

Отримання енергоносіїв з відходів виробництва біодизельного палива, промислових стоків, мікроводорості *Chlorella vulgaris* та відходів її культивування

Получение энергоносителей из отходов производства биодизельного топлива, промышленных стоков, микроводоросли *Chlorella vulgaris* и отходов ее культивирования

Obtaining of energy carriers from biodiesel waste, industrial waste water, microalgae *Chlorella vulgaris* and waste of its cultivation

1. Номер державної реєстрації теми - 0115U000399.

2. Науковий керівник - д.х.н., проф. Кузьмінський Є.В., Кузьминский Е.В., Kuzminskiy Ye. V.

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.)

Обґрунтовано науково-технологічні основи конверсії відновлювальної сировини в біоводень та біометан, визначено умови підвищення швидкості процесу конверсії відновлюваної сировини та продукування енергоносія при розділенні ферментативного процесу на дві стадії. Визначено раціональні технологічні параметри стадій, що дає змогу формувати високоефективні асоціації мікроорганізмів, які здатні забезпечити максимальну швидкість процесу конверсії сировини різного походження і скоротити вдвічі його тривалість. Встановлено раціональні технологічні параметри процесу одержання біоводню (біометану), що дає змогу вдвічі підвищити вихід енергоносіїв та збільшити концентрацію енергоносія у газовій фазі на 5 – 10%.

Досліджено закономірності процесу та обґрунтовано раціональні технологічні параметри фотоміксотрофного вирощування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* для одержання біодизельного палива за використання екстракту з пташиного посліду, що дозволило встановити раціональне співвідношення неорганічного та органічного джерела карбону, зменшити енерговитрати на освітлення, підвищити вихід біодизельного палива та енергетичну ефективність процесу.

На основі розробленого методу формування електроактивної біоплівки на аноді мікробного паливного елемента (МПЕ) доведена можливість отримання електричної енергії у МПЕ і встановлено раціональні параметри процесу.

(рос.)

Обоснованно научно-технологические основы конверсии возобновляемого сырья в биоводород и биометан, определены условия повышения скорости процесса конверсии возобновляемого сырья и выработки энергоносителя при разделении ферментативного процесса на две стадии. Определены рациональные технологические параметры стадий, которые позволяют формировать высокоэффективные ассоциации микроорганизмов, которые способны обеспечить максимальную скорость процесса конверсии сырья различного происхождения и сократить вдвое его продолжительность. Установлено рациональные технологические параметры процесса получения биоводорода (биометана), что позволяет вдвое повысить выход энергоносителей и увеличить концентрацию энергоносителя в газовой фазе на 5 - 10%.

Исследованы закономерности процесса и обоснованно рациональные технологические параметры фотоміксотрофного выращивания микроводорослей *Chlorella vulgaris* для получения биодизельного топлива при использовании экстракта из птичьего помета, что позволило установить рациональное соотношение неорганического и

органического источника углерода, уменьшить энергозатраты на освещение, повысить выход биодизеля и энергетическую эффективность процесса.

На основании разработанного метода формирования электроактивной биопленки на аноде микробного топливного элемента (МТЭ) доказана возможность получения электрической энергии в МТЭ и установлено рациональные параметры процесса.

(англ.)

Scientific and technological bases of renewable raw materials conversion in biohydrogen and biomethane were grounded; conditions of increasing of renewable raw materials conversion rate and energy production in the enzymatic separation process into two stages were defined. Rational technological parameters stages were determined. This allows forming highly effective microorganisms associations that are able to maximize the rate of different raw materials conversion and halve its duration. Rational technological parameters of biohydrogen (biomethane) obtaining were defined. This allows increasing energy output twice and increasing the concentration of energy carrier in the gas phase to 5 - 10%.

The patterns of process were researched and the rational technological parameters of *Chlorella vulgaris* microalgae cultivation for biodiesel production using extract from poultry manure were provided, which allowed to define a ratio of inorganic and organic sources of carbon, reduce energy consumption for lighting, increase the yield of biodiesel fuel and energy efficiency of process.

