, закрученої спірально навколо прозорого пластикового циліндра, освітлюваного флуоресцентними лампами, по трубці під тиском пробульнується вуглекислий газ (до 5%) в суміші з повітрям.

В праці [3] викладено обґрунтування використання димових газів в штучних замкнених біологічних системах - біофотореакторах.

Показано, що низький вміст вуглекислого газу обмежує інтенсивність фотосинтезу і ріст біомаси в значно більшій мірі, ніж дефіцит елементів мінерального живлення, так як мікробіодорості синтезують із води і вуглекислого газу 94% маси сухої речовини і лише 6% приросту біомаси отримується з розчинених у воді речовин, тобто на 1 кг сухої біомаси поглинається 1,83 кг CO_2 . В цій роботі міститься серйозне застереження при використанні димових газів з вмістом від 3 до 11% CO_2 і вмістом діоксидів азоту і сірки NO_2 і SO_2 , які з водою утворюють азотну і сірчану кислоти, знищуючі водорості.

Тому пропонується установка, в якій здійснюються такі процеси:

- спалювання палива, охолодження димових газів;
- очистка димових газів від твердих нерозчинних домішок;
- в блоці підготовки живильної суміші здійснюється нейтралізація кислотних складових димових газів і приготування розчину солей для живильного середовища, необхідного для життєдіяльності водоростей;
- виділення вуглекислоти;
- осушення і очистка вуглекислоти;
- зріднення вуглекислоти, перетворення в рідкий стан і накопичення в резервуарі.

В роботі [13] при прямій подачі осушеного димового газу, який пройшов суху і мокру очистку, фіксувалося попадання в воду фотобіореактора наступних продуктів спалювання:

- оксиду вуглецю CO ;
- оксидів азоту NO , NO_2 , N_2O ;
- діоксиду сірки SO_2 .

При цьому концентрація цих токсичних речовин значною мірою залежить від складу спалюваного палива.

В [4] описано установку у вигляді склеєного плоского акваріума (фотореактора) розміром $1 \times 1 \times 0,04$ м, об'ємом 40 л, в якому розміщалися скляні перегородки для збільшення шляху проходження води. Через фотореактор проганялося живильне середовище у вигляді води з басейна, де культивувалися і вирощувалися осетри. Ця вода насамперед пропускалась через піщаний фільтр. Фотобіореактор плоскої форми освітлювався 8 установленими в упор до скла люмінесцентними лампами потужністю по 36 Вт з обох сторін. Після фотобіореактора вода самотією надходила в молочний сепаратор проточного типу, який було налаштовано на розділення чистої води і суспензії мікробіодоростей. Продуктивність реактора складала 40 л живої суспензії хлорели на добу.

В [4] вказується на те, що спіруліна і хлорела - мікроводорості, які використовуються як добавки до харчових продуктів, а також для вилучення цінних речовин і лікувальних препаратів. Ці мікроводорості багаті на високоякісні живильні речовини, особливо на білки 65-72%, β -каротин, містять в собі важливі рослинні пігменти, включаючи хлорофіл і фікоціаніни, вітаміни групи B, PP, K, залізо, магній, селен, рідкісноземельні мінерали, ферменти, нуклеотиди, лінолієву і ліноленову кислоти, а також з одним із основних джерел вітаміну B12, мають свої антибіотики, які знешкоджують патогенну мікрофлору, з МКВ (мікроводоростей) добувають засоби лікування онкологічних захворювань.

В [5] розглянуто конструктивну схему, застосоване обладнання та технологічний процес отримання масла МКВ (мікроводоростей). Основними елементами біоустановки є трубчатий фотобіореактор з МКВ і живильним середовищем, люмінесцентні лампи, газопромивна колонка, дозатори, гідро циклони або центрифуги, генератор CO_2 - дизельгенератор, лінія фільтрації, рециркуляційні резервуари, блок керування, датчики, насоси, шланги, запірні арматури, комплекс обладнання по зневодненню і висушуванню біомаси, дегазатор, обладнання для приготування живильних розчинів, біомаслопреси, фільтри, резервуари, транспортери. Отриманий готовий продукт: масло МКВ - біодизельне паливо та макуха - високобілковий корм для тваринництва. Відмічаються [5] основні переваги біоустановок-фотобіореакторів для культивування МКВ:

- економія простору, реактор може встановлюватись вертикально, горизонтально, похило, як в приміщенні, так і за його межами;
- максимальна ефективність у використанні освітлення і як наслідок більш висока продуктивність освітлювати можна 22 години на добу з інтенсивністю 50-100 Вт/м²;
- можливість створення конфігурації будь-якого розміру;
- значне зниження потреби в робочій силі, уникнення проблем з завантаженням/розвантаженням;
- застосування закритих, керованих, автоматизованих систем безперервної дії значно полегшують підтримку гігієни виробництва МКВ (порівняно з відкритими водоймами);
- простота контролю екологічних параметрів;
- жорсткий контроль технологічних параметрів: рН=9,0-9,5 до 11,0, $t=28-32^\circ\text{C}$, повітря - потреба 70 г/л за годину, потреба CO_2 -1,85 кг/1 кг біомаси, барботаж, рециркуляція;
- система самоочищення реактора суттєво зменшує його забруднення;
- низьке споживання енергії забезпечується за рахунок використання дизель-генератора CO_2 .

По даних прайс-листів і реклам фірм-виробників для установки по отриманню МКВ продуктивністю 1т сухої біомаси в день потрібно 42 м² площі, енергоспоживання насосів, які приймають участь в технологічному процесі - 12 кВт, 36 метрів прозорих синтетичних труб діаметром 300 мм, вуглекислого газу CO_2 -10 кг/день, кількість води 20-30т в день температурою 22-35°C, час перебу-

вання в фотобіореакторі 3,5 години, склад мікроелементів - середовище Чу - 10 г/л для синезелених, зелених і діатомних водоростей.

По даних, наведених в наукових публікаціях [6-17], мікроелементи необхідні водоростям в дуже малих кількостях (дозах), проте вони мають величезне значення в їх життєдіяльності - стимулюють темп росту популяцій. До них відносяться 10 обов'язкових елементів: залізо, марганець, цинк, мідь, бор, кремній, молибден, хлор, ванадій і кобальт. Оптимальний склад середовища культивування, г/л: нітрат натрію 2,5; двозаміщений фосфат калію 0,6; магній сірчаноокислий 0,5; натрій двовуглекислий кислий-бікарбонат 9,0; кальцій хлористий 0,04; хлористий натрій 2,0; залізо сірчаноокисле закисне 0,01; натрієва сіль ЕДТА 0,03; борна кислота 0,003; марганець хлористий 0,0018; цинк сірчаноокислий 0,0002; молибденовокислий амоній 0,00003; хлористий кобальт 0,00005.

Рівне по ефективності середовище може бути приготовано не на основі чистих солей, а на основі мінеральних сільськогосподарських добрив. Селітри використовуються для азотного живлення, суперфосфат - для фосфатного. Склад живильного субстрату на основі добрив може бути таким, г/л: натрієва селітра 1,5-2,5; калімагnezія 0,3-0,5; нітроамофоска 0,4-0,6; натрій двовуглекислий кислий-бікарбонат 8,0-10,0; натрій хлористий 1,0-2,0; залізо сірчаноокисле закисне 0,01; натрієва сіль ЕДТЛ 0,03; борна кислота 0,0029; магній хлористий 0,0018; цинк сірчаноокислий 0,0002; молибденово кислий амоній 0,00003; хлористий кобальт 0,00005; як середовище для культивування хлорели можна використовувати розчин Кнопа (г/л розчину): $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -0,25; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -0,06; K_2HPO_4 -0,06; KCl -0,08; Fe_2Cl_6 -1 крапля 1%-розчину, можна замінити розчином хелатного заліза, 50 мл маточного розчину.

Склад середовища Прата (г/л): KNO_3 -0,10; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,01; K_2HPO_4 -0,01; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - 0,001; агар-агар - 12 г/л - середовище стерилізувати.

В [6] описано установку для вирощування ціанобактерій при високих температурах (до 45°C), яка дозволяє виключити процеси стерилізації субстрату.

В [5] описано біофотореакторну установку для виробництва біодизельного палива із масла мікроводоростей української фірми "Біодизель-Дніпро". Установка має фотобіореактор з люмінесцентними лампами освітлення, до фотобіореактора через накопичувальний бак підключено систему приготування живильного розчину і газогенератор CO_2 . Газогенератор виробляє CO_2 , який проходить промивку через кавітатор і фільтр і надходить в накопичувальний бак, з якого подається через регенеративний теплообмінник на фотобіореактор. В регенеративному конвективному теплообміннику газ охолоджується живильним розчином, який надходить туди з системи приготування живильного розчину. Ця система має свій накопичувальний бак з серією дозаторів для мікроелементів і живильних речовин. Фотобіореактор оснащено лінією рециркуляції суспензії і рециркуляційним насосом. Ця лінія може використовуватись для виділення па

серії циклонів або центрифуг біомаси водоростей із суспензії. При рециркуляції на циклонах виділяється лишок газів, які барботуються в фотобіореактор. Виділена біомаса поступає на прес для отримання з неї масла і макухи. Макуха транспортером видаляється, а масло через два збірники і фільтр насосом закачується в накопичувальний бак.

В сучасний час фірми [5] випускають біофото-реактори великих розмірів і потужностей.

Реактори являють собою закриті керовані автоматизовані системи безперервної дії, що дозволяє підтримувати гігієну культури довгий час без дезінфекції. Розмір реакторів необмежений. В їх системі не може відбуватись отруєння водоростей киснем. Система автоматично вивільняє весь кисень. Для цього використовується лінія рециркуляції з циклонами або центрифугами і барботаж газу або повітря в суміші з газом. Такі реактори стимулюють швидкий ріст водоростей, хоча не використовують спеціальних методів стимуляції темпу росту.

Автоматизований фотобіореактор продуктивністю 1 т сухої біомаси в день має 25 трубок діаметром 900 мм та висотою 12 м, газопромивну колону, насоси, центрифугу, селекційовані водорості. Установка поміщається в базовому блоці 10×10 метрів, споживана в процесі електроенергія 0,5-1 кВт/час на 1 трубку. Установка також має дизельний або біодизельний генератор для виробництва електроенергії і вуглекислого газу CO₂. Вартість установки 580000 євро. Така установка продуктивністю 25 тонн сухої біомаси в день має 625 трубок діаметром 900 мм і висотою 12 м і коштує 5 млн. євро. Установка продуктивністю 50 тонн сухої біомаси в день має 1250 трубок діаметром 900 мм і висотою 12 м і коштує 7 млн. євро. Установка продуктивністю 100 тонн сухої біомаси в день має 2500 трубок діаметром 900 мм і висотою 12 м і коштує 12 млн. євро.

Як видно, між потужністю установки і розміром трубок є прямо пропорційна залежність, що вказує на недоліки моделювання і відсутність прямих ефективних методів стимулювання темпів росту водоростей.

В [18] описана лінія переробки органіки - мікрободоростей і зоопланктону - для отримання різних моторних палив - замінича дизельного палива, бензину, авіаційного керосину, мазуту тощо. Робота цієї лінії полягає в корисному і ефективному використанні отриманого в значних кількостях на піроретортних лініях дистиляту при утилізації вуглекислого газу CO₂ шляхом його вимушеного розчинення промивкою дистилятом з наступним його накопиченням в установках для вирощування мікрободоростей, для яких вуглекислий газ є живильним середовищем - каталізатором росту і розмноження.

В установці з розчиненням вуглекислим газом можна культивувати відомі мікроскопічні водорості - хлорелу або спіруліну, які містять в своїй біомасі 30-40% цукрів, що використовуються на отримання рідкого етанолу, який є біологічно екологічно чистим моторним паливом. Крім цукрів у хлорелі присутні до 40% ліпідів, які також можуть бути ви-

користані після їх кавітаційної обробки як замінича дизельного палива.

В лінії після метантенка газ надходить вимущеною аспірацією в газопромивник. Форсунки газопромивника оснащені ежекторами для всмоктування рідини - дистиляту, в якому за рахунок зниження тиску ефективно розчиняється вуглекислий газ CO₂. Очищений же від CO₂ біогаз надходить на лінію конверсії біогазу в вуглеводні високого порядку C_nH_m.

Рідина з розчиненням в ній вуглекислим газом поступає в установку для вирощування водоростей, які безперервно фільтруються із установки і подаються на лінії осушення і далі на енерговиробляючі пірореторти - пірореторти когенераційних ліній.

Мікрободорості синтезують із води і розчиненого в ній вуглекислого газу 9 4% маси сухої речовини, решту 6% отримують із розчинених у воді речовин. Для утворення 1 кг сухої біомаси водоростей поглинається 1,83 кг вуглекислого газу.

В процесі переробки мікрободоростей і зоопланктону в газ і синтетичну нафту використовуються всі речовини мікрободоростей, тобто природний процес утворення вуглеводнів значно інтенсифікується. Тому раціонально використати, крім хлорели і спіруліни, другу мікрободорість - ботріококкус, у якій вміст вуглеводнів досягає 80% від сухої ваги. Склад вуглеводнів, які генеруються цими мікрободоростями, дозволяє після безпосереднього гідрокрекінгу, біокаталітичної конверсії отримати на виході до 60% бензину, 15% авіаційного керосину і 8% мазуту.

Енергетичний потенціал мікрободоростей в 50-100 раз перевищує потенціал масляничних культур (рапс, соняшник, соя).

Для порівняння з українським (авторським) варіантом фотобіореакторної установки вибрано як прототип найбільш досконали американську фотобіореакторну установку 5-го покоління, яка виготовляється фірмою Carbon Sciences (США, штат Санта-Барбара) [17].

Ця установка представлена як втілення найбільш досконалої безвідходної технології.

Для оцінки переваг і недоліків американської і української установок проведено детальний аналіз їх роботи, конструкції, ефективності і результативності по їх описам [17].

Компанія Carbon Sciences (США, штат Санта-Барбара) [17] розробила і активно удосконалює нову технологію і обладнання для отримання бензину, дизельного палива, авіаційного керосину, метану, пропану і бутану, основу на перетворенні викидів CO₂ в біокаталітичному процесі конверсії з участю біомаси водоростей.

Ця установка п'ятого покоління є найбільш досконалою, завершеною, із замкненим безвідходним енергетичним циклом і тому вибирається в якості прототипу заявлюваної установки і буде далі детально проаналізована, порівняна з заявлюваною, вказано її недоліки і переваги відносно заявлюваної.

Спільними недоліками всіх розглянутих конструктивних і технологічних схем фотобіореактор-

них установок для вирощування мікробіодоростей є наступні.

Відсутність застосування спеціальних методів стимулювання темпів росту водоростей. Звичайно у всіх цих установках обсяг біомаси водоростей подвоюється, збільшується вдвічі протягом однієї доби. Якщо застосувати фізичні, механічні, біологічні, гідродинамічні і електромагнітні методи стимуляції темпу зростання біомаси водоростей, то такого подвоєння їх біомаси можна досягти протягом 5-6 годин. А це означає, що за добу біомаса водоростей може збільшитись у 10-12 разів. Наприклад, за 5 годин маємо 10 кг біомаси, за наступні 5 годин - $2 \times 10 = 20$ кг, ще через 5 годин $2 \times 20 = 40$ кг і ще через 5 годин - після 20 годин - $2 \times 40 = 80$ кг, і в кінці доби 100-120 кг із 10 кг початкових.

Наступним недоліком є знищення водоростей подрібненням і пресуванням при вижиманні з них жирних кислот. Тобто здійснюється принцип "для того, щоб зірвати яблуко, треба зрубати яблуню - знищити дерево". Цьому можна запобігти, застосувавши відбіркову кристалогідрату екстракцію, яка вилучає розчинником, адсорбентом кристалогідратом жирні кислоти і тільки жирні кислоти, при цьому мікробіодорості лишаються неушкодженими і повертаються в цикл вирощування.

Наступний недолік - виділення газового CO_2 із димових газів за допомогою мембран, при цьому двооксиди азоту NO_2 і сірки SO_2 викидаються знову в атмосферу. В цьому не тільки екологічний недолік, а і фізичне розділення, наприклад, газової суміші NO_2 і CO_2 мембранами надзвичайно ускладнено. Молекулярна вага CO_2 дорівнює $12 + 2 \times 16 = 44$ ат. од., а NO_2 $17 + 2 \times 16 = 49$ ат. од., різниця молекулярної ваги всього 5 ат. од.

