

УДК 502.3:556

Афганазів¹ І.С., д.т.н., проф., Струтинська¹ Л.Р., к.е.н., доц., Строган¹ О.І., к.т.н., ст. викл., Свідрак¹ І.Г., к.т.н., доц.

1 -- НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Гідродинамічна кавітація як засіб підвищення ефективності переробки синьо-зелених водоростей у сировину біоенергетики

Анотація. Вдосконалено технологічний процес переробки синьо-зелених водоростей прісноводних водойм у біогаз. Для підвищення продуктивності процесу ферментації біогазу створена нова конструкція віброрезонансного кавітатора. Продуктивність розробленого кавітатора сягає 0,75–1,0 м³/год. при поперечному перерізі робочої камери 10 дюймів. Використання на етапі підготовки суспензії водоростей їх кавітаційної обробки запропонованим віброкавітатором дозволяє на 25÷30% підвищити ферментацію біогазу із біомаси. Метою роботи є вдосконалення технологічного процесу ферментації біогазу з синьо-зелених водоростей, а також розробка придатної для цього конструкції віброкавітатора. Основні задачі дослідження – розробка конструкції віброкавітаторів із електромагнітним приводом та дослідження ефективності їх застосування для гомогенізації синьо-зелених водоростей в процесі їх переробки у біогаз.

Результати дослідження дозволяють підвищити продуктивність технології переробки водоростей у біогаз, а також покращити екологічний стан водойм та навколишнього середовища завдяки забору з води шкідливих синьо-зелених водоростей.

Ключові слова: синьо-зелені водорості, ціанобактерії, екологія, вода, біогаз, технологія, кавітація, віброкавітатор, електромагніт.

Одним із найактивніших забруднювачів прісної води на території України є різноманітні різновиди так званих ціанобактерій, які часто називають синьо-зеленими водоростями. Життєвий цикл ціанобактерій, залежно від умов довкілля, триває від одного до декількох місяців, активне розмноження здійснюється звичайним поділом, до того ж практично у геометричній прогресії [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 водного дзеркала 2250 км² із об'ємом 828 млн. м³ вод мілководдя при середній густині насичення води ціанобактеріями 50 кг/м³ їх загальна біомаса складає 4,14·10⁷ тон накопичення впродовж всього літнього вегетаційного періоду [2]. То ж можна уявити, яку величезну кількість води ці бактерії затрують продуктами своєї життєдіяльності!

Поряд з тим, дослідниками переконливо доведено, що за певних умов переробки із синьо-зелених водоростей (ціанобактерій) можна одержувати корисну сировину для продукування біогазу як пального теплоенергетики [2, 3] або біоетанолу. Не менш перспективною є і переробка синьо-зелених водоростей екстрагуванням з їх біомаси ліпідів та жирних кислот із подальшою переробкою у біодизель на пальне для двигунів внутрішнього згорання. Отже очищення природних водойм від ціанобактерій спроможне забезпечити два позитивні аспекти – очистити та оздоровити воду від гіперактивного біологічного забруднювача, а також одержати цінну сировину для біоенергетики та виготовлення пального.

У результаті досліджень науковцями було створено типові технологічні процеси переробки синьо-зелених водоростей у біогаз, а також їх переробки із екстрагуванням ліпідів та жирних кислот, що становлять основу виготовлення біодизельного пального [2, 3]. Перші етапи цих технологій споріднені і 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 60⁰С за біотехнологією «метанового бродіння» з нього ферментується біогаз, який спрямовується у газозбірник [4]. Вихід готового продукту певною

мірою лімітується ступенем розкладу сировинної біомаси (синьо-зелених водоростей), або по-іншому, ступенем відкритості до масообміну локалізованої у клітинній оболонці ціанобактерії біомаси. Оболонка цих бактерій 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.

Авторами досліджувалось застосування кавітаційних явищ для інтенсифікації руйнування мембран та стінок синьо-зелених водоростей з метою повнішого і пришвидшеного виділення їх внутріклітинного вмісту. 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 OH^- та пероксиду водню O_2H_2^- , активно руйнує стінки водоростей та вивільняє їх внутріклітинний вміст.

Метою дослідження було вдосконалення технології переробки синьо-зелених водоростей на біогаз шляхом їх кавітаційної гомогенізації та розробка конструкції віброрезонансного кавітатора для ефективно кавітаційної обробки суспензії біомаси водоростей та рідин підвищеної в'язкості.