Based on the proposed method of electroactive anode biofilm forming in microbial fuel cell (MFC) demonstrated the possibility of electricity production in MFC and set rational process parameters.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент на винахід № 110770 (UA), C12N1/12, C12M1/42, C12R1/89. Спосіб культивування мікрободоростей *Chlorella vulgaris* / Голуб Н.Б. (UA), Левтун І.І. (UA) - Заявка № a201509805, 09.10.2015; Оп. 10.02.2016 р.
2. Патент України № 100385. Біофлокулятор-флотатор / Россінський В. М., Саблій Л. А., Россінський Р. М., дата подання заявки 23.01.2015. Опубліковано 27.07.2015, бюл. № 14.
3. Патент України № 100343. Електрохімічний реактор для очищення стічних вод / Россінський В. М., Россінський Р. М., дата подання заявки 06.01.2015. Опубліковано 27.07.2015, бюл. № 14.
4. Патент України № 99624. Біореактор для очищення стічних вод від сполук фосфору / Россінський В. М., Саблій Л. А., Россінський Р. М., дата подання заявки 23.01.2015. Опубліковано 10.06.2015, бюл. № 11.
5. Патент України № 99592. Відстійник із тонкошаровими полицями для очищення стічних вод / Россінський В. М., Россінський Р. М., дата подання заявки 06.01.2015. Опубліковано 10.06.2015, бюл. № 11.
6. Позитивне рішення про видачу Патенту України на винахід. Спосіб біологічного очищення стічних вод від поверхнево-активних речовин / Россінський В. М., Саблій Л. А., Жукова В. С., Россінський Р. М., Дата подання заявки 19.10.2015. Заявка a201509538. Реєстраційний № 19803/ЗА/16 від 22.09.2016.
7. Патент України на корисну модель № 102108, МПК C02F 3/34. Спосіб біологічного очищення оборотних вод рибницьких господарств індустріального типу / Кононцев С.В., Саблій Л. А., Гроховська Ю.Р., Жукова В.С.: заявл. 22.05.15; опубл. 12.10.15, Бюл. №19.
8. Патент України на корисну модель № 105121, МПК C02F 3/34. Біореактор для очищення оборотних вод рибницьких господарств від біогенних елементів / Кононцев С. В.; Саблій Л. А.; Гроховська Ю. Р.; Жукова В. С.: заявл. 22.07.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. №5.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Напрацьована біотехнологія культивування мікроводорості *Chlorella vulgaris* немає аналогів у світі, адже вперше встановлено синергійний вплив хімічних (джерело нітрогену) та фізичних (ультразвукове опромінення, освітлення) факторів на вміст та якість ліпідів, які накопичує мікроводорості. Запропонована методика культивування на аноді біоплівки екзоелектрогенних мікроорганізмів, виділених з природних і штучних джерел, та розроблена конструкція проточного МПЕ є новою для України та відповідає світовому рівню.

6. Економічна привабливість для просування на ринок (вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники).

- Визначені раціональні параметри біотехнологічного процесу культивування мікроводорості *Chlorella vulgaris* дозволяють підвищити вміст ліпідної фракції у клітинах до 55% без зниження приросту біомаси, що дає змогу їх використання як сировини для отримання біодизельного палива. Одночасно відбувається утворення високоякісного добрива.
- Розрахована вартість біодизеля, отриманого за запропонованою технологією, становить 14,5 грн/дм³, в той час як ринкова ціна біодизеля, отриманого традиційним шляхом, становить 22 грн/дм³.
- На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено та запропоновано використовувати в системі анаеробно-аеробного очищення стічних вод біотехнологічний спосіб отримання електричної енергії за використання асоціації хемоорганотрофних мікроорганізмів. Це дасть змогу отримувати екологічно чисту електричну енергію, потужністю 0,34÷0,46 кВт/кг ХСК з низькими енергетичними витратами.
- Розраховано собівартість вдосконалення очисних споруд, яка складає 900 тис. грн., що підвищує собівартість очищення стічних вод на 2,6 грн/м³. При цьому за використання МПЕ-біореактора в перерахунку на глюкозу можливе генерування в кількості 3 кВт/кг, з яких 1 кВт – електрична енергія, а 2 кВт – тепла енергія біогазу.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).