Цього також можна уникнути, застосувавши дефект-сатураційну апаратуру цукрового виробництва. Слід підкреслити, що необхідність нейтралізації двооксидів сірки і азоту продиктована тим, що в розчині з водою вони утворюють сірчану і азотну кислоти, які знищують мікробіодорості.

Недоліком є також те, що в розглянутих установках, призначених здійснювати фотобіосинтезуючі процеси, створюючи білки, жири, ліпіди і вуглеводні, використовуючи для цього на 94% лише воду і вуглекислий газ, основним і майже єдиним джерелом вуглекислого газу є газовий CO_2 , сорбований методами фізичної сорбції водою. В цих установках не використовується, як правило, хімічна сорбція газового CO_2 з утворенням бікарбонатних сполук ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), які засвоюються водоростями разом з CO_2 . Не використано і ще одне джерело CO_2 - клітковинні бактерії, які споживають газовий CO_2 , а мікробіодорості споживають ці бактерії. Для їх розведення, сорбції ними газового CO_2 потрібно окремих малих реакторів з підведенням газового CO_2 і відведенням суспензії добового настою соломи (100 мл/л) разом з культурою клітковинних бактерій.

Окремі типи фотобіореакторних установок мають ще і свої власні недоліки, обумовлені специфікою їх конструкції і діючих в них процесів.

Усі вказані недоліки суттєво знижують ефективність розглянутих фотобіореакторних установок.

Задачею корисної моделі є значне підвищення ефективності діючих фотобіореакторних установок.

Поставлена задача вирішують наступним чином.

Для виділення жирних кислот із біомаси застосовують адсорбційну кристалогідратну колона, а для нейтралізації знищуючих водорості азотної і сірчаної кислот застосовують вапнянорозчинне дефекосатураційне обладнання бурякоцукрових заводів, вапнянорозчинне дефекосатураційне обладнання бурякоцукрового виробництва компонують з фотобіореактором шляхом поєднання його в лінії, які всі з'єднують з баком живильного розчину фотобіореактора:

- лінія підготовки води включає в себе установку для структурування води за допомогою спінової поляризації, установку кавітаційного знешкодження від шкідливих мікроорганізмів, дозатори домішки морської води, дозатори мікроелементних домішок і кавітаційні змішувачі;

- лінія дефекосатурації включає в себе установку гашення вапна водою, кавітаційний активатор вапнякового розчину, апарат дефекації, до якого підключають живильний розчин з лінії водопідготовки, сатуратора, до якого підключають очищений вуглекислий газ, всі лінії мають власні насосні агрегати і їх включають до баку живильного розчину, бак живильного розчину оснащують дозаторами мікроелементного складу, вилученого з лінії підготовки дріжджів, до якої входить апарат експрес-методу приготування дріжджів, кавітаційний подрібнювач-змішувач, бак живильного розчину насосом для скачування сполучають з входом до фотобіореактора, в якому чергуються підйомні і опускні труби, підйомні труби з'єднують в нижній частині з повітряними трубопроводами, по яких нагнітають компресором суміш повітря і CO_2 (до 3%), з фотобіореактора біомасу разом з розчином періодично скачують і подають на центрифугу безперервної дії, рідину видаляють а біомасу подають на установку CO_2 -екстракту і у міру потреби направляють до установки вибіркової кристалогідратної екстракції, де розділяють на різні компоненти, жирні кислоти для біодизельного палива подають на ректифікаційну колону і розганяють по фракціях

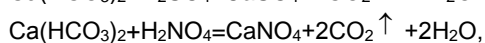
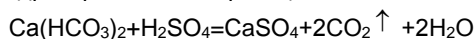
У фотобіореакторній установці використовують наступні пристрої стимулювання темпу росту мікробіодоростей:

- спіновий поляризатор і торсійний генератор;
- інформаційно-хвильовий прилад на рідких кристалах гафнію типу SEM-TECH з датчиками запису інформаційно-хвильових характеристик мікробіодоростей на виході, передачі їх на вхід реактора і перезапису на воду лінії водопідготовки, прилад SEM-TECH модернізовано, оснащено додатковими інтегральними схемами, які переводять його роботу в автоматичний режим "включення-запис-передача інформації-перезапис";

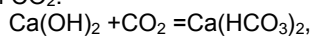
- підключення спінового поляризатора у вигляді гостроконусних електромагнітів з право- і лівогвинтовим напрямом обмоток до електромережі електроживлення люмінесцентних і флуоресцентних ламп;

- установка високовольтного (30-60кВ) електроізолизованого електрода-кавітатора на лінії водопідготовки;
- установка кавітатора-калібратора на лінії водопідготовки;
- установка рециркуляційних трубопроводів з мембранним насосом, який з'єднує вихід з фотобіореактора з входом в реактор;
- установка гідропульсатора поршневого або плунжерного типу, підключеного до рециркуляційного трубопроводу;
- установка пористих пластмасових барботерів в кожній підйомній секції трубчатого фотобіореактора, з'єднаних з мембранним акваріумним компресором і через нього з лінією очистки газового CO₂;
- установка в нижній частині кожної трубчатой секції соленоїдних котушок, забезпечуючих густину електричного струму 10 кА/м₂ і магнітну індукцію 1Т;
- подача вуглекислого газу і добового настою соломки 100 мл/л в малий реактор для вирощування клітковинних бактерій і відведення суспензії з клітковинними бактеріями в блок приготування живильного субстрату;
- підведення вуглекислого газу до сатуратора разом з водним розчином вапна;
- установка багатоступеневого кавітатора активації вапнякового розчину.

У фотобіореакторній установці використовують всі компоненти димових газів, включаючи окисли азоту N₂O, NO, NO₂ та двооксид сірки SO₂, без їх видалення на мембранах в стадії газової фази, а шкідливі для мікробіодоростей азотні і сірчані кислоти нейтралізують на дефекосатурації кальцій-гідрокарбонатом за реакцією



сполуки кальцію з сіркою і азотом направляють в блок підготовки живильного розчину як азотне і сірчане живлення, кальцій-гідрокарбонат отримують на дефекосатурації за реакцією сполучення гашеного вапна Ca(OH)₂ з вуглекислим газом CO₂:



надлишок кальцій-гідрокарбонату направляють в блок підготовки живильного субстрату як CO₂-живлення, разом з надлишком газового CO₂, утвореного на сатурації і внесеного димовими газами.

Для фізичної абсорбції газового CO₂ на лінії підготовки живильного субстрату використовують кавітаційно-пухирцеві, кавітаційно-суперкавернові абсорбери з аерозольним розпилом на межі каверни з рідиною, та барботажні абсорбери, всі три абсорбери можуть бути виконані у вигляді єдиного блока.

Для стимулювання темпу росту мікробіодоростей в лінії підготовки живильного середовища використовують установку експрес-методу вирощування кормових дріжджів, які мають однаковий з мікробіодоростями склад мікроелементів, установка експрес-методу вирощування дріжджів відрізняють від барботажних дріжджоростильних колон

наявністю ежекторів, які розпилюють живильне середовище в навколишньому повітрі з ефективністю, яка значно перевищує ефективність барботажу.

CO₂-живлення мікробіодоростей здійснено в установці обладнанням, яке використовує 6 способів CO₂-живлення, а саме:

- біосорбція газового CO₂ з димових газів і з повітря, що нагнітається, в основному фотобіореакторі водоростями і в допоміжному реакторі клітковинними бактеріями, для чого використовують мембранні або відцентрові компресори і барботери із титанової металоцераміки, фізична сорбція газового CO₂ в кавітаційних абсорберах на лінії підготовки живильного субстрату;
- хімічна сорбція CO₂ на дефекосатурації з утворенням Ca(HCO₃)₂ гідрокарбонатів;
- використання надлишку Ca(HCO₃)₂ для CO₂-живлення на лінії підготовки живильного субстрату;
- використання клітковинних бактерій для CO₂-живлення на лінії підготовки живильного субстрату.

Основний фотобіореактор виконано для роботи в форсованому експоненціальному режимі за формулою

$$\frac{dN}{dt} = kN$$

де N - поточна концентрація мікробіодоростей;

$$\frac{dN}{dt}$$

- швидкість росту; k - константа швидкості росту,

інтегрування цього рівняння від початкової концентрації мікробіодоростей до поточної дає

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = k \int_0^t dt; \quad \ln \frac{N}{N_0} = kt; \quad N = N_0 e^{kt}$$

можливість встановити константу швидкості росту, для забезпечення цього режиму конструкцію фотобіореактора виконують секційною (не змішувальною), причому в кожну секцію входить дві труби, об'єднані загальним повітряно-газовим колектором з запобіжним клапаном в верхній точці для скиду надлишкового повітря, одна із труб секції підйомна, в неї вдувають з надлишком повітря з добавкою 3% вуглекислого газу CO₂, друга труба секції - опускна, в неї повітря не подається, опускную трубу цієї секції в нижній частині з'єднують з підйомною трубою наступної секції, барботер повітря і газу розміщують в підйомній трубі вище місця приєднання опускної труби попередньої секції, всі секції компонує в три ряди і фіксують притисковими планками, для забезпечення плавності повороту опускної труби в місці приєднання до підйомної труби їх з'єднують з переходом одного ряду в другий, між трубами на притискових планках розміщують люмінесцентні, флуоресцентні, денні, нанометровхвильові лампи освітлення (з довжиною хвилі λ = 230-260 нм) з таким розрахунком, щоб було забезпечено потужність освітлення 100 Вт/м² площі світлоприйому з обох боків, вихід з останньої опускної труби фотобіореактора з'єднують із входом першої його підйомної труби рециркуля-

ційним трубопроводом, до якого приєднують гідравлічний плунжерний або поршневий пульсатор, кожна пара підйомних і опускних труб створює циркуляційний напір, а рециркуляцію розраховують з врахуванням напору першої підйомної і останньої опускної труби, всі параметри процесу в цьому режимі фіксують на максимальних величинах, а саме: концентрація мікробіодоростей 5 г/літр; лужність $pH=9,5-11,0$; температура до $t=40^{\circ}C$; кількість CO_2 1,8 кг/1кг сухої біомаси; освітлення 100 Вт/м² площі світлоприйому; забезпечення цих показників здійснюють системою автоматизації, до якої входять: автоматичний рН-метр з блоком регулювання лужності на лінії приготування живильного субстрату і лінії дефекосатурації зміною кількості подачі гашеного вапна $Ca(OH)_2$; автоматичний терморегулятор зі зміною інтенсивності освітлення і температури живильного субстрату на лінії живлення; кількість CO_2 регулюють подачею газового CO_2 до повітряного потоку, барботованого в підйомні труби реактора.

Характеристика прототипу і порівняння американської і української установок для вирощування МКВ.

Американська компанія Carbon Seiences (штат Санта-Барбара, США) [18, 17] пропонує унікальну технологію виробництва біопалива з водоростей 5-го покоління. Нова технологія дозволяє шляхом біокаталітичного крекінгу отримувати синтетичні нафтопродукти дуже високої якості із біомаси водоростей.

Суть технології полягає в отриманні максимальної енергії із органічних продуктів, при синтезі яких в живій клітині була затрачена на порядок менша енергія.

На відміну від інших схем отримання біопалива дана технологія дозволяє перетворювати всю біомасу в високоякісне паливо.

В результаті швидкого біокаталітичного крекінгу біомаси водоростей без доступу кисню утворюються тверді, рідкі і газоподібні горючі продукти.

Паливо, яке отримано в результаті перегонки біомаси, можна використовувати в будь-яких двигунах внутрішнього згорання.

Вихід палива при біокаталітичному крекінгу показано в табл. 2.

Таблиця 2

Рідка фаза, % мас.	Газоподібна фаза, % мас.	Кокс, % мас.
70-75	20-27	3-5

Вуглеводні рідкої фази являють собою набір вуглеводнів, які містяться в бензиновій, керосиновій, дизельній фракціях нафти (табл. 3).

Таблиця 3

Бензинова фракція, % мас. від рідкої фази	Керосинова фракція, % мас. від рідкої фази	Дизельна фракція, % мас. від рідкої фази
7-10	10-15	75-83

По своїх властивостях вуглеводні рідкої фази повністю відповідають вуглеводням аналогічних фракцій нафти і навіть переважають їх по ряду параметрів - більш високі октанові і цетанові числа, більш низькі температури застигання.

Компанія дає короткий опис технологічної схеми установки біокаталітичного крекінгу (БКК) біомаси водоростей, які вирощувалися в ємкісних біофотореакторах. Після автоматичної вигризки біомаса проходить лінію сепарації (гідро циклоп спеціальної конструкції) і поступає на виробництво біопалива.

Вихідна сировина (біомаса) подається в змішувач, де змішується зі свіжим газом-носієм і далі подається циркуляційним компресором в реактор. Схема передбачає наявність циркуляції (рециркуляції- автор) по тракту змішувач-реактор-змішувач. Частина біомаси, що прореагувала (синтетичне

паливо), виводиться з реактора в розподілювальну колону, де за рахунок залишкового тепловмісту (ентальпії) синтетичне паливо розділяється на фракції. Всі вуглецеві гази допалюються на газогенераторі.

При здійсненні процесу виробляється достатня кількість електроенергії па освітлення, компресію і CO_2 , які необхідні водоростям для росту. Таким чином, установка в промисловому режимі являє собою замкнений цикл.

Ця технологія являє собою повністю безвідходне виробництво палива із поновлюваного джерела (водоростевої маси).

Виробництво синтетичного палива в замкненому циклі є однією з перспективних, якщо не найкращих на цей час, технологій альтернативної енергетики. На цей час компанія випускає такі установки:

Продуктивність, т/добу	Ціна, Євро (без НДС)
Установка для отримання біомаси БіоМ-500, установка біокаталітичного крекінгу БКК 50 3-5	220000
БіоМ-500 БКК-500 10-12	388000
БіоМ-1 БКК-1 20-24	820000
БіоМ-1 БКК-150.1	630000
БіоМ-1 БКК-1100.3	200000

Далі ми даємо більш повний і докладний опис роботи блоків технологічної системи БКК з детальним розкриттям всіх процесів і функціонального призначення обладнання в блоках.

Наш опис установки.

Установка біокаталітичного крекінгу дозволяє з біомаси водоростей в суміші з мазутом, а також з домішкою для звичайного крекінгу водню і оксиду вуглецю ($H+CO$), виробляти дизельне паливо, бензин, керосин і горючі гази (C_nH_m). Саме цим замикається технологічний цикл, і на цій основі створюється безвідходна технологія. Крім того БКК виробляє вуглекислий газ для живлення водоростей і електроенергію на включеній в її цикл енергетичній установці.

Додаткова лінія переробки органіки на метантенках і біореакторах з утилізацією вуглекислого газу.

Вуглекислий газ, що виробляється в значних кількостях при термічній або біологічній переробці мулових осадів і господарських побутових стоків, є інертним баластом, який безкорисно видаляється при отриманні кінцевих продуктів виробництва. Саме його можна також ефективно використати в додатковій лінії переробки органіки (мікробіодоростей і зоопланктону) для отримання різних моторних палив - заміника дизельного палива, бензину, авіаційного керосину і мазуту.

Робота частини технології полягає в корисному і ефективному використанні отриманого в значних кількостях на пірретортних лініях дистиляту при утилізації вуглекислого газу шляхом його вимушеного розчинення промивкою дистилятом з наступним його накопиченням в живильнику для вирощування мікробіодоростей і зоопланктону, для яких вуглекислий газ є живильним середовищем - каталізатором росту і розмноження.

Так, наприклад, в живильнику з розчином вуглекислим газом можна культивувати відомі мікробіодорості - хлорелу або спіруліну, які містять у своїй біомасі 30-40% цукрів для виробництва рідкого етанолу - що є прекрасним біологічно чистим моторним паливом. Крім цукрів у хлорелі присутні до 40% ліпідів, які також можуть бути використані після кавітаційної обробки як заміник дизельного палива.

Після метантенку газ поступає вимушеною аспірацією в газопромивник. Форсунки газопромивника оздоблені ежекторами для засмокування рідини (дистиляту), в якій за рахунок пониженого тиску ефективно розчиняється вуглекислий газ CO_2 .

Очищений же від CO_2 біогаз (CH_4 , CO , H) надходить на лінію конверсії біогазу у вуглеводороди високого порядку (C_nH_m).

В нашому технічному проекті замкнений цикл вирощування водоростей і безвідходна технологія досягається простіше і ефективніше.

