

УДК 662.767.2:621.317.42

ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ВИДІЛЕННЯ БІОГАЗУ ПРИ ТЕРМОФІЛЬНОМУ РЕЖИМІ

Ю.Г.Качан, докт. техн. наук, **В.Л.Коваленко**, канд. техн. наук, **О.І.Лапікова**,
Запорізька державна інженерна академія,
69006, м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226, Тел.: +38(061)2369034, e-mail: admin@zgia.zp.ua

Проведено серію експериментальних циклів біометаногенезу при різних напруженостях електричного поля, що діє на субстрат. Встановлено діапазон значень напруженості для максимізації виходу біогазу шляхом застосування поля в умовах термофільного режиму роботи біореактору. Бібл. 4, табл. 1, рис.3.

Ключові слова: біогаз, біометаногенез, електричне поле, лабораторна установка, біогазова установка

EFFICIENCY OF ELECTRIC FIELD IMPACT ON INTENSIFICATION OF BIOGAS RELEASE IN THERMOPHILIC MODE

Kachan Yu.G., the head of the department "Electrical Engineering and Energy Efficiency", PhD, professor, **Kovalenko V.L.**, the dean of the FEEIT, docent of the department "Electrical Engineering and Energy Efficiency", PhD, docent, **Lapikova O.I.**, the assistant of department "Electrical Engineering and Energy Efficiency",
Zaporizhya State Engineering Academy,
69006, m. Zaporizhzhya, pr. Soborniy, 226, Phone: +38(061)2369034, e-mail: admin@zgia.zp.ua

A series of experimental biomethanogenesis cycles in thermophilic mode and at different parameters of the electric field is conducted. The optimum range of intensity to intensify the release of biogas in bioreactor is determined. References 4, table 1, fig. 3.

Key words: biodas, biomethanogenesis, electric field, laboratory equipment, biogasplant.



Качан Ю.Г.
Kachan Yu.G.



Коваленко В.Л.
Kovalenko V.L.

Завідувач кафедру "Електротехніки та енергоефективності" ЗДІА, доктор технічних наук, професор. У 1990 році захистив докторську дисертацію на тему "Синтез систем автоматичної оптимізації дроблення руди" за спеціальністю 05.13.07 – "Автоматизація процесів керування". За останні п'ять років ним підготовлено 4 кандидати наук, 3 навчальних посібники з грифом МОНУ. Є членом двох спеціалізованих рад з захисту докторських дисертацій: Д 26.249.01 при Інституті відновлюваної енергетики НАН України (м.Київ) та Д 08.080.07 при Національному гірничому університеті (м.Дніпро).

Адреса: 69006, м. Запоріжжя, вул. Добролюбова 22, кв. 5/1.

Тел.: +38(066)3394280

E-mail: kircheva8408@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1866-8442

Декан ФЕЕІТ, доцент кафедри "Електротехніки та енергоефективності" ЗДІА, кандидат технічних наук, доцент. У 2013 р. захистив кандидатську роботу на тему "Система утилізації вторинних гідроенергетичних ресурсів промислових підприємств" за спеціальністю 05.14.08 – "Перетворювання відновлюваних видів енергії". Є співавтором 1 монографії, 2 патентів та більш ніж 30 статей.

Адреса: 69069, м. Запоріжжя, вул. Дніпровське шосе 48, кв. 25.

Тел.: +38(099)6219638

E-mail: victor.l.kovalenko@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5950-4412



Лапикова О.І.
Lapikova O.I.

Асистент кафедри "Електротехніки та енергоефективності" ЗДІА. У 2016 р. закінчила навчання в аспірантурі за спеціальністю 05.14.01 – Енергетичні системи та комплекси. Має 3 опублікованих статті та 1 патент.

Адреса: 69096, м. Запоріжжя, вул. Бородинська, 20, кв. 156.

Тел.: +38(066)8716719

e-mail: waniirr@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8307-802X

Вступ. Подальший розвиток такої перспективної галузі альтернативної енергетики, як виробництво біогазу, потребує розробки нових методів підвищення енергоефективності біореакторів [1].

В результаті аналізу експериментальних даних, отриманих вітчизняними і іноземними науковцями, встановлено, що прискорити та інтенсифікувати біометаногенез і збільшити обсяг отриманого газу за цикл можливо, впливаючи електричним полем на субстрат [2]. Проте, через непослідовність проведених досліджень, невідповідність етапам реального процесу та вибірко-вий підхід до окремих груп бактерій неможливо визначити оптимальний характер такого впливу.

Постановка завдання. Через відсутність аналогів установок, які б відповідали вимогам щодо можливості застосування електричного поля та проведення експериментів, безсистемність попередніх досліджень і суттєве значення піднятої теми необхідно, на першому етапі, розробити концепцію та етапність проведення експерименту. На другому – створити фізичну модель біогазової установки, що дозволить дослідити перебіг біометаногенезу при різних режимах підігріву, перемішування та з можливістю впливати електричним полем на субстрат для встановлення оптимальних величин напруженості та визначення кількісних показників виходу біогазу.