Результати дослідження комплексної конверсії відходів та біосировини можуть застосовуватись у системах очищення стічних вод та переробки газових викидів підприємств харчової та легкої промисловості, в сільському господарстві, де слугуватимуть для скорочення витрат на енергію та енергоносії, що необхідні для перебігу технологічних процесів, а також при підготовці кадрів вищої кваліфікації та у навчальному процесі при підготовці фахівців зі спеціальності 162 Біотехнології і біоінженерія.

8. Стан готовності розробки (лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження).

Розроблені та виготовлені лабораторні установки, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо запуску виробничо-експериментальних установок для анаеробно-аеробного очищення стічних вод від сполук біогенних елементів та для культивування мікроводорості *Chlorella vulgaris* на газових викидах. Можлива розробка дослідно-промислових фотобіореакторів, які повністю адаптовані до існуючого основного обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

1. Рекомендації щодо будівництва очисних споруд біологічного очищення смт Млинів, Млинівського району Рівненської області (від 10.09.15 р.) - для ДП «ОКТАН».

2. Акт впровадження технології біологічного очищення стічних вод з глибоким видаленням сполук азоту і фосфору в проекті будівництва та реконструкції каналізаційних очисних споруд м. Дубно Рівненської області (16.06.15 р.).

3. Акт впровадження технології біологічного очищення стічних вод з глибоким видаленням сполук азоту і фосфору, поверхнево-активних речовин в проекті будівництва та реконструкції очисних споруд заводу харчових напівфабрикатів ТзОВ «Країна смаку» с. Бугрин Рівненської області (09 червня 2015 р.).

4. Рекомендації щодо реконструкції каналізаційних очисних споруд смт Шацьк Волинської області (08.09.15р) - для ДП «ОКТАН».

5. Рекомендації щодо проектування та будівництва очисних споруд кондитерської фабрики ПП «Аметист-плюс», Рівненської області (17.01.2016р.) - для ДП «ОКТАН».

6. Акт впровадження технології біологічного очищення стічних вод кондитерської фабрики в проекті будівництва очисних споруд кондитерської фабрики ПП «Аметист-плюс», м. Дубно Рівненської області (17.01.2016р.).

7. Розроблену технологію культивування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* апробовано на підприємстві ТОВ «Авангард», Черкаська область, Жашківський район, що підтверджено відповідними актами.

8. Наукові результати роботи впроваджено у навчальному процесі спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» спеціалізації «Екологічна біотехнологія та біоенергетика» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

9. Результати проведених досліджень впроваджено в навчальний процес підготовки фахівців напряму 051401 «Біотехнологія» за програмою професійного спрямування 05140105 «Екологічна біотехнологія та біоенергетика» в дисциплінах: «Біотехнології очистки води», «Гідробіологія», «Екологія», «Біоенергетика», «Відновлювальна енергетика».

10. Форма участі інвестора (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті%, частка від прибутку%, інше)

Частка в проекті 50%

11. Обсяг інвестицій (необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США).

1 млн дол. США

12. Мета інвестицій (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

Створення нового підприємства

13. Назва підрозділу, телефон, e-mail

НТУУ «КПІ», факультет біотехнології і біотехніки,

кафедра екобіотехнології та біоенергетики,

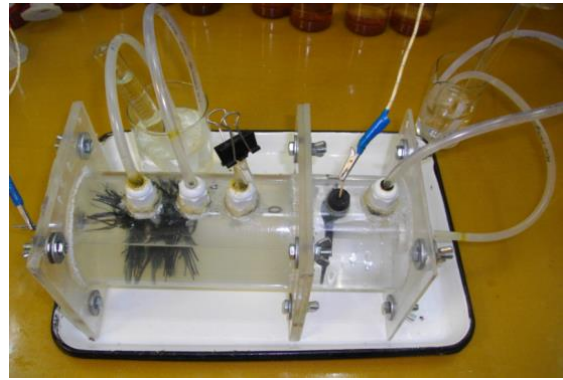
тел./факс: +38 044 204 97 79

e-mail: ecobt@ukr.net

14. Фото або декілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (рекламного характеру).