Цикл замикається на самих водоростях. Водорості не знищуються, не піддаються біокаталітичному в суміші з мазутом крекінгу, а зберігаються цілими і неушкодженими і повертаються в цикл вирощування. Біодизельне паливо ж добувається з них шляхом вибіркової кристалогідратної екстракції і вилучення з них жирних кислот при збереженні їх цілісності. А вже із жирних кислот отримують біодизельне паливо. В цьому одна з принципових відмінностей нашої технології. Друга складається з того, що в БКК не використовується CO_2 з атмосфери або з димових газів, а виробляється в самій установці. У нас споживаються повністю димові гази, без розділу їх і повернення оксидів азоту і сірки в атмосферу.

Третя відмінність складається з того, що виділення шкідливих оксидів азоту NO , NO_2 сірки SO_2 , які дають з водою сірчану H_2SO_4 і азотну H_2NO_4 кислоти, знищуючи водорості, не проводиться за допомогою малоефективного процесу мембранного розділу на стадії розділу газів, і ці шкідливі окисли не повертаються в атмосферу. І взагалі такий розділ не вводиться, а утворені кислоти в реакціях обміну з гідрокарбонатами перетворюються на азотне і сірчане живлення для водоростей за допомогою технології бурякоцукрового виробництва з використанням вапнякового методу очищення і процесів дефекації і сатурації.

Установка біокаталітичного крекінгу (БКК) працює наступним чином.

Живиться БКК біомасою і вуглекислим газом після мембранного розділу димових газів і виділення з них газоподібного CO_2 . Мембранний розділ дуже важко здійснити через дуже малу різницю атомарних мас молекул. Так $CO_2 - A = 12 + 2 \times 16 = 44$, а $NO_2 - A = 17 + 2 \times 16 = 49$, $49 - 44 = 5$. Далі в установці в блоці приготування суспензії в мішалці якірного типу (на схемі - не кавітаційної!) біомаса змішується з мазутом. Мазут надходить в мішалку ще з розділювального блока, а саме з ректифікаційної колони, на якій провадиться розділ біодизельного палива на фракції: газова фракція, бензин, керосин, дизельна фракція і найтяжча фракція - кубовий залишок - мазут.

З мішалки в блоці приготування суспензії суспензія через кавітатор, на якому провадиться кавітаційне подрібнення водоростей з рециркуляцією, поступає на дозуючий насос і спрямовується в реактор біокаталітичного крекінгу, куди для крекінгу подається водовід H_2 і оксид вуглецю CO . Суміш газів H_2 і CO для крекінгу отримується на мембранних установках в блоці газорозділення.

Там же виділяються гази CO, CO₂, CH₄ і CnHm і спрямовуються в енергетичну установку.

Ректифікація в блоці розділення біодизельного палива ведеться під вакуумом, для його створення використовується вакуумний насос. Біокаталітичний крекінг йде по стандартній схемі: біомаса+мазут+CO+H₂ при анаеробних умовах без доступу повітря в потрібному температурному режимі. Він описаний в методах очищення газів. Отримане в блоці БКК біопаливо поступає на ректифікаційну колонну в блок розділення біопалива.

Газ-паливо, бензин, керосин, дизельна фракція збираються в накопичувальних ємкостях, а тяжкий кубовий залишок ректифікації - мазут - спрямовується в блок приготування суспензії.

На фіг.1 показана базова схема фотобіореакторної установки української (авторської) розробки, безвідходна за використанням димових газів і промислових, побутових, і сільськогосподарських стоків, з виробленням біодизельного палива при умові збереження водоростей цілими і неушкодженими.

Фотобіореакторна установка включає в себе дефекосатураційну вапнякову технологію, яка дозволяє поглинати і використовувати всі компоненти димових газів з одночасною нейтралізацією сірчаної і азотної кислот, які знешкоджуються і перетворюються на азотне і сірчане живлення водоростей. Водорості зберігаються цілими і неушкодженими завдяки використанню вибіркової фтор-алканової кристалогідратної екстракції з вибором фтор-алкану, розчиняючого і сорбуючого жирні кислоти з клітин водоростей, які не пошкоджуються.

В цій установці застосовується 12 методів стимулювання темпу росту водоростей, що дозволяє перейти на форсований експоненціальний режим вирощування водоростей з веденням процесу при максимальних параметрах: лужність pH=9,5-11,0; температура t=40-45°C; CO₂-живлення 1,8 кг/1кг сухої біомаси; освітленість 100 Вт/м². Такий режим поряд зі стимулюванням темпу росту дозволяє скоротити цикл подвоєння біомаси до 1-3,5 год., що в свою чергу і дає можливість застосовувати максимальні показники процесу.

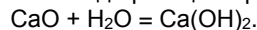
На фіг. 2 показано структурну схему процесів у малому реакторі, який застосовується для підтримання життєдіяльності чистого (свіжого) штаму водоростей або для вирощування клітковинних бактерій, призначених для стимулювання темпу росту водоростей. Ці клітковинні бактерії подаються в основний фотобіореактор з живильним розчином при видаленні з нього половини об'єму готової біомаси з густиною 5г/л розчину. Клітковинні бактерії вирощуються на добовому настої соломи 100 мл/л розчину.

На фіг. 3 - лінія дефекосатурації - основна лінія вироблення гідрокарбонатів, нейтралізації шкідливих для мікробіодоростей сірчаної і азотної кислот і перетворення їх в продукти азотного і сірчаного живлення водоростей - одна з основних відмінних рис української (авторської) установки по відношенню до американської установки 5-го покоління (прототипу), де окисли азоту і двооксид

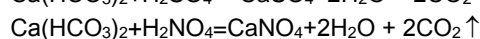
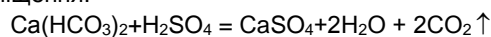
сірки викидаються знову в атмосферу після їх виділення на мембранах.

В сатураторі утворюється гідрокарбонат Ca(HCO₃)₂ - у великій кількості за реакцією:

Ca (OH)₂ + CO₂ = Ca (HCO₃)₂, а Ca (OH)₂ створюється на дефекації за реакцією



Частина гідрокарбонатів йде на нейтралізацію азотної H₂NO₄ і сірчаної H₂SO₄ кислоти по реакції замичення:



з утворенням сірчаного і азотного живлення, а також з поповненням CO₂-живлення водоростей. Ці компоненти з живильним субстратом подаються в основний фотобіореактор при підкачуванні половини об'єму в кожному циклі відвантаження біомаси. Решта, лишок, який складає більшу частину гідрокарбонатів, використовується як живильне середовище для водоростей, оскільки містить легко засвоюваний ними і необхідний для їх росту CO₂, крім CO₂ сорбованого водою, живильним середовищем і CO₂ поглиненого клітковинними бактеріями. Всі ці складові CO₂ живлять водорості.

На фіг.4 показано структурну схему лінії приготування вапняного розчину.

Регулюючи дозатором кількість вапнякового розчину, а кавітаційним активатором його активність, можна змінювати кількість гідрокарбонатів та загальну лужність живильного розчину в межах pH=9,5-11,0.

На фіг. 5 зображено структурну схему лінії приготування живильного середовища. Зліва на схемі - процеси і обладнання, справа - речовини, які подаються у відповідні апарати.

На фіг. 6 - структурна схема структуризації води, яка використовується по всіх лініях.

На фіг. 7 - лінія очистки і поглинання газоподібного CO₂.

На фіг. 8, 9, 10, 11, 12, 13 зображено приклад компоновки вузлів і деталей фотобіореактора в блоці з інсталяцією при установлених лампах освітлення. Тут позначено:

- 1 - запобіжний скидний клапан повітряного ковпака;
- 2 - роздільна планка для труб між двома рядами ковпаків;
- 3 - патрубок для барботажного повітряного колектора;
- 4 - рециркуляційний тракт;
- 5 - труба для рециркуляції;
- 6 - вихідна труба для вигризки біомаси;
- 7 - вхідна труба для подачі живильного розчину;
- 8 - притискна планка для утримання труб трубої системи реактора;
- 9 - труба для подачі повітря в систему;
- 10 - розподільний повітряний колектор;
- 11 - повітряно-газовий ковпак;
- 12 - рама установки;
- 13 - підйомна висхідна труба з сумішшю повітря з рідиною;
- 14 - низхідна труба з рідиною;
- 15 - лампи освітлення.

Основною відмінною ознакою фотобіореактора української (авторської) установки є секційність конструкції, розділення безперервного зміювика, який використано у всіх відомих конструкціях фотобіореакторів, на секції з посеційним скидом надлишкового повітря. Це дає можливість підсилити аерацію біомаси, інтенсифікувати барботажне перемішування біомаси, підсилити її циркуляцію і рециркуляцію, збільшити відносну швидкість біомаси відносно живильного розчину і стимулювати темп росту водоростей. В цьому одна із переваг даного фотобіореактора.

На фіг. 14, 15, 16, 17 зображено компоновку трьох секцій фотобіореактора.

На фіг. 18 рознесено конструкцію по лініях установки секцій, труб і ламп з притискними і розподільними планками. Тут позначено:

- 1 - запобіжний скидний клапан повітряного ковпака;
- 2 - підйомна висхідна труба трубої системи з сумішшю повітря з рідиною;
- 3 - патрубок для барботера;
- 4 - рециркуляційний тракт;
- 5 - труба для рециркуляції;
- 6 - вихідна труба для вивантаження біомаси, у
- 1 - вхідна труба для подачі живильного розчину;
- 8 - притискна планка для утримання труб реактора;
- 9 - труба для подачі повітря в систему;
- 10 - розподільний повітряний колектор;
- 11 - повітряно-газовий ковпак;
- 12 - рама установки;
- 13 - лампи освітлення;
- 14 - нисхідна труба з рідиною;
- 15 - притискна планка ламп;
- 16 - роздільна планка для труб;
- 17 - барботери.

На фіг. 19, 20 і 21 показано приклад виконання і компоновку фотобіореактора об'ємом 1000 л для вирощування водоростей підприємцями.

Методи стимулювання росту одноклітинних водоростей, запроваджені в установці.

1. Підготовка повноцінного субстрату живильного середовища, який містить всі мікроелементи і живильні речовини. Для цього в комплекс включається установка для експрес-методу вирощування дріжджів [22-24, 45 с, 23], кавітаційні диспергатори [24-26], дефекатор і сатуратор [22, 54 с., 26-28], розчинно-струминний абсорбер [22-25, 16 с., 26-28], дозатор гідроксиду кальцію [22, 28], кавітаційний активатор [22, 15 с, 26] вапняного розчину.

Хоча біомаса водоростей зростає від засвоєння CO_2 і води на 94%, а від живильних речовин - лише на 6%, наявність всіх потрібних мікроелементів, 10 обов'язкових речовин, гідрокарбонатів, азотного і фосфорного живлення, марганцю (0,2 мг/л) надзвичайно стимулює темп росту.

2. Пришвидщення засвоєння живильних речовин водоростями із субстрату:

2.1. Шляхом інтенсифікації конвективної дифузії при пришвидшенні відносного руху субстрату відносно водоростей [22,24]; рециркуляцією суспензії, вібрацією суспензії [27], барботажем [22-24], електро- і магнітодифузією [23].

2.2. Кавітаційна сорбція CO_2 при сатурації з утворенням гідрокарбонатів при розпиленні, барботажу, рециркуляції в сатураторах (97% CO_2) [22-24, 261, екстракторах [27].

2.3. Використання активованої, структурованої, електризованої води [23, 24, 27], з записом інформаційно-хвильових характеристик водоростей [30].

2.4. Водопідготовка. Активація води [23, 24, 29] одним найбільш ефективним для найближчого застосування способом. Після використання можна застосувати інший метод. Одночасне застосування двох різних методів нейтралізує активацію.

Структурування води магнітним полем [24, 29], використання високовольтного (30-60 кВ), високочастотного (10-30 кГц) розряду і електростатичного поля, електророзрядної кавітації, насичення води вільними електронами, її озонування і обеззараження поряд з кавітаційним знешкодженням. При структуруванні води її кластери, в які зв'язані десятки і сотні молекул, розпадаються на окремі високоактивні молекули і іони, які переносять живильні речовини, легко проходячи через клітинні мембрани водоростей. Ці процеси суміщаються з процесами приготування живильного субстрату.

2.5. Прискорення фотосинтезу в клітинах водоростей комбінуванням різних видів світла і освітлення, стимулюючих фотосинтез. Застосування інфрачервоного (14) освітлення, об'ємно рівномірно прогріваючого суспензії і створюючого в пограншарі навколо клітин водоростей термодифузії, застосування лазерного УФО, опромінення когерентним короткохвильовим світлом з довжиною хвилі 220-240 нм, стимулюючим ріст клітини при фотосинтезі. Освітлення люмінесцентними і флуоресцентними лампами застосовується з обох сторін фотореактора. Всі види освітлення піддаються спіновій поляризації, для чого застосовуються спінові поляризатори джерел електричного струму.

3. Стимулювання росту створенням невагомості в основному реакторі шляхом використання схрещеного електричного і магнітного поля полем [28]. Одночасно здійснюється електро- і магнітодифузія, створюється вихрова циркуляція субстрату навколо клітин водоростей і повздовжня циркуляція в каналах реактора.

4. Використання пульсаційного, вібраційного і барботажного перемішування [25, 29], а також перемішування рециркуляцією, теорія якої викладена в [28].

5. Комбінована кавітаційна, струминна, розпилювальна і барботажна сорбція CO_2 [22, 26]. Кавітаційна сорбція здійснюється в двох режимах: пухирцевому з точковим стискуванням при схлопуванні до 12000 атм і температурою до 3200°C, і другий режим - суперкавітаційна сорбція з аерозольним розпилом на межі каверни і рідини [24] зі стимуляцією пухирцевої сорбції гідропульсаціями і гідроударами.

6. Використання інформаційно-хвильових впливів і дій в аутонозодному режимі для прямого стимулювання росту водоростей [30], виключення негативних енергій, випромінювань і знищення

патогенної мікрофлори, яку не здатні поглинути водорості [30].

7. Видалення жирних кислот для біодизельного пального не подрібненням і пресуванням водоростей, тобто їх повним знищенням, а шляхом вибіркової кристалогідратної екстракції [23, 31], залишаючи водорості цілими і неушкодженими і повертаючи їх в цикл вирощування.

8. Утилізація відходів (макухи, якщо вона утворилася, решток водоростей, частину біомаси тощо) вибірковою екстракцією на базі кристалогідратної технології [23, 31] і вуглекислотної екстракції [27].

9. Використання гідралічних пульсацій в рециркуляційному тракті і у всіх каналах і трубах фотобіореактора для стимулювання тепломасообміну між живильним розчином і клітинами водоростей в 2,5 рази, підвищення кавітаційної дифузії розчину в клітини водоростей.

10. Створення форсованого режиму росту водоростей з експоненціальним зростанням темпу росту шляхом прискорення циркуляції і перемішування біомаси водоростей, введення максимальної барботажної посекційної аерації, підвищення всіх параметрів фотобіосинтезу: прогрів інфрачервоним опроміненням до 40-45°C, підвищення лужності до pH=9,5-11,0, збільшуючи кількість вапнякового розчину та інтенсифікуючи кавітаційну активацію на всіх лініях, що дозволяє підняти лужність до pH=13,0, доведення засвоєння CO₂ до 1,8 кг на 1 кг біомаси, стимулювання біо-, фізичної і хімосорбції по всіх 6-ти каналах вуглекислотного живлення: кавітаційна фізична сорбція CO₂ на дефекосатурації і лінії приготування живильного субстрату, хімосорбція CO₂ на дефекосатурації з утворенням гідрокарбонатів, гідрокарбонатне живлення водоростей, живлення водоростей клітинними бактеріями, які поглинають CO₂, а водорості поглинають їх, біосорбція CO₂ в фотобіореакторі.

11. Використання трубчастої вставки з пружними стінками, яка поряд з гідропульсаціями створює додатковий напір рециркуляції в фотобіореакторі.

12. Додавка 0,2 мг KMgO₄ калій перманганату в живильний розчин за Норкінсом для стимулювання росту водоростей в десятки разів при забезпеченні всіх інших нормальних умов.

13. Прогрівання біомаси водоростей рівномірно без перегрівів на всю глибину шару інфрачервоним випромінюванням, лампи якого живляться від спіново-поляризаційного електричного струму.