Науковцями НУ «Львівська політехніка» створено принципово новий різновид кавітаційної техніки, придатної для продуктивної і високо якісної обробки рідин на основі води, у тому числі і рідин із підвищеною, порівняно із водою, в'язкістю. Це устаткування об'єднано спільною назвою «віброрезонансні кавітатори» і їх перевагою є спроможність до обробки значних обсягів рідин у неперервному їх потоці. Характерною особливістю віброрезонансних кавітаторів є збурення кавітаційного поля вібруючими деками по всьому поперечному перерізу протічної робочої камери[5]. Дослідження на діючих експериментальних зразках віброрезонансних кавітаторів засвідчили їх придатність для якісної кавітаційної обробки водяних суспензій синьо-зелених водоростей з метою вивільнення їх внутріклітинного вмісту. На підставі цих даних із врахуванням специфіки кавітаційної обробки суспензій синьо-зелених водоростей було розроблено принципову схему промислового варіанту віброрезонансного кавітатора для гомогенізації біомаси синьо-зелених водоростей.

Принципова конструктивна схема віброрезонансного кавітатора для гомогенізації біомаси мікроводоростей із електромагнітним приводом зображена на рис.1. До його складу входять завантажувальна 6, робоча 9 та відвідна 14 камери. Робоча камера 9 з'єднана із завантажувальною 6 та відвідною 14 із можливістю відносних переміщень через гнучкі гофри 8 та 12. На робочій камері 9 закріплено набраний із листового заліза кільцевий якорь 10, а камера та якорь через кронштейни 2 та циліндричні пружні стержні 5 з'єднані із закріпленими на трубах завантажувальної 6 та відвідної 14 камер реактивних масах 11. Співвісно якореві 10 до кожної із закріплених на завантажувальній 6 та відвідній 14 камері реактивних мас 11 прикріплено корпус 4 електромагніта. У корпусі 4 співвісно якореві 10 розташовані кільцевий статор 15 із котушкою обмотки 3. Кожен із статорів 15 із котушкою обмотки 3 та спільним якорем 10 формують два симетрично розміщених відносно якоря 10 електромагніти. Обмотки електромагнітів підєднані до мережі змінної напруги живлення із зміщенням по фазі, таким чином, що у першому півперіоді синусоїдальної змінної напруги якорь притягується до одного із крайніх електромагнітів, а у другому півперіоді - до іншого електромагніту.

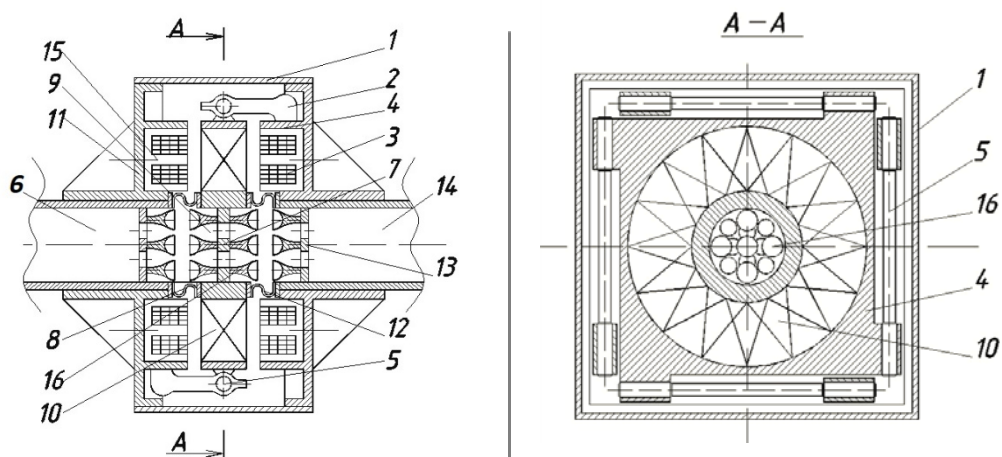


Рис.1 Принципова схема віброрезонансного кавітатора із електромагнітним приводом для гомогенізації біомаси синьо-зелених водоростей.

До якоря та статора жорстко прикріплені рухома 7 та нерухомі 13 деки із рівномірно розташованими по всій їх площі отворами для протікання оброблюваної рідини. На коливній деці 7 та закріплених на корпусах статорів нерухомих деках 13 встановлені розвернуті один навпроти одного своїми торцевими поверхнями збудувачі кавітації 16, зовнішня поверхня яких виконана у формі гіперболоїда обертання, а торцева – у вигляді вписаної в гіперболоїд півсфери з радіусом, рівним подвоєному розмаху коливань робочої камери. Мінімальна віддаль між сусідніми розташованими на спільній деці збудувачами кавітації 16 рівна амплітуді коливань робочої камери 9, а віддаль між коливними та нерухомими збудувачами кавітації 16 рівна розмаху коливань деки 7. Від потрапляння сторонніх предметів до коливних систем електромагнітний вібророзбудник захищено захисним кожухом 1.

Робота вібраційного електромагнітного кавітатора здійснюється наступним чином. По трубі завантажувальної камери 6 в робочу камеру 9 під незначним тиском або самотоком подають оброблювану рідину – водяну суспензію синьо-зелених водоростей. Одночасно на обмотки 3 котушок електромагнітів із вище відзначеним зміщенням по фазі подають напругу. Електромагніти по чергові притягують до себе якорі 10 із наповненою оброблюваною рідиною робочою камерою 9, прогинаючи при цьому пружні циліндричні стержні 5. По чергове протягування якоря 10 до електромагнітів 15 трансформується у направлені плоскопаралельні коливні переміщення наповненої оброблюваною рідиною робочої камери 9.