Лабораторна установка для культивування мікроводоростей



Лабораторна установка для біоелектрохімічного продукування водню

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (вагом): (монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації).

Підручники:

Саблій Л. А., Бунчак О. М., Жукова В. С., Россінський В. М. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці. Підручник. / Під ред. Л. А. Саблій. – Рівне : НУВГП, 2016. – 356 с.

Дисертації:

1. Голуб Н.Б. Науково-технологічні основи конверсії відновлювальної сировини в біоводень, біометан та біодизель : автореф. дис ... д-ра техн. наук: 03.00.20 / Голуб Н.Б. . – Київ : Б.в., 2015 . – 43 с. (наук. конс. д.х.н., проф. Кузьмінський Є.В.).
2. Бляшина М. В. Анаеробно-аеробне очищення міських стічних вод з використанням волокнистого носія : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.21 / М. В. Бляшина; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". - Київ, 2015. - 20 с. (наук. кер-к. проф. Саблій Л. А.).
3. Самаруха І. А. Біотехнологічне отримання електричної енергії за використання асоціації хемоорганотрофних мікроорганізмів: автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 03.00.20 – біотехнологія / Ірина Анатоліївна Самаруха. - Київ, 2016. - 28 с. (наук. кер-к. д.х.н., проф. Кузьмінський Є.В.).

Прийнято до захисту:

4. Кандидатську дисертацію Левтуна І.І. на тему: «Біотехнологія культивування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* з підвищеним вмістом ліпідів» на здобуття наукового ступеня к.т.н. за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія (наук. кер-к. д.т.н. Голуб Н.Б.). Дисертацію прийнято до Спеціалізованої вченої ради Д 26.002.28).

Статті:

що входять до наукометричних баз

1. Levtun I.I. Impact of sound irradiation on *Chlorella vulgaris* cell metabolism / N.B. Golub, I.I. Levtun // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2016. – vol. 80. – № 2. – P. 27–31. (Scopus)
2. Golub N, Kozlovets A., Voevoda D. Technology of anaerobic-aerobic treatment wastewaters from nitrogen compounds after biogas production / Eastern european journal of enterprise technologies. - 2016. V.10. №.3. - P. 35-40 (Scopus та ін.)
3. Россінський В. М. Енергозберігаючі технології біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод // Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 7. Відповідальний редактор П. М. Куліков. – К. : КНУБА, 2015. – С. 269-273. (фахове видання, включено до наукометричних баз даних Google Scholar, Наукова періодика України (Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського))
4. Россінський В. М. Інтенсифікація біологічного очищення стічних вод, що містять поверхнево-активні речовини / В. М. Россінський, Л. А. Саблій // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : Науково-технічний збірник. Випуск 25 / Головний редактор О. С. Волошкіна. – К. : КНУБА, 2015. – С. 232-238. (фахове видання, включено до наукометричних баз даних Google Scholar)
5. Россінський В. М. Вплив поверхнево-активних речовин на процеси денітрифікації при біологічному очищенні міських стічних вод / В. М. Россінський, Л. А. Саблій // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Вип. 126 – Харків : ХНУМГ ім. О.М.Бекетова, 2016. – С. 32-36. (фахове видання, включено до міжнародних наукометричних баз даних Google Scholar, WorldCat (OAIster))
6. Россінський В. М. Енергоефективність в технологіях глибокого очищення стічних вод, що містять поверхнево-активні речовини // Науково-технічний збірник «Енергоефективність в будівництві та архітектурі». Випуск 8. Відповідальний редактор П. М. Куліков. – К. : КНУБА, 2016. – С. 319-325. (фахове видання, включено до наукометричних баз даних Google Scholar, Наукова періодика України (Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського))
7. Россінський В. М. Дефосфотація міських стічних вод, що містять синтетичні детергенти / В. М. Россінський, Л. А. Саблій // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : Науково-технічний збірник. Випуск 26 / Головний редактор О. С. Волошкіна. – К. : КНУБА, 2016. – С. 131-137. (фахове видання, включено до наукометричних баз даних Google Scholar).
8. Rossinskyi V. M. Effect of Surfactants on Denitrification in Biological Municipal Wastewater Treatment / V. M. Rossinskyi, L. A. Sablii // Proceedings of the IWA 8th Eastern European Young Water Professionals Conference. Book of Full Papers / 11–14 May 2016, Gdańsk; IWA Publishing, 2016. – P. 217-223.
9. Зубченко Л.С. Аналіз продуктивності біотехнологічного отримання водню за використання мікроорганізмів з різними типами метаболізму, перспективні напрямки подальших досліджень / Л. С. Зубченко, Є.В. Кузьмінський // ScienceRise - 2015 - № 6 (15) - С. 47-53 (входить до наукометричних БД IndexCopernicus, CrossRef, ПІНЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, Directory Indexing of International Research Journals, Directory of Research Journals Indexing, Open Academic Journals Index, Scientific Indexing Services, Sherpa / Romeo)
10. Голуб Н.Б., Драпой Д.І. Продукування водню при анаеробній ферментації кукурудзи і соняшника / Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2016. – №3. – С.13-20. (ПІНЦ).
11. Голуб Н.Б., Козловець О.А. Совместное метановое сбраживание помета домашних птиц и отходов аграрно-промышленных комплексов // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 15. – С. 156-163. (ПІНЦ, РИФ, Google Scholar, VINITI).