Установка спінової поляризації електричного струму може бути виконана в декількох версіях: магнітна і електромагнітна з біжучим полем і торсіонним випромінюванням. В версії магнітної установки використовуються постійні магніти з однаковим напрямком полем, між якими пропускається електричний струм. Суть спінової поляризації в цьому варіанті полягає в наступному. Електричний струм являє собою потік поступально рухаючихся електронів, які або відірвалися з орбіт елементів хімічних джерел струму, або отримали поступальний рух під дією електромагнітної індукції. При цьому їх обертовий рух безпорядний: одні обертаються вправо, інші - вліво, і обертова складова

енергії струму нівелюється, не переноситься, переноситься лише енергія поступального руху електронів. За правилом буравчика у електронів з правогвинтовим рухом магнітні осі спрямовані вниз (якщо дивитись згори), а у лівогвинтових електронів - догори. Магнітне поле спрямовує всі магнітні осі в одному напрямку, і електрони, всі без винятку, отримують однаковий обертовий рух. Саме ця обертова складова енергії руху електронів переносить крім енергії ще й інформацію, тобто інформаційно-хвильові характеристики живих біооб'єктів - водоростей, підсилюючи їх ріст. Спінова поляризація електричного струму передається електричним світильникам, перехід від електроструму до фото-квантових частинок світла, так як згідно з твердженням Дірака фотон світла є і частиною матерії, і хвилею, тобто кванти світла мають одночасно і хвильові, і матеріальні властивості - це явище зветься діраковим дуалізмом мікрочастинок. Тому спіново-поляризоване світло являє собою стимулюючий фактор росту мікродоростей.

В основі другої версії спіново-поляризаційної апаратури лежить розробка автора - спіновий поляризатор і торсіонний генератор. Ця розробка складається з двох конічних електромагнітів з гострими вершинами, спрямованими в різні сторони. На них розміщена обмотка ліво- і правогвинтова.

Напруженість електромагнітного поля прямо пропорційна ампервитку обмотки і обернено пропорційна довжині витка. Для тонкого кінця у вершини конуса маємо

$$H_1 = \mu \frac{I_1 w_1(1)}{\ell_1},$$

а у основі конуса

$$H_2 = \mu \frac{I_2 w_2(1)}{\ell_2} I_2,$$

де H - напруженість електромагнітного поля, μ - магнітна проникливість повітря, I - сила струму, w - число витків обмотки, ℓ - довжина витка обмотки.

Оскільки діаметри проводів обмотки однакові, то і сила струму у вершини конуса і у основи одна і та ж $I_1 = I_2$.

Візьмемо по одному витку $w_1 = w_2 = 1$. Довжина витка у основи ℓ_1 буде значно більшою за довжину витка у вершини, де $\ell_1 \rightarrow 0$.

Тому

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\ell_2}{\ell_1} \Big|_{\ell_1 \rightarrow 0} \rightarrow \infty.$$

Створюється біжуче електромагнітне і торсіонне поля, які рухаються в протилежні боки.

У вершини виток переходить в прямий провід, що і спричиняє спінову поляризацію струму.

Дослід, проведений автором, показав наявність великої надлишкової енергії від спінової поляризації струму.

В розетку $V=220$ В включаємо мережу з послідовно з'єднаних омичного опору $R=2200$ Ом і міліамперметра. Отримуємо в повній відповідності до закону Ома струм

$$I = \frac{V}{R} = \frac{220}{2200} = 0,1 \text{ A} = 100 \text{ mA}.$$

Тепер послідовно включаємо спіновий поляризатор, який має омичний опір $R > 2200 \text{ Ом}$ і індуктивний опір. Згідно з законом Ома струм в електричному контурі повинен зменшитись щонайменше у 2 рази. А він зростає з $I = 100 \text{ mA}$ до $I = 110 \text{ mA}$. Це відбувається за рахунок спінової поляризації, а саме за рахунок переносу обертальної складової енергії електронів струму.

Опис фотобіореакторної установки для вирощування водоростей і її роботи.

Технологія безвідхідна, з замкнутим циклом вирощування водоростей, вилучення з них жирних кислот і біопрепаратів без їх пошкодження з повним їх поверненням в цикл нарощування біомаси.

Лінія підготовки води (водопідготовка): 1-2-3-4-5-11.

Включає в себе: активацію, структурування, знешкодження води, насичення її вільними електронами, озонування і запис на воду інформаційно-хвильових характеристик водоростей для облучення їх в аутонозодному режимі, який дає надзвичайний приріст темпу росту водоростей.

Останнє перевірено на вирощуванні наземних сухопутних рослин: облучення води, запис хвильових характеристик на воду або гомеопатичну крупку з наступним розчиненням її у воді і поливом рослин цією водою.

Знімання хвильових характеристик з зерен рослин і їх передача на воду і крупку проводились апаратом біорезонансної терапії Ю.В. Готовського або І.В. Оржельського або О.Е. Коптелова або Sem-tech.

При замочуванні зерен в цій воді і при поливі опроміненою водою збільшення темпу росту спостерігалось в 10-15 раз по розміру корінної і стеблової системи порівняно з неопроміненими рослинами. Таке опромінення в інформаційно-хвильовій терапії називається аутонозодним.

В проекті пропонується для запису інформаційно-хвильових характеристик водоростей використовувати рідинні кристали Sem-tech і сам апарат, зблокований з автоматом перезапису.

Знімання сигналів з водоростей провадиться на виході їх із реактора, а передача по каналах Sem-tech від кристалів через апарат на воду, що живить водорості, живильне середовище та самі водорості (суспензію) на вході в реактор.

Це відображено в 5 - приймачі інформаційно-хвильових характеристик (IBX), в блоці запису інформації і керування перезаписом через кожні 0,5-2 хвилини, і в випромінювачах-регістраторах 6, 8, 9, 10 (можна на рідких кристалах гафнію і ін., як в апараті Sem-tech).

Па лінії водопідготовки передбачена активація води (а також живильного середовища, вапняного розчину в інших лініях).

Активація води і розчинів провадиться за результатами наших досліджень 9-ма способами: дезінтеграція, кавітація, домагнічування, електричне поле через напівпроникну перегородку (з брезенту) з розділенням води на катодну, кислу, "живу" і анодну, $\text{pH} > 9,0$, "мертву" по різниці рівнів води в катодній і анодній камері, а також розтале-

на вода, багатократно заморожена "протієва" вода, кипляча-вакуумована, активована хімічними добавками (домішки морської води, KMnO_4 0,2 мг/л).

Вибрана кавітаційна активація з використанням спеціальної технології, підсилюючої кумулятивну дію кавітації. Це дуже важливо, підсилення кавітації досягається (за нашими дослідженнями): гідравлічними пульсаціями, гідроударами, калібруванням кавітаційних пухирців по розмірам, піддувом рідини (або підсосом) в пограншар на кавітаторі, вібрацією кавітатора, підсос в каверну газів, парогазова кавітація, створення аерозольного розпиленого шару на межі каверни з рідиною і т. д. (див. монографії розробника проекту).

Після кавітаційної слідує блок електропробійної кавітації 2. Тут як кавітатор використовується електроізолюваний електрод, на який подається напруга 30 кВ з постійним потенціалом, імпульсним або високочастотним 10 кГц. Для генерації такої напруги використовується перетворювач-інвертор з блоками живлення, множителя, трансформатора. На кавітатор-електрод подається від'ємний потенціал, а корпус блока заземлюється.

В зазорі між корпусом і кавітатором-електродом оболонки кавітаційних пухирців заряджуються в радіальному електростатичному полі з угрупованням зарядів одного знаку на одній стороні оболонки кавітаційного пухирця, а протилежного знаку - на другій стороні. В процесі схлопування пухирців обидві сторони їх оболонок зближуються і настає електричний пробій (розряд).

Відбувається виділення озону і насичення озоном рідинного середовища (озонування, обеззараження), яке довершує обеззараження рідкого середовища. Початок обеззараження закладено в кавітаційній активації, продовження дає сам електричний пробій.

Крім того відбувається насичення рідини вільними електронами - електризація середовища, яка підвищує його активність і створює умови для застосування спінової поляризації.

Структурувати і я рідини провадиться в магнітному блоці 3 магнітним полем з використанням спінової поляризації вільних електронів, торсійних випромінювань та бігучого магнітного поля.

Всі ці фактори створюються гостроконечним кавітатором-електромагнітом, обмотка якого має змінну по довжині напруженість магнітного поля.

На гострому кінці конуса виток короткий, його довжина ℓ_1 , мала, ампераж постійний J Ампер.

На одному короткому витку $w=1$ напруженість поля буде набагато більша, ніж на довгому витку $\ell_2 > \ell_1$, розміщеному на протилежних кінцях конусного магніту, у основи конуса

$$H_1 = \mu \frac{Jw}{\ell_1}; \quad H_2 = \mu \frac{Jw}{\ell_2};$$

$$\ell_1 \ll \ell_2; \quad H_1 \ll H_2;$$

Jw - кількість ампер-витків, $w=1$. Створюється біжуче електромагнітне поле з градієнтом

$$\text{grad}H = -\frac{H_2 - H_1}{L_{\text{кон}}}, \text{ де } L - \text{довжина конуса.}$$

Електромагнітне поле отримує напрям від вершини до основи конуса, а супроводжуюче його торсіонне поле (випромінювання) - спрямовується в протилежному напрямі від основи до вершини і саме воно провадить спінову поляризацію потоку, надзвичайно підвищуючи активність текучого середовища (води).

Структуризація води полягає в зруйнуванні водних кластерів, об'єднуючих багато молекул води, що робить їх неактивними, не здатними переносити живильні речовини в клітини водоростей, непроникиливими через пори клітинних мембран. Це має місце в звичайній неструктурованій воді.

У структурованій воді кластери розщеплені на окремі активні молекули, що легко проникають через клітинні мембрани, переносючи живильні речовини.

Активізація води призводить до гідратації її молекул з утворенням електрично активних іонів H^+ і OH^- .

Структуризації води сприяє також домішка морської води або розчину морської солі у воді.

Морська вода сама по собі структурована. Вона має пам'ять і властивість миттєво передавати інформацію, тому невелика домішка робить будь-який об'єм води структурованим, інформація розповсюджується на весь об'єм. Активована, структурована, насичена електронами вода накопичується в накопичувальній місткості 11.

Лінія приготування вапняного або содового розчину в суміші з живильним середовищем або зі стічною водою: 12-13-14-15.

В лінії приготування вапняного молока використовується активована, структурована вода і опалене вапно CaO . В суміші з водою отримуємо гашене вапно - вапняне молоко:

$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$ - вихідний продукт для утворення гідрокарбонатів - основної живильної речовини, яка містить хемосорбований CO_2 . Гідрокарбонати $Ca(HCO_3)_2$ нейтралізують шкідливі для водоростей оксиди азоту NO , NO_2 і сірки SO_2 , перетворюючи їх в азотне і сірчане живлення для водоростей.

Це одна з переваг нашого проекту.

Змішування опаленого вапна CaO з водою провадиться в вапногасильному апараті 12 - в результаті отримуємо вапняний розчин $Ca(OH)_2$ - вапняне молоко. Це вапняне молоко - розчин $Ca(OH)_2$ - піддається кавітаційній активації. Конструкція кавітаційного активатора 13 описана в наших роботах [2, 3, 5]. Цей активатор було впроваджено нами, його було поширено на всі цукрові заводи України, Росії і країн СЕВ за радянських часів.

Такому широкому його розповсюдженню сприяло те, що в результаті кавітаційної активації суттєво зростала активність вапняного молока і його витрати знижувались в кілька разів (3-5 разів). Та ж сама лужність середовища досягалася за рахунок кавітаційної активації вапняного молока і води при значно менших його витратах.

Активоване вапняне молоко збирається в збірнику 15 і дозатором Черні-Штольця 14 видається порційно пропорційно до витрат живильного середовища на дефекацію 16.

Лінія дефекації: 16-17-18.

На дефекацію 16 подається живильне середовище, стічні води, склад обов'язкових елементів (10) і мікроелементів (з дріжджів) і дозується пропорційно їх кількості вапняний розчин з ємкості 15 дозатором 14. В дефекації 16 відбувається змішування всіх компонентів і утворення гідратних сполук.

Суміш живильного середовища, стічних вод і вапняного розчину поступає до сатуратора 17, куди спрямовуються одночасно і димові гази. Димові гази також паралельно і послідовно через сатуратор 17 поступають і на кавітаційний абсорбер 18. Конструкція кавітаційного абсорбера 18 на суперкавернах, вимушено заповнюваних CO_2 під напором в поєднанні з пухирцевою кавітацією і рідинно-струминним апаратом для сорбції SO_2 наведена в наших роботах [2, 3, 5, 8].

Конструкція розпилювально-барботажного сатуратора [3, 5, 8] створена і випробувана нами на Бовшевському цукровому заводі. Цей сатуратор забезпечує майже повне поглинання CO_2 (97%). Він отримав розповсюдження по всіх цукрових заводах України і Росії шляхом модернізації існуючих апаратів.

Сатуратор суміщає з собою кавітаційну мішалку з суперкавітаційною крильчаткою і її осью оциляцією [1, 3].

В розпилювально-барботажному сатураторі розпил здійснюється широко кутовою форсункою з гвинтовою закруткою висхідного потоку рідини [1, 3, 5].

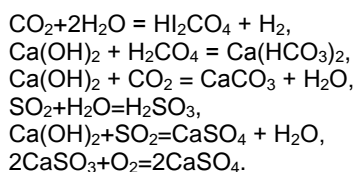
Барботаж вівся одночасно з рециркуляцією розчину через центральну трубу. Такий принцип буде застосовано і в біофотореакторі шляхом труби видної вставки в прямокутну секцію з барботажом через трубовидну вставку і рециркуляцією ззовні вставки.

Розділ сатуратора на секції збільшував сорбцію CO_2 за рахунок дії ефекту секціонування та встановленому нами ефекту поновлення градієнта переносу.

Сорбція CO_2 досягала 97-99%. Тому такий сатуратор отримав розповсюдження по всіх заводах, так як у звичайних сатураторах сорбція CO_2 була в межах 35-40%.

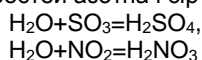
Абсорбер 18 комбінований і складається з суперкавітаційного абсорбера, заснованого на створенні проточних суперкаверн, заповнених протікаючим через них газом з утворенням дрібнодисперсного аерозольного розпиленого потоку на межі каверни з рідиною, другу частину абсорбера складає кавітаційна мішалка з вертикально оцилюючими суперкавітаційними крильчатками або дезінтеграторний соплово-гідроударний апарат [3, 4].

На сатурації протікають відомі в вапняному і содовому методах очистки CO_2 , від NO , NO_2 і SO_2 , а також в технології бурякоцукрового виробництва, хімічні реакції, які утворюють гідрокарбонатні сполуки - основне CO_2 - живлення водоростей:

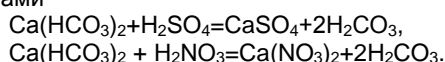


На дефекосатурації подається в нашому проєкті на відміну від американського весь склад димових газів, включаючи і шкідливі для водоростей оксиди азоту і сірки, які в американському варіанті виділяються на мембранах і скидаються знову в атмосферу.

Утворені на дефекосатурації шкідливі для водоростей азотна і сірчана кислоти



вступають в реакцію заміщення з гідрокарбонатами



Таким чином нейтралізуються згубні для водоростей азотна і сірчана кислоти, виробляється азотне $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і сірчане CaSO_4 живлення для водоростей і знову вивільнюється гідрокарбонатна кислота H_2CO_3 для створення гідрокарбонатного живлення - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Кислота H_2CO_3 є слабкою, тому вона легко заміщується дуже сильними (активними) сірчаною і азотною кислотами.

У склад абсорбера 18 входить рідинно-струминний апарат для поглинання SO_2 [3, 5, 7], розроблений нами для цукрової промисловості з метою здійснення сульфитації соку та сиропу.

Раніше до впровадження цього апарата сульфитація соку і сиропу провадилась в барботажних колонах зі стійкого чугунку величезних розмірів (габарити залізниці).

В ці барботажні колони вентилятором подався газоподібний SO_2 , який отримували від спалення твердої сірки в сірчаних печах. Заміна таких колон, включаючи і розпилувальні, на компактні і ефективні рідинно-струминні апарати, розроблені нами, було проведено на всіх цукро заводах.

Лінія приготування живильного середовища: 19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-30-31.

Для приготування живильного середовища може бути використано в якості основи: активована, структурована вода, стічні води харчових підприємств, сільгоспферм, нафтопереробних заводів, фекальні і побутові стічні води, комунальних господарств, відходи самих біореакторних установок і ін.

Відомо, що 94% біомаси водоростей нарощується за рахунок CO_2 і лише 6% складає живильне середовище і мікроелементи. Проте ці 6% мікроелементів, складаючи лише 6% біомаси, надзвичайно стимулюють біофотосинтезуючі процеси у водоростей і стимулюють їх ріст.

Тому дуже важлива їх присутність в живильному середовищі в повному наборі, хоч і в мікродозах.

