

УДК 502.3:556

## Віброкавітаційна гомогенізація ціанобактерій як сировини біоенергетики

Афтаназів І.С., Шевчук Л.І., Бойко О.О., Строган О.І.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

**Анотація:** Біомаса річкових синьо-зелених водоростей (ціанобактерій) порівняно легкодоступна і дешева сировина для виготовлення біогазу. Однак відомі технології «метанового бродіння» субстрату водоростей недосконалі через недостатній рівень виходу готового продукту, тобто біогазу. Це обумовлено підвищеною стійкістю стінок цих бактерій до руйнування. В основу вдосконалення наявних технологій переробки біомаси синьо-зелених водоростей «метановим бродінням» покладено додаткове включення до технології блоку гомогенізації біомаси. Гомогенізацію покладено на операцію кавітаційної обробки водної суспензії водоростей віброрезонансними кавітаторами.

Запропонований технологічний процес переробки біомаси водоростей включає три основні етапи, а саме етап накопичення і підготовки суспензії синьо-зелених водоростей, етап підготовки субстрату біомаси водоростей їх гомогенізацією віброрезонансними кавітаторами і етап ферментації біогазу «метановим бродінням». Вихід готового продукту, тобто біогазу, при цьому завдяки збільшенню віброкавітаційної видільності із бактерій їх внутріклітинного вмісту, зростає на 25÷30%.

**Ключові слова:** ціанобактерії, екологія, вода, біогаз, технологія, кавітація, гомогенізація, віброкавітатор, електромагніт.

Одним із найактивніших забруднювачів прісної води на території України є різноманітні різновиди так званих ціанобактерій, які ще називають синьо-зеленими водоростями. На наших теренах їх налічується біля десятка різновидів, найрозповсюдженіші з яких, за системою водоростей Паркера, відносяться до царства Procarota, відділу Cyanophycota, класу Cyanophyceae. За вегетаційний період (70-120 днів) одна початкова клітина ціанобактерій може призвести  $10^{20}$  дочірних, що і зумовлює їх масовий розвиток, відомий під висловом «цвітіння води» [1]. Обсяги зараженої ціанобактеріями води, а відповідно і кількості безпосередньо самих ціанобактерій, у водоймах України величезні. Так згідно даних дослідження, проведених на водоймі лише Кременчуцького водосховища з площею водяного дзеркала  $2250 \text{ км}^2$  із об'ємом  $828 \text{ млн. м}^3$  вод мілководдя при середній густині насичення води ціанобактеріями  $50 \text{ кг/м}^3$  їх загальна біомаса складає  $4,14 \cdot 10^7$  тон накопичення впродовж всього літнього вегетаційного періоду [2]. Забруднена ціанобактеріями вода не тільки погіршує екологію водойм та довкілля, а постає непридатною і небезпечною для людей та тваринного світу через можливі отруєння при її вживанні.

Поряд з тим, за певних умов переробки із синьо-зелених водоростей можна одержувати корисну сировину для продукування біогазу як пального теплоенергетики біоетанолу [2,3]. Не менш перспективною є і переробка синьо-зелених водоростей екстрагуванням з їх біомаси ліпідів та жирних кислот із подальшою переробкою у біодізель на пальне для двигунів внутрішнього згорання.

Створено типові технологічні процеси переробки синьо-зелених водоростей у біогаз. Вони включають збір з поверхні водойм синьо-зелених водоростей, відділення їх від води у накопичувальних колонах чи спеціальних ємностях та підготовку субстрату біомаси водоростей. Для отримання біогазу субстрат завантажують у метантенки, де при температурі  $60^\circ\text{C}$  за біотехнологією «метанового бродіння» з нього анаеробними бактеріями ферментується біогаз, який спрямовується у газозбірник. Однак, оболонка ціанобактерій доволі стійка до зовнішніх впливів, що обумовлює низьку інтенсивність проходження процесів і синтезу біогазу, і екстрагування ліпідів. У кінцевому результаті це не дозволяє повною мірою використати повністю енергетичний потенціал біомаси.

Метою дослідження є вдосконалення технології переробки синьо-зелених водоростей на біогаз шляхом їх кавітаційної гомогенізації.

Кавітаційна обробка водяної суспензії синьо-зелених водоростей, завдяки утворенню при сплескуванні кавітаційних мікробульбашок ударних мікрохвиль, почергової зміни зон підвищених та понижених тисків, а також інтенсивному впливу на мембрани та оболонки водоростей самоутворюваних в кавітаційному полі хімічно активних окиснювачів радикалів  $\text{OH}^-$  та пероксиду водню  $\text{O}_2\text{H}_2^-$ , активно руйнує стінки водоростей та вивільняє їх внутріклітинний вміст. Цей спосіб захищено патентом на корисну модель України і він передбачає на етапі «екстрагування та біорозкладу» застосування гідродинамічної кавітації [2], що на 20-25 % підвищує швидкість руйнування стінок ціанобактерій.

Для підвищення ефективності кавітаційної гомогенізації синьо-зелених водоростей запропонована вдосконала конструкція віброрезонансного віброкавітатора [4]. Суть вдосконалення полягає у тому, що на коливній деці та закріплених на корпусах статорів нерухомих деках встановлені розвернуті один навпроти другого своїми торцевими поверхнями збурювачі кавітації, зовнішня поверхня яких виконана у формі гіперболоїда обертання, а торцева – у вигляді вписаної в гіперболоїд півсфери з радіусом, рівним подвоєному розмаху коливачь робочої камери.