На підставі даних експериментальних досліджень віброрезонансної кавітаційної обробки суспензій синьо-зелених водоростей із врахуванням конструктивних можливостей та особливостей розробленої конструкції промислового віброкавітатора пропонується вдосконалена принципова технологічна схема процесу переробки синьо-зелених водоростей на біогаз.

Схема передбачає 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». Відповідно і переробка сировини здійснюється в три етапи. На першому етапі зібрані із відкритої водойми чи спеціально вирощені у водяних ваннах-резервуарах синьо-зелені водорості разом з водою заливають у накопичувачі-відстійники. Після 25÷30 годинного відстоювання у накопичувачах-відстійниках синьо-зелені водорості, питома вага яких менша питомої ваги води, відфракціонуються від води, тобто спливають у

верхню частину накопичувача, а вода осідає у нижню його частину. Воду із накопичувача зливають у водойму чи у ванни вирощування сировини, а готову водяну суспензію синьо-зелених водоростей подають насосами на блок віброкавітаційної гомогенізації. Тут облаштовано 2-3 промислові віброрезонансні кавітатори.

Гомогенізована у кавітаторах біомаса перероблених синьо-зелених водоростей після кавітаційної обробки знову поступає у проміжний накопичувач, у якому відділяється від зайвої води. Відфільтровану тут воду зливають у відстійник, а підготовлений субстрат біомаси поступає на третій блок у ферментаційну камеру для переробки його у біогаз. Разом із біомасою водоростей у камеру подають із біопідстанції анаеробні бактерії, які поглинаючи біомасу водоростей ферментують біогаз. Із ферментаційної камери утворений біогаз відпompовується на газову підстанцію, де ним наповнюють спеціальні балони та ємності для подальшого використання. Відпрацьовані продукти ферментації біогазу видаляють із камери і їх спрямовують у спеціальний накопичувач для подальшої переробки у органічні добрива для підживлювання рослин. Таким чином забезпечується безвідходність технологічного процесу переробки синьо-зелених водоростей. Підвищення на 20-25% виходу готового продукту, тобто біогазу, при значних обсягах переробки водоростей не тільки перекриває затрати на облаштування і функціонування блоку віброкавітаційної гомогенізації сировини, а і забезпечуватиме додаткові прибутки. При цьому вихід готового продукту, тобто біогазу, із 1т. біомаси синьо-зелених водоростей знаходиться в межах 30 м³, що еквівалентно 0,6 т нафти або 0,51 т. дизельного палива.

Висновки

1. Гомогенізація суспензій синьо-зелених водоростей пристроями віброрезонансної кавітації на 25÷30% підвищує обсяги ферментації з їх біомаси біогазу. Це на 10-15% вищий рівень порівняно із гомогенізацією біомаси водоростей гідродинамічною кавітаційною обробкою лопатевими кавітаторами і на 15-20% перевищує обсяги ферментації після ультразвукової кавітаційної обробки.
2. Запропонована конструкція промислового віброрезонансного електромагнітного кавітатора спроможна забезпечити продуктивність процесу гомогенізації синьо-зелених водоростей в межах 0,75-1,0м³/год. Враховуючи тривалість процесу ферментації, яка триває декілька суток, слід відзначити, що для забезпечення безперебійної роботи одної ферментаційної камери об'ємом 100м³ достатньо двох працюючих почергово віброкавітаторів із поперечним перерізом робочої камери 10 дюймів.
3. Вагомою перевагою ферментації біогазу із синьо-зелених водоростей є не тільки доступність та дешевизна сировини, а ще більшою мірою супутній переробці водоростей процес покращення екологічного стану природних водойм очищенням їх вод від такого активного і токсичного забруднювача як синьо-зелені водорості.

Список використаних джерел

1. Мальований М.С. Оптимальні умови отримання енергії із ціанобактерій/ М.С. Мальований, О.Д. Синельников, 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 природоохраных и энергосберегающих перспективах использования синезеленых водорослей / В.В.Никифоров // Промышленная ботаника. -2010. – Вып.10. – С.193 - 196.
4. Choi SP, Nguyen MT, Sim SJ: Enzymatic pretreatment of Chlamydomonas reinhardtii biomass for ethanol production. Bioresour Technol. 2010, 101: 5330-5336.10.1016/j.biortech.2010.02.026.
5. Шевчук Л.І. Автономний кавітатор для знезараження ціанобактерій та аерації води відкритих водойм/ Л.І.Шевчук, І.С.Афтаназів, О.І.Строган, І.З.Коваль// Водне господарство України. – 2012. – С. 30-36.