Живильні речовини мінерального складу поділяють на мікроелементи (речовини) і мікроелементи (хімічні елементи).

Серед рослинних стимуляторів відомі 10 обов'язкових елементів: залізо, марганець, цинк, ва-

надій, мідь, бор, кремній, молібден, хлор і кобальт. Як мікроелементи простіше за все використовувати різні сільгоспдобрива, рецепти, які містять їх, наводяться далі і детально - в біотехнології.

Можна використовувати амонієву селітру, калійну селітру, як азотне живлення, суперфосфат, як фосфорне живлення. Крім того використовувати такі добрива (г/літр розчину): $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -0,25; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,06; K_2HPO_4 -0,06; KCl -0,08 (середовище Кноппа), або середовище Прата: KNO_3 - 0,10; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,01; K_2HPO_4 -0,01; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -0,001.

Враховуючи велику стимулюючу роль мікроелементного складу водоростей, було встановлено шляхом порівняння їх складу з мікроелементним складом інших одноклітинних, що в дріжджах майже повністю повторюється склад мікроелементів водоростей.

Тому, не дивлячись на численні рецепти ерзац-замін, нами пропонуються дріжджі, як повні ідентифікатори водоростей по мікроелементам, які в них містяться в збалансованому природному співвідношенні.

Оскільки мікроелементи потребуються в невеликих дозах, то і дріжджів буде потрібно небагато. Для великих установок доцільно ввести в лінію приготування живильного середовища розроблену нами установку для експрес-методу вирощування дріжджів [1, 8], в схемі - 19.

Установка виготовлювалась Фастівським машинобудуванням і випускалась для тваринницьких ферм Фастівського району, добре себе зарекомендувала (публікації в Фастівській райгазеті). Використовувалась меласа (відхід цукрового виробництва) і відходи сільгоспсировини, які зброджувались. Для малих установок вирощування водоростей рекомендується використовувати готові дріжджі, як повний збалансований комплекс мікроелементів, здатний суттєво стимулювати темп росту водоростей. В установці 19 використовується насос, ежектора і принцип винахідництва "зроби навпаки". Якщо світовими фірмами Фів-Ліль і Альфа-Лаваль використовуються барботажні дріжджоростильні колони з повітропродувками з електромоторами в декілька тисяч кіловат, а ефективність їх мала через низьку швидкість впливання газових (повітряних) пухирців при барботажі - то зроби навпаки, замість вдую газу в рідину вдуй рідину в газ, використовуючи розпадаючі на дрібні краплі струмини рідини з великою поверхнею контакту фаз і великою швидкістю.

Це і є принцип експрес-методу швидкого вирощування дріжджів в одному апараті. Простіше всього в апарат заливати розчин меласи і вводити рецептуру для вирощування [1, 8], і подавати для розчинення теплу активовану і структуровану воду зі збірника 11.

Далі розчин дріжджів поступає на кавітаційний диспергатор 21, потім в збірник живильного розчину 22.

До збірника 22 підключена серія дозаторів мікроелементів 23-27, і мікроелементів - сільгоспдобрив 28-31 з автоматичним дозуванням розчинів цих мікро- і макроелементів.

Насосом здійснюється рециркуляція живильного середовища в збірнику 22 через кавітатор.

Автономно працює установка очищення димових газів від SO_2 , NO_2 , NO , H_2S VIII і виділення чистого CO_2 для живлення біореакторів. Цей чистий CO_2 із установки 18.

Установка VIII містить рідинно-струменевий поглинач SO_2 живильним середовищем, кавітаційний абсорбер типу 18 [3]. Із VIII чистий CO_2 подається в біофотореактор V.

Біофотореактор V являє собою або набір пластикових, прозорих для світла труб або пласку багатосекційну пластикову коробку з розділювальними перегородками, які забезпечують перетік рідкого середовища (суспензії) з однієї секції в другу зі зміною напрямку течії знизу вгору і зверху вниз. Так само з'єднується система у вигляді вертикального змішувача. Діаметр труб застосовується від 3,8 мм (гвинтовий реактор) до 900 мм (змійовиковий). Такі ж і розміри секцій від 4×4 мм до 800×800 мм. Забезпечення максимальної прозорості з усіх боків - це головна вимога виконання фотосинтезу. Для виготовлення біофотореакторів можна застосовувати оргскло з прозорістю 92%, люмінесцентні і флуоресцентні лампи освітлення при нормі освітленості 50-75 тисяч люкс, або 50-100 Вт/м².

В реактор на вході знизу пробують газоподібний CO_2 .

В нашому варіанті барботаж CO_2 здійснюється в кожну секцію. Верхній простір плескатого реактору товщиною 50-800 мм відгороджується сітчастою перегородкою з накладанням багатосарового волокнистого матеріалу. В нижній частині кожної секції з вихідним рухом суспензії на кінцях газопідвідних трубок встановлюються пористі пластмасові насадки для барботажу газу.

Знизу останньої секції здійснюється відбір суспензії на рециркуляцію з поверненням до вхідної секції.

Всі насоси, які перекачують водоростеву суспензію, не відцентрового типу. Це можуть бути плунжерні, поршневі, мембранні, акваріумні насоси, насоси трігвинтового типу 1А3В, так як відцентрові насоси травмують водорості, що призводить до пінення і бродіння суспензії.

Рециркуляційний тракт має пристрій 37-38, який забезпечує температурні коливання 25-32°C і м'які гідравлічні пульсації, які підсилюють дію конвективної дифузії і сприяють проникненню живильного середовища в клітини водоростей.

В нижніх частинах секцій або труб встановлюються соленоїди 34 схрещеного електричного і магнітного поля.

Схрещене електричне і магнітне поле забезпечує мікроциркуляцію вихорів навколо клітин водоростей, яка підсилює дифузію в клітини і зустрічну дифузію з клітин.

Реактор освітлюється люмінесцентними лампами потужністю по 36 Вт з двох сторін, покриваючи всю поверхню.

Завантаження реактора здійснюється з малого реактора VII, подібної конструкції. В нього вводиться первісна культура водоростей, а потім водорості повертаються з основного реактора після того, як в установці VI вибірковою кристалогідратної екстракцією з них видаляють жирні кислоти.

В малий реактор VII надходить при необхідності активована, структурована вода, живильне середовище і суспензія з біомаси, вирощена в основному реакторі після проходження вибіркової кристалогідратної екстракції в установці VI.

Якщо ємкості живильного середовища малого реактора і основного реактора співвідносяться, як 1:0,5:1, то при відвантаженні основного реактора його об'єм заміщається 0,5 об'єму водоростевої суспензії з малого реактора і 0,5 об'єму живильного середовища з баки живильного середовища.

Відновлена в малому реакторі біомаса може поступати на вибірку екстракцію в періоди, коли установка VI не завантажена основним реактором V.

Умовою погодження роботи барботажного компресора і циркуляційного насоса є співвідношення тиску газів і суспензії:

$$P_1 > P_2 > P_H,$$

де P_1 - тиск газу на вході в секції реактора, P_2 - тиск газу на виході з секцій, P_H - тиск суспензії в реакторі, що підтримується циркуляційним насосом.

Для різних секцій тиск P_H буде мати різну величину. Тому треба застосовувати це співвідношення до останньої секції.

Залишок газу в верхній частині при підвищенні тиску повертається в загальний газгольдер, не показаний на схемі, або на всисання компресора, відкачується вакуумним насосом з циклона або відкачується компресором.

Вивантаження суспензії з біомасою з основного реактора здійснюється насосом шляхом прокачки нової порції суспензії разом з живильним середовищем.

Вивантажена суспензія надходить в циклон 41, де з неї виділяється біомаса, розчин і газ. Біомаса надходить в установку VII вибіркової кристалогідратної екстракції, розчин повертається насосом, минаючи установку VII, а подається в лінію компресора.

В установці VII із біомаси водоростей шляхом вибіркової кристалогідратної екстракції виділяються жирні кислоти і направляються на виготовлення біодизельного палива.

Біомаса з цілими і неушкодженими водоростями повертається з установки VII на малий реактор VI з виділенням раніше рідким середовищем і попутно проходить обробку низькочастотним магнітним полем в блоці 45. Ця обробка проводить повну інактивацію мікроорганізмів.

Експлікація до базової установки для вирощування МКВ.

I - лінія підготовки води (водопідготовки), вихідна вода, стічні води (див. структурну схему): 1 - кавітатор-калібратор, 2 - кавітатор-електрод, 3 - магнітний блок структуризатор води (+ домішка морської води), 4 - перетворювач-інвертор 30 кВ, 10 кГц, 5 - приймач інформаційно-хвильових характеристик водоростей, 6-випромінювач-електрод, 7 - блок запису інформації, 8, 9, 10 - рідкі кристали приладу СЕМ-ТЕХ (Sem-tech), 11 - накопичувач води;

II - лінія підготовки вапняного розчину (вапняне молоко) - вихідна вода+опалене вапно CaO ,

MgO, 12 – вапняно-гасильний апарат, 13 - кавітаційний активатор вапняного молока, 14 - дозатор, 15 - збірник;

III - лінія дефекації, сатурації, приготування гідрокарбонатів, поглинання димових газів: 16 - дефекатор, 17 - сатуратор, 18 - кавітаційний абсорбер димових газів;

IV - лінія виготовлення живильного середовища (субстрату): 19 - апарат для експрес-методу вирощування дріжджів, 20 - підготовка вихідного розчину (кавітаційні мішалки, диспергатори, розчинники), 21 - кавітаційний диспергатори, гомогенізатор, активатор, абсорбер, 22 - реактор виготовлення живильного середовища, 23-27 - дозатори розчинів мінеральних, калійної та амонієвої селітри, суперфосфату, 10-ти обов'язкових елементів, розчину соломи (клітковинних бактерій), 0,2 мг/л марганцю, морської води, 28 - розчинник селітри, 29 - розчинявав суперфосфату, 30-31 - розчинники домішок (калій перманганат);

V - біофотореактор: 32 - лампи освітлення: люмінесцентні, флуоресцентні, лазерні, всі спіново-поляризовані і заряджені інформаційно-хвильовими характеристиками водоростей, транспортними торсіонним генератором і спіновим поляризатором через сітку Sem-tech, 33 - корпус реактора з оргскла прозорістю 92%, листового товщиною від 1,5 до 25 мм, у вигляді акваріума товщиною 40-100 мм з двобічним освітленням і перегородками, секційний з лабіринтовим рухом суспензії, 34 - соленоїди схрещеного електричного і магнітного поля для левітації, мікроциркуляції, магніто- і електроциркуляції, 35 - пористі ковпачкові барботери газу в висхідних секціях, 36 - повітряний акваріумний компресор, 37 - установка для гідралічних пульсацій, температурних коливань і рециркуляції суспензії з мембранними акваріумними насосами, 38 - вентилятор, 39 - тканина, 40 - трубопровід протитиску повітря, 41 - сепаратор або відстійна центрифуга для відділення біомаси, II - насоси мембранні, 42 - трубопровід рециркуляції і активації суспензії, створення м'яких гідропульсацій і температурних коливань 25-32°C;

VI - установка для вибіркової кристалогідратної екстракції жирних кислот і біопрепаратів з водоростей з поверненням водоростей неушкоджені на вирощування біомаси;

VII - допоміжний реактор: 43 - балон вуглекислоти, 44 - генератор низькочастотних імпульсів магнітного поля, 45 - установка для обробки розчину низькочастотним магнітним полем, інактивуючим паразитну мікрофлору, не пригнічуючи МКВ;

VIII - установка для очистки димових газів з поглинанням окислів сірки і азоту і перетворенням їх на азотне і сірчане живлення водоростей.

Переваги нашої установки.

1. Повсюдне використання активації, інактивації і стимуляції темпу росту водоростей (МКВ).

2. Використання вапнякового способу і процесів дефосфатації дозволяє доповнити газову сорбцію CO₂ в суперкавітаційному, кавітаційному і розпилювальному абсорбері хемосорбцією CO₂ з утворенням додаткового CO₂-живлення за рахунок утворених гідрокарбонатів.

3. Частина гідрокарбонатів в реакціях обміну переводять шкідливі для водоростей азотну і сірчану кислоти в продукти азотного і сірчаного живлення водоростей. Виключається мембранний розділ газів і скидання в атмосферу NO, NO₂, SO₂ - застосований в схемі США.

4. В схемі використано надійні і працюючі в промисловості апарати і технології.

5. Безвідхідність технології забезпечена застосуванням вибіркової кристалогідратної екстракції, яка дозволяє без знищення водоростей вилучати з них жирні кислоти і будь-які цінні цільові біокомпоненти. В той час, як у схемах США водорості подрібнюються і пресуються, отримуючи макуху і жирні кислоти і знищуючи водорості.

6. В проекті передбачається використання цілого комплексу методів стимулювання темпу росту водоростей. Використовується схрещене електричне і магнітне поле, в якому вектор магнітного поля перпендикулярний вектору електричного поля. Це поле екранує гравітацію, створює невагомисть. В невагомості водорості інтенсивно ростуть - по дослідах космонавтів. Крім того, схрещене електричне і магнітне поле створює вихори навколо клітин водоростей, ініціює вихрову мікроциркуляцію, підсилюючи дифузію живильних речовин в клітини, інтенсифікуючи зустрічну дифузію продуктів метаболізму. Генерація цього поля в нижніх частинах секцій біофотореактора у зв'язку з екрануванням гравітації буде збуджувати повздовжню циркуляцію суспензії в секціях.

7. На всіх стадіях технології використовується активована і структурована вода. Із 9-ти розроблених нами методів активації [3, 8]. вибрано кавітаційний з кавітаторами-калібраторами [1], кавітаторами-електродами [3]. Кавітатор-електрод забезпечує електропробійну кавітацію, яка одночасно проводить насичення рідини вільними електронами - електризацію, проводить озонування води, приймає участь в структуруванні. Активація води підвищує її лужність pH до 9,5-11,0 в залежності від тривалості кавітаційної дії. Це оптимальне pH для вирощування водоростей. Структурування води завершується магнітним блоком, генеруючим біжуче магнітне поле, і спіновим торсіонним поляризатором. Молекули в звичайній воді поєднані в кластери, неактивні. При структуруванні кластери руйнуються і утворюються поодинокі активні молекули, а під дією кавітації вони дисоціюють на іони H⁺ і OH⁻, становляться електроактивними. Водорості мають позитивний заряд і взаємодіють з іонами OH⁻. Структуризація води підсилюється домішкою морської структурованої води. Кластери молекул звичайної неструктурованої води не здатні активно переносити живильні речовини в клітини МКВ, вони не проходять в пори клітинних мембран. В той же час, як електрозаряджені іони активно набирають на себе живильні речовини і переносять їх в клітини МКВ.

8. Застосовується низькочастотне магнітне поле, яке інактивує мікрофлору, полегшуючи її поглинання водоростями, і в той же час створює магнітну дифузію, яка підсилює перенос в клітини живлення.

9. Використовується також електродифузія від електричної складової схрещеного електричного і магнітного поля.

10. активно застосовується повітряно-газовий барботаж в кожній висхідній секції, а також бародифузія.

11. Рециркуляція суспензії створює перемішування водоростей, що згідно з теорією рециркуляції [7] також періодично виводить частину потоку з активної зони і вводить його знову.

12. Інформаційно-хвильові дії і впливи інформаційно-хвильовими характеристиками самих водоростей на них же в аутонозодному режимі в 10-15 разів підвищують темп росту водоростей, що перевірено на наземних рослинах апаратами біорезонансної терапії.

В установці використовуються рідкі кристали гафнію і модифіковані апарати Sem-tech, які дозволяють вести перезапис спектрів випромінювань водоростей в автоматичному режимі. Подвоєння біомаси відбувається не 1 раз на добу, а через 5-6 годин, а це дає можливість знімати з 10 кг реактора 100 кг біомаси на добу.

Форсований експоненціальний режим роботи фотобіореакторної установки.

Застосування наведених перевірених досвідом методів стимулювання темпу росту біомаси водоростей переводить ФБР-установку в форсований режим роботи, який ілюструється наступним.

Якщо подвоєння біомаси доведено до циклу - через кожні 2,4 години біомаса подвоюється, то за добу буде $24/2,4=10$ подвоювань.

А загальне збільшення біомаси становитиме $2^{10}=1024$ рази.

Проте скачуватись буде при 10 подвоюваннях на добу за 1 раз лише 1/10 об'єму реактора, тому його продуктивність зменшується в 10 раз і загальне подвоєння приводить до продуктивності

$$\frac{1024}{10} = 102,4 \text{ рази}$$

більшої ніж при подвоєнні па протязі однієї доби.