що входять до переліку фахових видань:

1. N.V. Golub, I.I. Levturn A light energy wave-length impact on *Chlorella vulgaris* cultivation // Вісник Національного університету «Львівська політехніка», серія «Хімія» 2016, № С.
2. Принцип біоконвейєра в очищенні води рибницьких господарств індустріального типу / Кононцев С.В., Саблій Л.А., Гроховська Ю.Р. Збірник статей за матеріалами Міжнародного Конгресу та Технічної виставки «ЕТЕВК-2015» Екологія, Технологія, Економіка, Водопостачання, Каналізація, (Іллічівськ, 8-12 червня 2015 року). - с. 194-197.
3. Использование макрофитов для очистки воды УЗВ от соединений азота / Кононцев С. В., Саблій Л.А., Гроховская Ю.Р. // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Под общ.ред. В.Ю.Агееца. – Вып. 31. – Минск, 2015. – С. 85-90.
4. Россінський В. М. Удосконалення способів біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод // Вісник НУВГП. Випуск 1(69), НУВГП, Рівне. – 2015. С. 124-131.
5. Россінський В. М. Вплив синтетичних поверхнево-активних речовин на питомий опір фільтрації активного мулу // Вісник НУВГП. Випуск 3(71). Частина 1, Рівне : НУВГП, 2015. – С. 334-337.
6. Голуб Н. Б. Вплив джерела азотного живлення на приріст біомаси *Chlorella vulgaris* / Н. Б. Голуб, І. І. Левтун, Є. Д. Тимошенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ» : науково-технічний журнал. – 2015. – № 3(101). – С. 7–13.
7. Левтун І.І. Підвищення вмісту ліпідів у клітинах *Chlorella vulgaris* / Н.Б. Голуб, І.І. Левтун // Відновлювана енергетика. – 2015, – Вид. 40, – №1, – С. 86–89.
8. Саблій Л.А., Жукова В.С., Собчук Г., Бегановський А., Лагуд Г, Яромін-Глень К. Дослідження адаптації активного мулу до анаеробно-аеробних умов біореакторів для очищення стічних вод / Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2015. - № 1 (16). - С. 40-49.
9. Саблій Л.А., Жукова В.С. Ефективні технології біологічного очищення стічних вод / Вісник НУВГП: зб. наук. праць. – Ч. 1: Технічні науки. – Рівне, 2015. – С. 174-178.
10. Квартенко О.М., Саблій Л.А. Дослідження методів очищення підземних залізовмісних вод від амонійних сполук та аміаку / Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2016. - № 1 (18). - С. 39-49.

16. Надати ключові слова до розробки

Отримання енергоносіїв, мікродорості, культивування *Chlorella vulgaris*, мікробний паливний елемент, екзоелектрогенез, біоплівка, конверсія відновлювальної сировини, біоводень, біометан.