На підставі даних експериментальних досліджень віброрезонансної кавітаційної обробки суспензій синьо-зелених водоростей із врахуванням конструктивних можливостей та особливостей розробленої конструкції промислового віброкавітатора пропонується вдосконала принципова технологічна схема процесу переробки синьо-зелених водоростей на біогаз. Ця схема включає три основні блоки, а саме: I блок – блок накопичення сировини і підготовки водяної суспензії синьо-зелених водоростей, II блок – блок віброрезонансної гомогенізації суспензії водоростей і III блок – блок ферментації біогазу анаеробним «метановим бродінням».

Відмінністю запропонованого технологічного процесу переробки синьо-зелених водоростей на біогаз від традиційних типових є додаткове облаштування в ньому блоку кавітаційної гомогенізації біомаси. При цьому вихід готового продукту, тобто біогазу, із 1т біомаси синьо-зелених водоростей знаходиться в межах 30 м<sup>3</sup>, що еквівалентно по теплоємності згоряння 0,6т нафти або 0,51т дизельного палива.

Результати даного дослідження повною мірою стосуються двох вагомих для людства аспектів. Перш за все, це покращення екології довкілля завдяки знищенню активних забруднювачів природної води якими являються ціанобактерії. Поряд з тим, певною мірою вдосконалюється і такий важливий напрямок енергетики, як біоенергетика, що ґрунтується на використанні відновлювальних джерел енергії, якими являються синьо-зелені водорості.

## Vibro-cavitation homogenization of cyanobacteria as raw materials for bioenergy

Aftanaziv I., Shevchuk L., Boiko A., Strogan O.

**Annotation:** The biomass of river blue-green algae (cyanobacteria) is relatively readily available and cheap raw materials for the manufacture of biogas. However, the known technology of "methane fermentation" of the algae substrate is imperfect due to the insufficient level of yield of the finished product - biogas. This is due to the increased resistance of the cell of these bacteria to destruction.

The basis for improving the available technologies for processing biomass of blue-green algae by "methane fermentation" is the additional inclusion of biomass homogenization unit in the process. Homogenization is superimposed on the operation of the cavitation treatment of an aqueous suspension of algae with a vibroresonant cavitator.

The proposed technological process of algae biomass processing includes three main stages, namely, the accumulation and preparation of a suspension of blue-green algae, the stage of preparing the algae biomass

substrate by their homogenization with a vibroresonant cavitator and the stage of biogas fermentation by methane fermentation. The yield of the finished product, i.e. biogas, while due to an increase in vibro-cavitation, the excretion of their intracellular contents from a bacterium increases by 25 ÷ 30%.

Keywords: cyanobacteria, ecology, water, biogas, technology, cavitation, homogenization, vibroavitator, electromagnet.

## **Виброкавитационная гомогенизация цианобактерий как сырья для биоэнергетики**

**Афтаназив И., Шевчук Л., Бойко А., Строган О.**

**Аннотация:** Биомасса речных сине-зеленых водорослей (цианобактерий) сравнительно легкодоступное и дешевое сырье для изготовления биогаза. Однако известные технологии «метанового брожения» субстрата водорослей несовершенны из-за недостаточного уровня выхода готового продукта - биогаза. Это обусловлено повышенной устойчивостью стенок этих бактерий к разрушению.

В основу совершенствования имеющихся технологий переработки биомассы сине-зеленых водорослей «метановым брожением» заложено дополнительное включение в техпроцесс блока гомогенизации биомассы. Гомогенизация осуществляется на операции кавитационной обработки водной суспензии водорослей виброрезонансным кавитатором.

Предложенный технологический процесс переработки биомассы водорослей включает три основных этапа, а именно этап накопления и подготовки суспензии сине-зеленых водорослей, этап подготовки субстрата биомассы водорослей их гомогенизацией виброрезонансным кавитатором и этап ферментации биогаза «метановым брожением». Выход готового продукта, т.е. биогаза, при этом благодаря увеличению виброкавитацией выделения из бактерии их внутриклеточного содержимого, возрастает на 25 ÷ 30%.

Ключевые слова: цианобактерии, экология, вода, биогаз, технология, кавитация, гомогенизация, виброкавитатор, электромагнит.

### **Список літератури:**

1. Мальований М.С. Оптимальні умови отримання енергії із цианобактерій/ М.С.Мальований, О.Д. Синельніков, О.В. Харламова, А.М. Мальований // Хімічна промисловість України. – 2014. – №5. – С.39-43.
2. Malovanyu Myroslav Reduction of the environmental threat from uncontrolled development of cyanobacteria in waters of Dnipro reservoirs/ Myroslav Malovanyu, Volodymyr Nykyforov, Olena Kharlamova, Olexander Synelnikov, Khrystyna Dereyko// Environmental Problems. – 2016. - №1. – P.61-64
3. Никифоров В.В. О природоохранных и энергосберегающих перспективах использования синезеленых водорослей / В.В.Никифоров // Промышленная ботаника. -2010. – Вып.10. – С.193 - 196.
4. Патент України № 107769. Вібраційний електромагнітний кавітатор / В.Л. Старчевський, Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, заявл. 29.01.2014; реєстраційний номер заявки у 2014 00823, опубл. 10.07.2014, Бюл. №13.