Цей режим дозволяє підвищити всі параметри технологічного процесу і ще в більшому ступені стимулювати ріст водоростей.

Якщо ж подвоєння біомаси настає через 4,8 год., то за добу буде $24/4,8=5$ подвоювань (під подвоюванням розуміється період скачування при густині біомаси 5 г/л).

Загальний приріст біомаси станс в $2^5=32$ рази більше за приріст біомаси при одному подвоєнні за добу.

А оскільки за 1 раз скачується 1/5 об'єму реактора, то його продуктивність по відношенню до продуктивності повного об'єму становитиме 1/5 і

загальне подвоєння збільшиться в $\frac{32}{5} = 6,4$ рази

по відношенню до подвоєння за 1 раз на добу.

4,8-5 годин нормальний термін подвоєння біомаси для деяких штамів хлорели і спіруліни без застосування стимулюючих ріст засобів.

З цього прикладу видно вплив якості штамів на продуктивність ФБР-установки.

Порівняльні розрахунки виконано у вигляді таблиці 3.

Режими форсованого експоненціального росту водоростей.

Таблиця 3

Кількість скачувань за добу, z	16	14	12	10	8	5
Період скачування T-24/z	24/16=1,5 год.	24/14=1,7 год.	24/12=2 год.	24/10=2,4 год.	24/8=3 год.	24/5=4,8 год.
Загальний зріст біомаси по відношенню до T-24 год. скачування за добу	$2^{16}=65536$	$2^{14}=16384$	$2^{12}=4096$	$2^{10}=1024$	$2^8=256$	$2^5=32$
Збільшення продуктивності ФБР порівняно з продуктивністю при одноразовому скачуванні біомаси за добу	$65536/16=4096$ раз	$16384/14=1170$ раз	$4096/12=341$ раз	$1024/10=102,4$ рази	$256/8=32$ рази	$32/5=6,4$ раз

Зауваження. Мова тут іде не про подвоювання біомаси, а про період, коли біомаса досягає критичної густини 5 г/л перед скачуванням. Продуктивність оцінюється по критичній густині біомаси 5 г/л, при якій біомаса видаляється при кожному скачуванні.

Форсований режим роботи ФБР-установки можна представити таким чином. Наприклад, скачуємо 1/10 об'єму реактора. Скачування ведеться завжди при критичній концентрації біомаси 5 г/л.

Після скачування 1/10 об'єму реактора отримуємо концентрацію $(1-1/10) \times 5$ г/л-4,5 г/л.

Якщо ж скачати 1/2 об'єму реактора, то залишиться концентрація $1/2 \times 5$ г/л=2,5 г/л.

Для нарощування концентрації від 2,5 до 5 г/л треба буде 12 годин, а для нарощування концентрації від 4,5 до 5 г/л значно менше.

Скільки часу буде потрібно, визначається з диференційного рівняння

$$\frac{dN}{dt} = kN,$$

де N - концентрація, t - час.

Після інтегрування отримаємо

$$\ln \frac{N}{N_0} = kt, \text{ звідки}$$

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{N}{N_0},$$

де N_0 - початкова концентрація, а N - поточна.

Порівнюючи обидва режими, знаходимо k - константу швидкості росту і t - час нарощування концентрації.

Використовуючи режим скачування $1/2$ об'єму, отримуємо

$$\ell n \frac{N}{N_0} = \ell n 2; \quad t = 12 \text{ год.},$$

звідки

$$k = \frac{1}{12} \ell n 2 = \frac{0,693}{12} = 0,058.$$

Припустимо, що константа швидкості росту змінюється прямо пропорційно до різних концентрацій

$$5-4,5=0,5$$

$$5-2,5=2,5 \quad k = 0,058 \frac{2,5}{0,5} = 0,29.$$

Тоді маємо час досягнення концентрації 5г/л при скачуванні $1/10$ об'єму реактора

$$t = \frac{1}{k} \ell n \frac{N}{N_0}; \quad t = \frac{1}{0,29} \ell n \frac{5}{4,5} = \frac{1,11}{0,29} = 3,8 \text{ год.}$$

Це означає, що за добу буде $24/3,8=6,3$ скачувань $>5,0$.

По розробленій нами таблиці знаходимо, що продуктивність реактора збільшиться в

$$6,4 + \frac{32-6,4}{8-5} (6,3-5) = 11 \text{ раз.}$$

Ефект секціонування.

В ФБР-установці використовується ефект секціонування. Секціонована конструкція ФБР є однією з основних відмінних від усіх відомих ФБР-конструкцій ознак даної установки.

Секціонована конструкція ФБР полягає в тому, що труба система не являє собою неперервний змішувач з єдиним входом повітряно-газової суміші, а представляє собою набір секцій, в кожену з яких подається повітря і газ, створюється інтенсивна барботажна аерація, яка не убуває по довжині змішувача, а лишається постійною на всій протяжності трубої системи ФБР.

Таким чином, і засвоєння, і ступінь поглинання CO_2 стає постійною і рівномірною, вимірюється площею прямокутника з осями інтенсивності CO_2 -живлення і довжина, протяжність трубої системи. В той час, як у всіх змішувачевих трубних систем діаграма, інтенсивності CO_2 -живлення - протяжності представляється трикутною формою, що показує на вдвічі меншу ефективність, так як площа трикутника вдвічі менша за площу прямокутника. Згідно з теорією секціонування автора [32], ефективність секціонування визначається теоремою

- ефект секціонування, що полягає в економії енергозатрат (чи матеріалозатрат) при послідовному багатоступінчастому здійсненні процесу, властивий процесам, при проведенні яких дотримуються наступні умови:

- показник енергоємності (матеріаломісткості) визначається сумою по усіх ступенях добутку енергетичного (матеріального) показника ступеня на ємнісний показник;

- енергетичні (матеріальні) і ємнісні показники обмежені кінцевими параметрами готового продукту,

що визначає постійність суми показників ємносних і енергетичних показників усіх ступенів;

- умови зв'язку між параметрами показника енергоємності (матеріаломісткості) визначаються певним фундаментальним законом, що враховує рушійну силу процесу;

- рівні енергетичних (матеріальних) показників ступенів пов'язані співвідношеннями рівності нижчого рівня попереднього ступеня вищому рівню наступного ступеня" [32].

Ця теорема доведена автором на прикладах процесів багатоступеневого випарювання, пресування, сушіння. Вона може бути використана для створення методики розрахунку секційованого ФБР.

Переваги нашої фотобіореакторної установки і технології порівняно з американською 5-го покоління компанії Carbon Sciences (штат Санта-Барбара).

1. Повсюдне використання методів активації, інактивації МО, стерилізації живильного середовища, методів стимулювання темнів росту водоростей.

2. Виключення розділення димових газів на стадії газової фази з виділенням CO_2 і скиданням оксидів азоту N_2O , NO , NO_2 і двооксиду сірки SO_2 знову в атмосферу, що застосовується в американській установці. Це пов'язано з тим, що оксиди азоту і двооксид сірки утворюють з водою азотну і сірчану кислоти, що знищують водорості. Замість цього в нашій установці використовується апаратура дефекосатурації бурякоцукрових заводів, яка дозволяє повністю споживати всі компоненти димових газів, включаючи і оксиди азоту і сірки, і перетворювати їх у азотне і сірчане живлення для водоростей.

3. Використання вапнякового способу дефекосатурації бурякоцукрового виробництва дозволяє доповнити газову сорбцію CO_2 в кавітаційних, сусперкавітаційних і розпилювальних абсорберах хімосорбції CO_2 з утворенням додаткового CO_2 -живлення за рахунок утворених гідрокарбонатів.

4. Частина утворених гідрокарбонатів за реакцією $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 = \text{Ca(HCO}_3)_2$ на дефекосатурації вступає в реакцію обміну з азотними і сірчаною кислотами (HNO_3 , H_2NO_4 , H_2SO_4) і переводять шкідливі для водоростей азотні і сірчані кислоти в продукти сірчаного (CaSO_4) і азотного ($\text{Ca(HNO}_3)_2$) живлення водоростей.

Виключається мембранне розділення газів і скид в атмосферу оксидів азоту і сірки, застосовані в американській установці.

5. В розробленій фотобіореакторній установці використовуються надійні і працюючі в цукровій промисловості апарати.

6. Безвідходність розробленої технології, яка реалізується установкою, забезпечена застосуванням вибіркової кристалогідратної екстракції, яка дозволяє без знищення водоростей подрібненням і пресуванням вилучати з них жирні кислоти і будь-які лікарські засоби і цінні біопрепарати. При цьому водорості лишаються цілими і неушкодженими, повертаються в цикл для нарощування біомаси і виводяться як товарний продукт високої цінності і біологічної і енергетичної активності. В

той час, як в американській установці водорості подрібнюються, пресуються, отримується жимх і жирні кислоти, а самі водорості знищуються.

7. В нашій установці передбачається використання цілого комплексу методів стимулювання темпу росту водоростей і його приладове і апаратне забезпечення.

Використовується схрещене електричне і магнітне поле, в якому вектор напруженості магнітного поля перпендикулярний до вектора напруженості електричного поля. Це поле, за нашими дослідями [28], екранує гравітаційне поле, створюється невагомість, виникає завислий стан клітин водоростей в суспензії і посилена мікро- і макроциркуляція рідинного середовища.

В невагомості мікрowodорості інтенсивно ростуть - по дослідів космонавтів у космосі.

Крім того схрещене електричне і магнітне поле утворює мікрвовихори навколо клітин водоростей, ініціює вихрову мікроциркуляцію, яка посилює дифузію живильних речовин в клітини МКВ, інтенсифікує зустрічну дифузію продуктів метаболізму.

Генерація схрещеного поля в нижніх частинах секцій ФБР і екранування гравітації будуть породжувати повздовжню циркуляцію суспензії в трубчатій системі ФБР.

8. На всіх стадіях технологічного процесу використовується активована і структурована вода. Активація води може проводитись 9-ма розробленими нами методами [24, 29]. Вибрано кавітаційний метод [22] з кавітаторами-калібраторами [22, 24], кавітаторами-електродами [24]. Кавітатор-електрод забезпечує електропробійну кавітацію, яка одночасно нагріває рідину, проводить насичення рідини вільними електронами, тобто здійснює електризацію рідини і її стерилізацію, проводить озонування води, бере участь в структуруванні.

Активація води підвищує її лужність рН до 9,5-11,0 в залежності від тривалості кавітаційної дії. Це оптимальна рН для вирощування водоростей.

Структурування води завершується магнітним блоком, який генерує біжуче магнітне поле, і спіновим торсійним поляризатором конструкції автора.

Молекули в звичайній воді поєднані в кластери, неактивні. При структуруванні води кластери, що поєднують десятки і сотні молекул, руйнуються і утворюються поодинокі активні молекули, а під дією кавітації дисоціюються, розпадаються на іони H^+ і OH^- . Структурування (структуризація) води підсилюється домішкою морської структурованої води і розчину марганцю ($KMnO_4$), стимулюючого ріст водоростей за даними Hopkins'a в десятки разів при домішці марганцю 0,2 мг на 1 літр розчину.

Кластери молекул звичайної неструктурованої води не здатні переносити живильні речовини в клітини МКВ, ускладнюється їх прохід через пори клітинних мембран.

В той час як електрозаряджені іони активно набирають на себе живильні речовини і переносять їх в клітини МКВ.

9. Застосовується низькочастотне імпульсне магнітне поле, яке інактивує паразитуючу мікрофлору і полегшує її поглинання водоростями.

Це ж низькочастотне поле в той же час створює і породжує магнітну дифузію, яка підсилює перенос живильних речовин в клітини МКВ.

10. Використовується також електродифузія від електричної складової схрещеного електромагнітного поля і від електропробійної кавітації, яка викликає електризацію розчину.

11. Активно застосовується повітряно-газовий барботаж у підйомній трубі кожної секції.

При цьому із суспензії в верхній частині кожної підйомної труби видаляється надлишковий кисень і гази через запобіжні клапани, виникає бародифузія.

12. Застосована секційність конструкції ФБР замість змійовикової форми трубої системи дозволила використати інтенсивну аерацію, інтенсивне перемішування суспензії.

13. Інтенсифікація перемішування суспензії, її циркуляції і рециркуляції, а також конвективної дифузії в клітини МКВ виконується гідропульсатором плунжерного або поршневого типу.

14. Рециркуляція суспензії в рециркуляційному тракті, який з'єднує першу підйомну і останню опускную труби ФБР, здійснюється без насоса, під дією різниці напорів в підйомних трубах, заповнених повітряно-рідинною сумішшю, і опускних трубах, заповнених лише рідиною, згідно з теорією рециркуляції [28], прискорює нарощування біомаси, вводячи на вхід реактора більш концентровану суспензію за кожним циклом рециркуляції.

15. Завдяки рециркуляції вводиться форсований експоненціальний режим, який забезпечує при періодичному вивантаженні $1/10$ частини об'єму реактора через кожні 2,5 години процесу росту здвоєння біомаси протягом доби в $2^{10}=1024$ рази при продуктивності реактора в $1/10$ об'єму, що дозволяє збільшити темп росту в $1024/10=100$ раз.

Такий темп росту забезпечується всіма методами стимуляції росту і в свою чергу дозволяє підвищити рівень всіх показників, стимулюючих ріст МКВ до максимуму: лужність рН до 9,5-11,0, температура до $40-45^{\circ}C$, освітленість до 100 Вт/м^2 площі світло прийому, CO_2 -живлення до 1,8 кг на 1кг біомаси. Останнє забезпечується також введенням CO_2 -живлення по 6-ти каналах.

16. Інформаційно-хвильова дія і вплив інформаційно-хвильовими характеристиками самих МКВ на них же в аутонозодному режимі в 10-15 раз збільшують темп росту водоростей, що нами експериментально перевірено на наземних рослинах апаратами БРТ- біорезонансної терапії.

В нашій фотобіореакторній установці використовуються рідкі рідинні кристали гафнію і модифікована апаратура SEM-TECII, яка дозволяє вести перезапис спектрів випромінювання водоростей в автоматичному режимі.

Одночасно записуються і всі спектри паразитарної мікрофлори, яка при цьому подавляється.

Ці процеси розглянуті автором в роботі [30].

Джерела інформації:.

1. Патент РФ на изобретение № 2292389. Бюл. №3, 2007//Ефимова М.В., Кузякина Т.Н., Ефимов А.А.

2. <http://alliucl.ru/c2497.html> Биоводород: возможное использование водорослей и бактерий для получения молекулярного водорода.

3. Грифонов В.Ю. Использование дымовых газов, образующихся в процессе термической переработки твердых бытовых отходов, для выращивания микроводоросли *Spirulina platensis*. "Обращение с отходами", НПФ "Промбиотехника", Мариуполь, Донецкая обл., Украина.

4. <http://www.ras.lv/rest/algae.htm> Модернизация системы для выращивания микроводорослей.

5. <http://www.ahercade.ru/research/analysis/2519.html> Производство биодизельного топлива из масла микроводорослей. Семенов В.Г. ПТУ "Харьковский политехнический институт" совместно с ООО "Биодизель-Днепр".

6. Барашков Т.К. Сравнительная биохимия водорослей. М.: Пищев. пром-ть, 1972, 336 с.

7. Герасименко Л.М., Ушатинская Г.Т.//Бактериальная палеонтология. М: ПИН-РАН, 2002, С. 36.

8. Грачева И.М., Иванова Л.А., Каптере В.М. Технология микробных белковых препаратов, аминокислот и биоэнергия. М.: Колос, 1992, 375 с.

9. Мережко А.Н.// "Цветение" воды. Киев: АН УССР, 1968, вып.1, с. 187.

10. Мережко А.Н.// "Цветение" воды. Киев: АН УССР, 1969, вып. 2, с.63.

11. Орлеанский В.К.// Бактериальная палеонтология. М.: ПИН-РАН, 2002, с. 47.

12. Попова Т.Е. Развитие биотехнологии в СССР. М.: Наука, 1988, 200 с.

13. Практикум по микробиологии/Ред. Нетрусов А.И. М.: ИЦ "Академия", 2005, 608 с.

14. Ржетовский Р.//Непрерывное культивирование микроорганизмов. Теоретические и методологические основы. М.: Пищев. пром-ть, 1968, с. 359.

15. Сассон А. Биотехнология: свершения и надежды. М.: Мир, 1987, 416 с.

16. Ефимов М.В. и др. Сине-зеленые водоросли (цианобактерии) поверхностных термопроявлений Камчатки. "Современные проблемы науки и образования" Российской Академия естествознания, № 6, 2007 год.

17. Топливо из углекислого газа. "Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт". Компания "Carbon Scienses", Сапта-Барбара (США).

18.

<http://webcache.googleusercontent.com/search> До-

полнительная линия переработки органики при утилизации углекислого газа.

19. Патент РФ RU2033426. Штамм *MIKROMONOSPORA PURPURA* (пурпурные микроводоросли) и способ получения гентамицина.//Бартошевич Ю.Э. и др./20.04.95., Бюлл. №11//Заявитель: Всесоюзный научно-исследовательский институт антибиотиков.

20. А.с. СССР № 828459. Поливалентная вакцина ВЕНКИ и способ ее получения//23.01.83, Бюлл. № 3//Всесоюзный государственный научный контрольный институт ветеринарии/ Малахов Ю.А. и др.

21. А.с. СССР № 784878. Способ получения защитного соматического антигена коринебактерий/ВНИИ эпидемиологии и микробиологии//Биргер М.О./07.12.80, Бюлл. № 45.

22. Федоткин И.М., Шаповалюк Н.И. Процессы и аппараты спиртовой промышленности. К.: Химджест, 1999 г., 487 с.

23. Федоткин И.М., Боровский В.В. Математическое моделирование технологических процессов методом аналогизации. Винница, 2002-353 с.

24. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология. Часть 1. К.: Полиграфкпига, 1998, 890 с.

25. Гулый И.С., Федоткин И.М., Боровский В.В. Интенсификация процессов смешения, диспергирования и гомогенизации гидродинамической кавитацией. К.: "Арктур-А", 1999-240 с.

26. Федоткин И.М., Жарик Б.Ы. Интенсификация технологических процессов пищевых производств. К.: Техника, 1984.-174 с.

27. Федоткин И.М., Шаповалюк Н.И. Производство углекислотных и водно-спиртовых растительных экстрактов. К.: Химджест, 2001.-284 с.

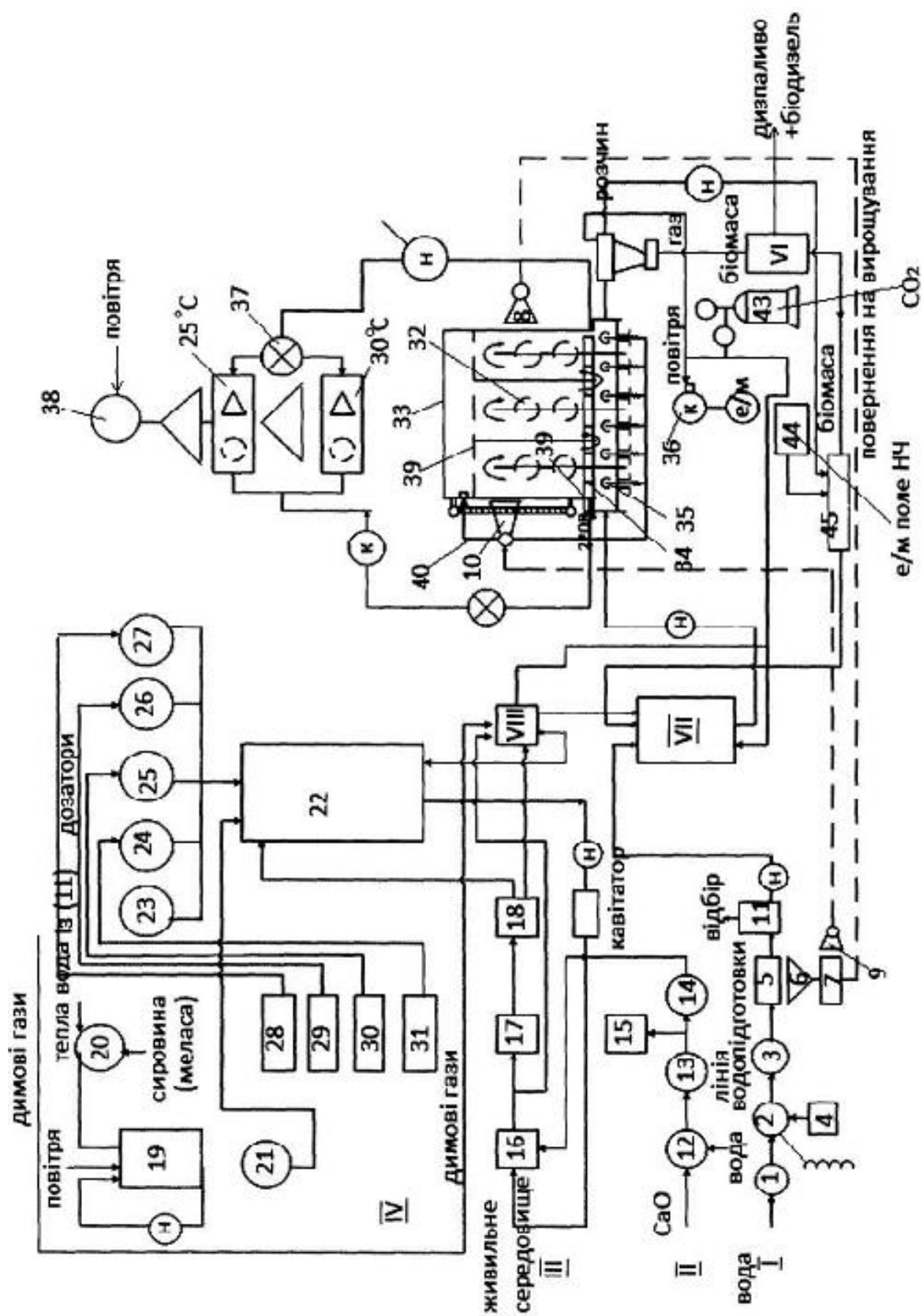
28. Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов. Киев: "Вища школа", 1979 г.-342 С.

29. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология. Часть 2. К.: АО "ОКО", 2002, 892 с.

30. Федоткин И.М. Заметки по теории информационно-волновой медицины. К.: Химджест, 2002, 68 с.

31. Федоткин И.М., Банашек В.Э. Экспериментальные и теоретические основы фторалкановой кристаллогидратной технологии. Кишинев: "Штиинца", 1985, 212 с.

32. Федоткин И.М. Физико-математические основы интенсификации процессов и аппаратов пищевой и химической технологии. Кишинев: "Штиинца", 1988-250 с.



Фіг. 1

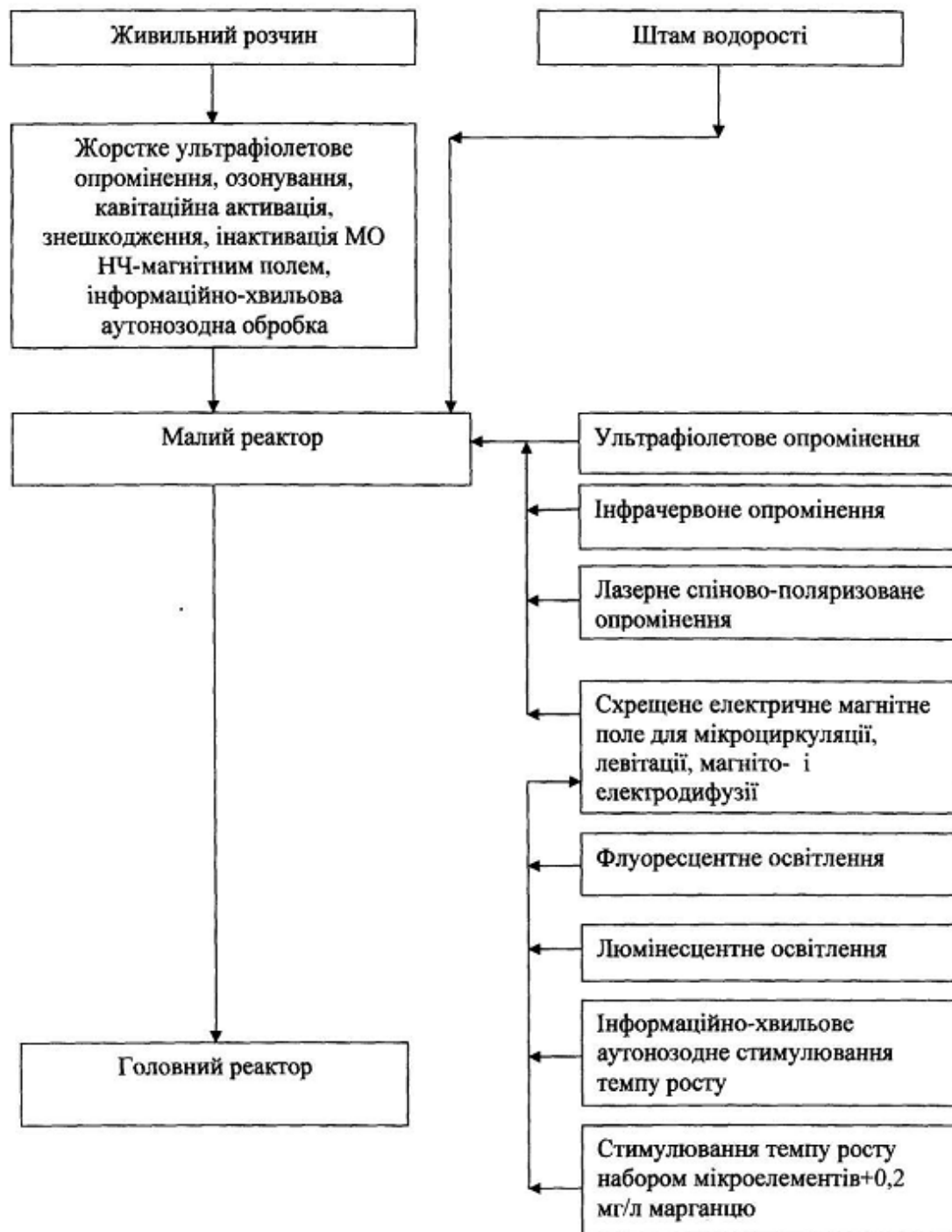


Fig. 2

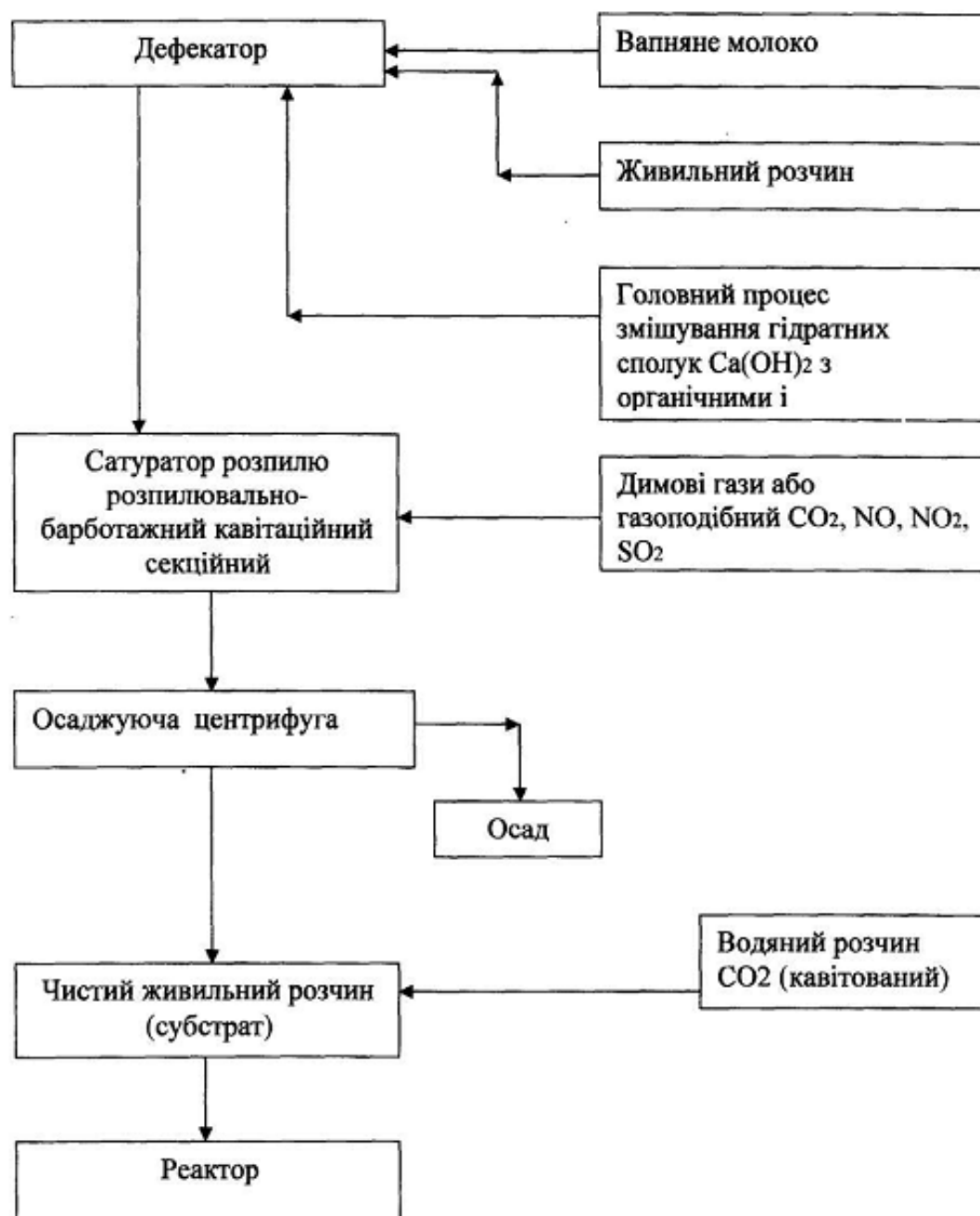
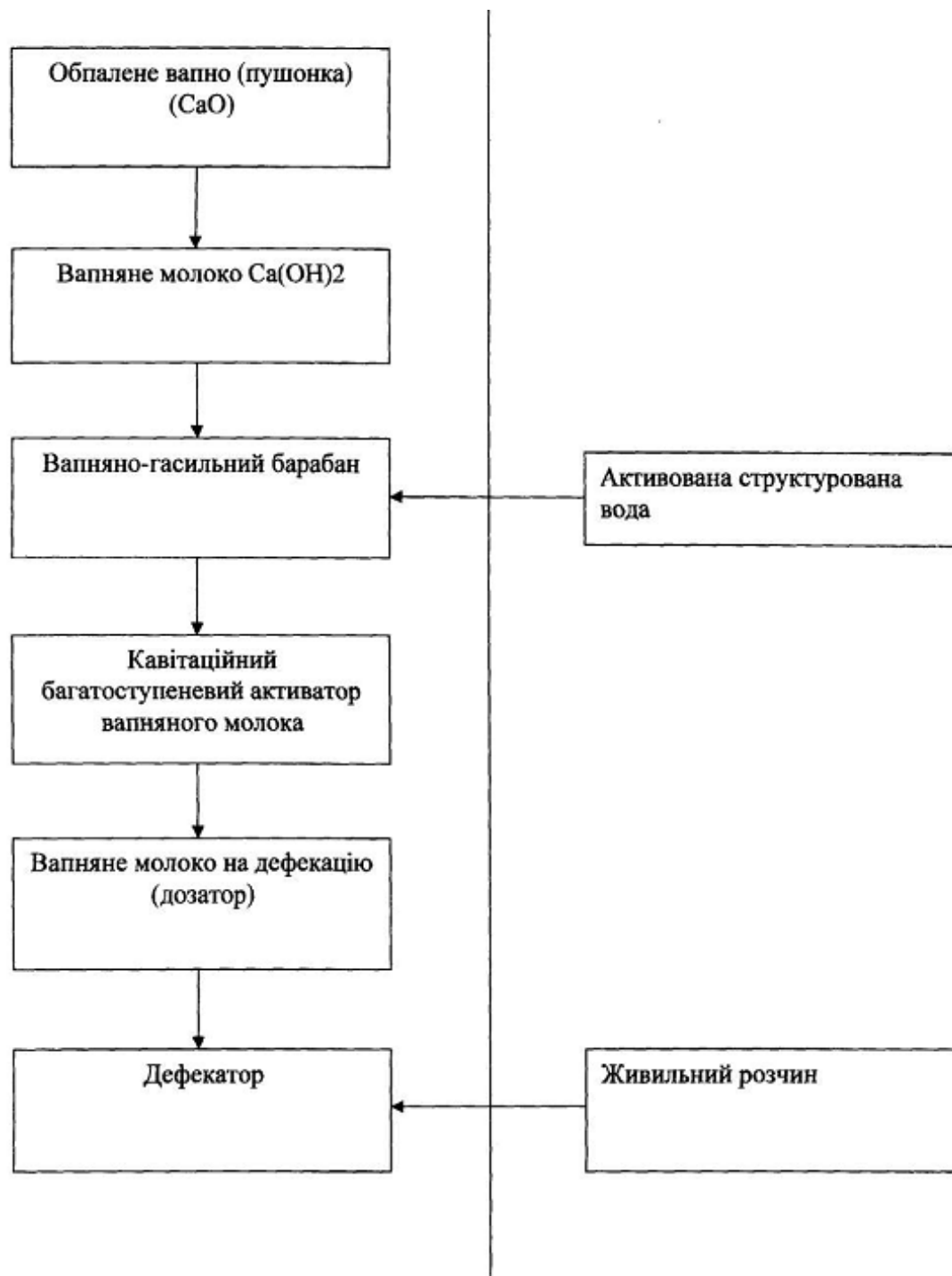


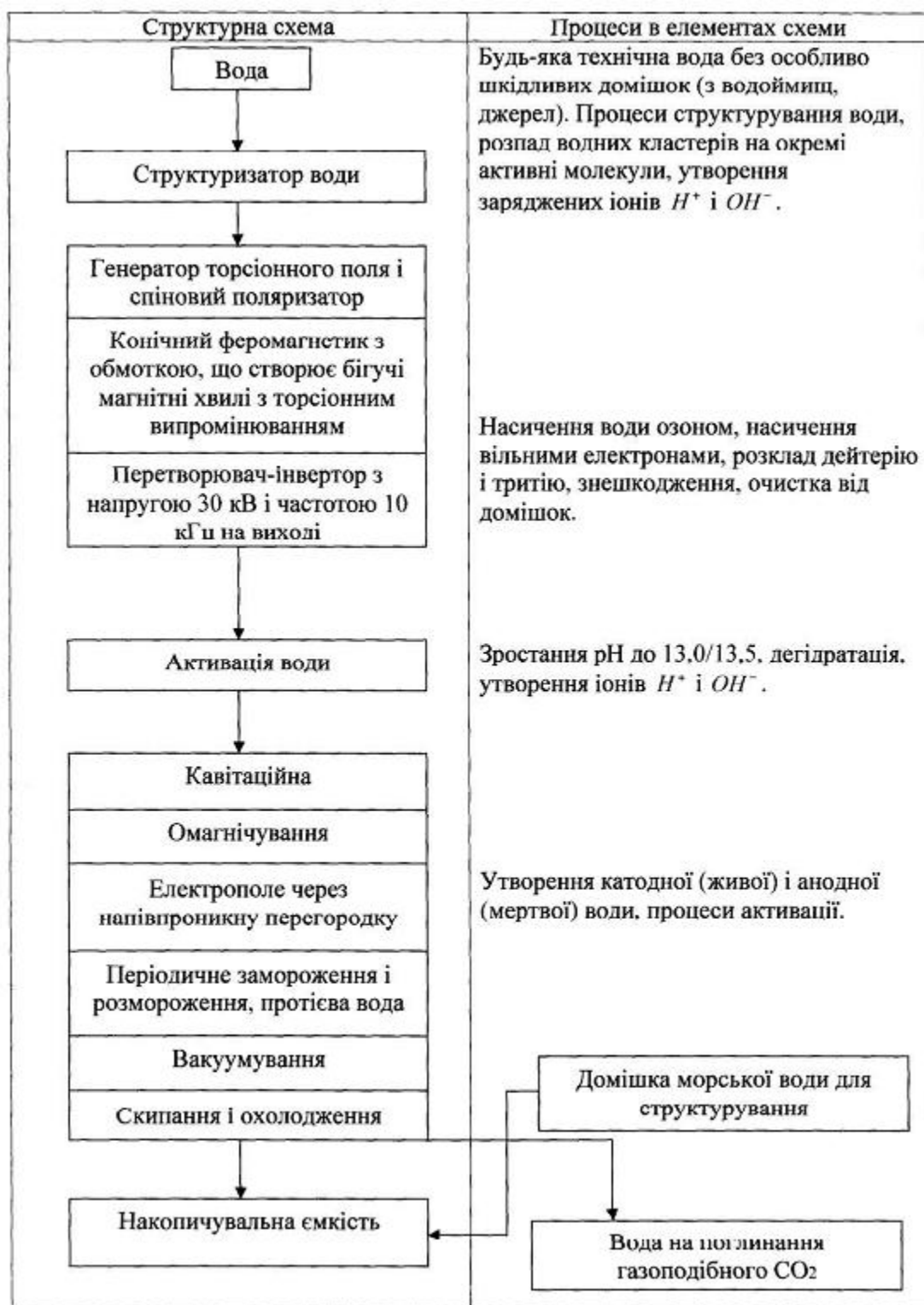
Fig. 3



Фіг. 4



Фіг. 5



Фіг. 6

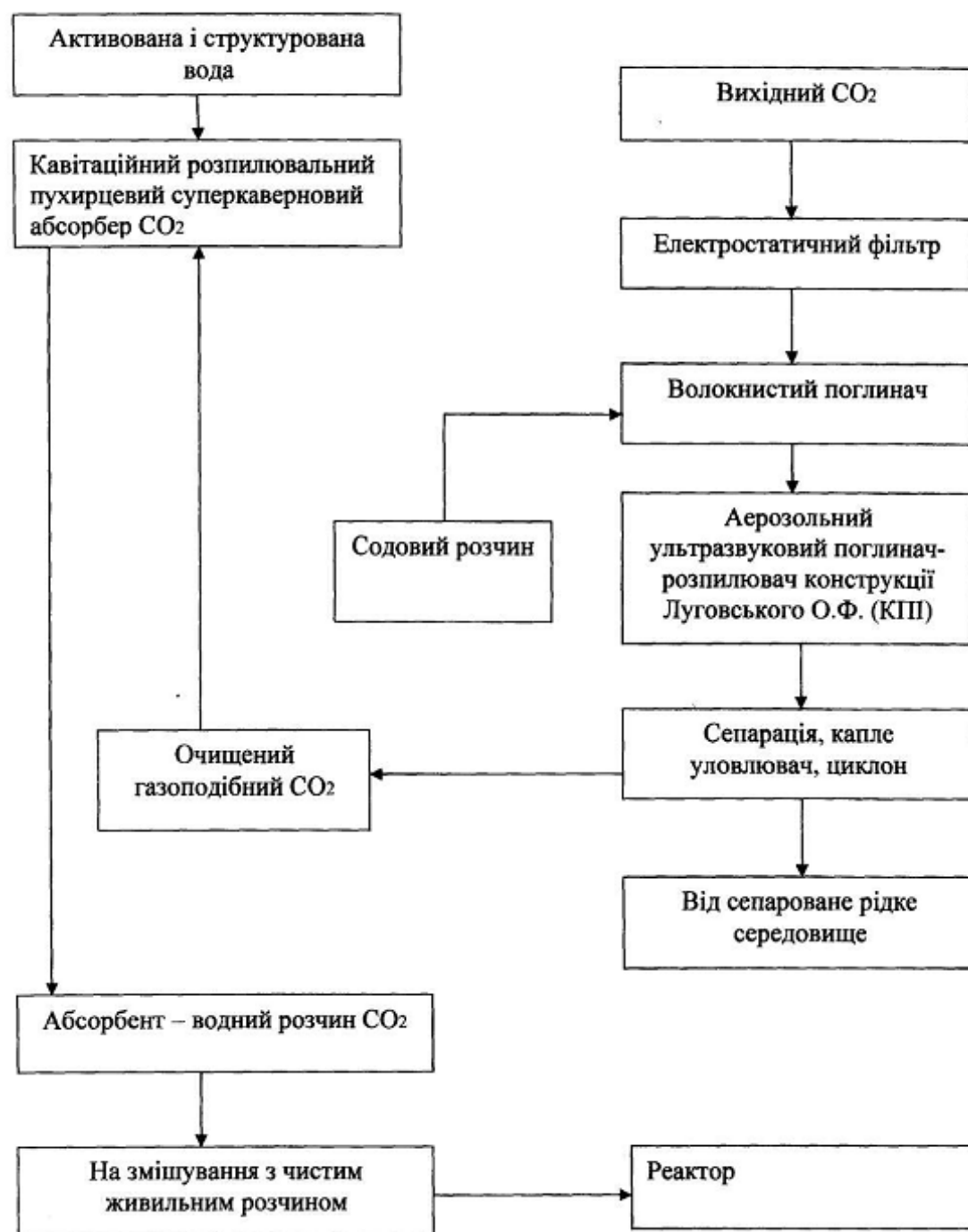
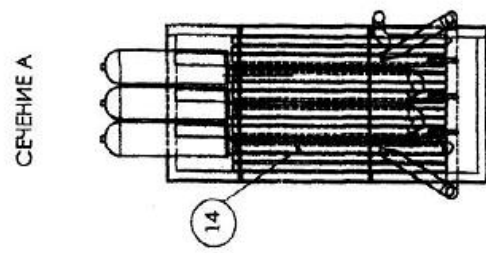
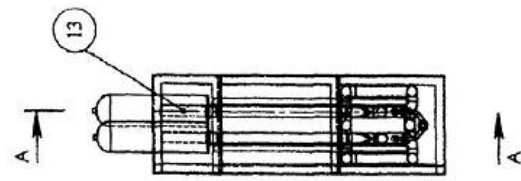


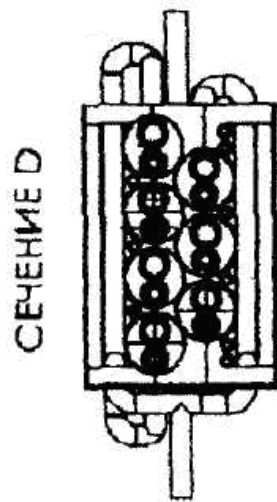
Fig. 7



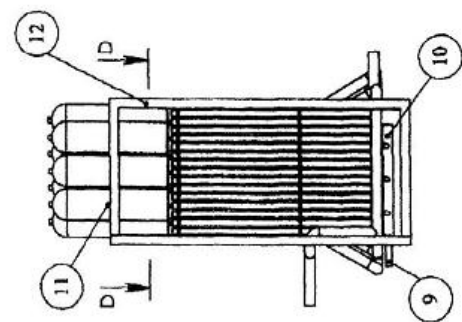
Фиг. 8



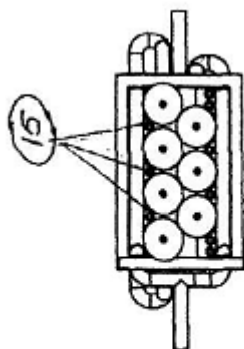
Фиг. 9



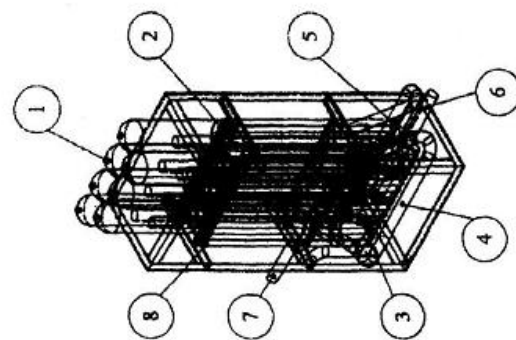
Фиг. 10



Фиг. 11



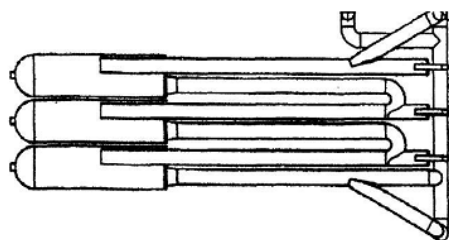
Фиг. 12



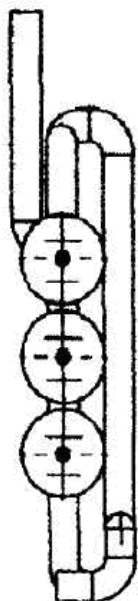
Фиг. 13

65

СЕЧЕНИЕ А-А
МАСШТАБ 1:1,5



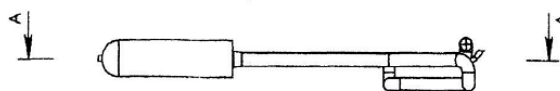
Фиг. 14



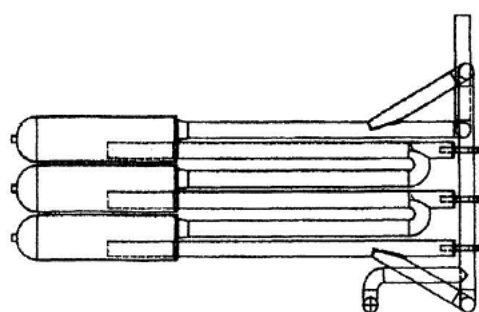
Фиг. 16

63746

66



Фиг. 15



Фиг. 17

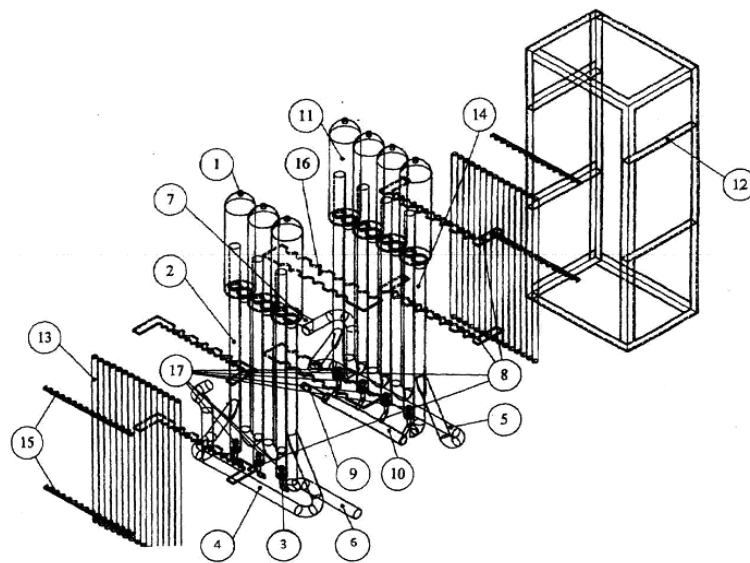


Fig. 18

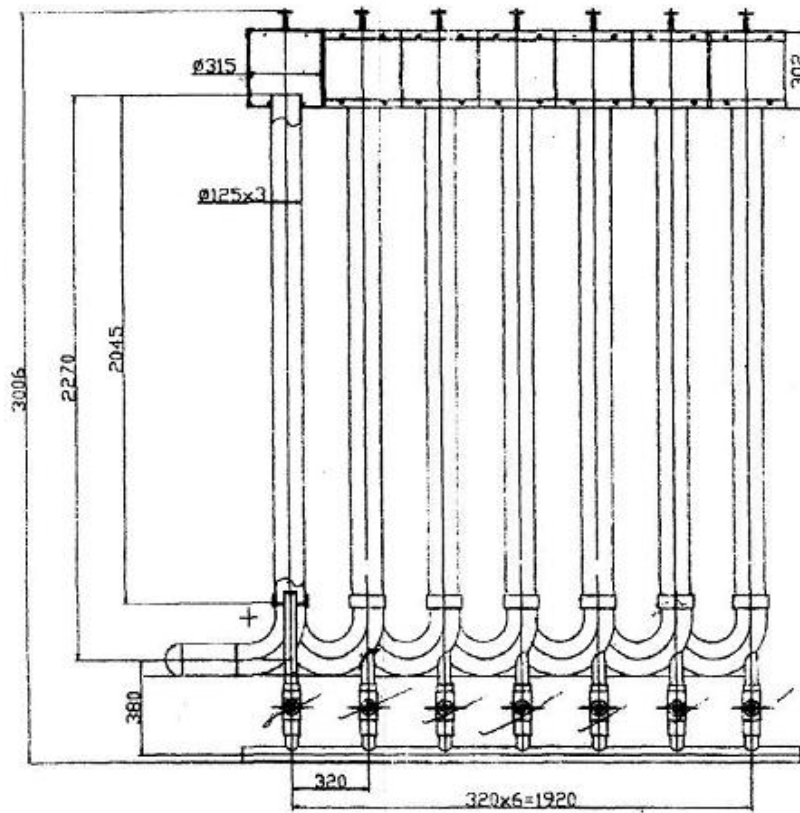


Fig. 19