Виклад основного матеріалу. На базі проведеного аналізу вітчизняних і іноземних джерел інформації розроблено послідовність проведення експерименту, яка містить в собі достатню для статистичної достовірності кількість повних циклів біометаногенезу при дотриманні заданого температурного режиму, різних режимах перемішування та величинах напруженості електричного поля. При проведенні кожного з них передба-

чена фіксація об'єму газу, зібраного за минулу добу, та підтвердження адекватності отриманих результатів дублюванням експериментів з одностипними параметрами.

Враховуючи це, перший повний цикл необхідно провести без впливу електричного поля. Об'єм газу, виділеного за весь період роботи установки, приймається за контрольний показник. Другий – проводиться при впливі електричного поля максимально можливої інтенсивності, за якої спостерігається стимулювання життєдіяльності мікроорганізмів, задіяних в процесі, а подальше збільшення напруженості пригнічує бактерії і тому недоцільне для даних умов [3].

При кожному наступному експериментальному циклі напруженість поля необхідно поступово зменшувати від граничного значення до мінімального рівня, коли об'єм зібраного при цьому біогазу перевищує контрольний показник.

Оскільки існуючі системи дослідження процесу біометаногенезу в різних умовах його перебігу не передбачають наявності електричного поля, для підтвердження можливості підвищення виходу біогазу і визначення оптимальної напруженості застосованого поля необхідно створити фізичну модель біогазової установки менших розмірів.

В результаті проведеного аналізу існуючих лабораторних і промислових станцій отримання біогазу така модель була розроблена та реалізована в лабораторній біогазовій установці, що дозволяє дослідити вплив на перебіг біометаногенезу різних параметрів: температури, перемішування та величини напруженості електричного поля (рисунком 1). В ній електричне поле рівномірно розподіляється двома алюмінієвими пластинами, які розташовані навколо резервуару 1 на ізоляційному каркасі і легко знімаються. Режими на-

гріву, напруга на пластинах 11, а отже, і напруженість електричного поля регулюються за рахунок лабораторних автотрансформаторів 10, діодного мосту та контролюється вольтметром [4].

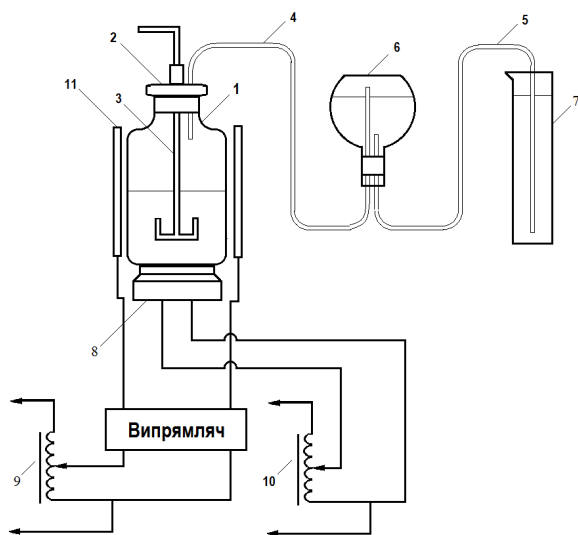


Рис. 1. Біогазова установка для дослідження впливу електричним полем на субстрат: 1 – резервуар, 2 – герметична кришка, 3 – мішалка, 4,5 – патрубки, 6 – резервуар-газозбірник, 7 – вимірювальний циліндр, 8 – нагрівач, 9,10 – лабораторні автотрансформатори, 11 – пластини.

Fig. 1. Biogas plant for exploring the influence of electric field on substrate: 1 – reservoir, 2 – hermetic lid, 3 – mixer, 4,5 – pipes, 6 – reservoir gas collector, 7 – measuring cylinder, 8 – heater, 9,10 – laboratory autotransformers, 11 – plates.

На описаній вище установці проведено серію циклів біометаногенезу при дотриманні термофільного температурного режиму (52-58°C), оскільки він є найбільш розповсюдженим в існуючих промислових установках. Для дослідження використовувався субстрат з розбавлених відходів життєдіяльності великої рогатої худоби вологістю 95-97%.

Перший експериментальний цикл проведено без застосування електричного поля. Біогаз у відповідному газозбірному резервуарі почав накопичуватися на другий день після запуску установки. Газовиділення тривало 7 діб, його інтенсивність на третю добу знизилася з 1160 см³ до 900 см³ і трималася на сталому рівні з поступовим зниженням до нульової позначки до шостої доби включно, після чого виділення газу різко скоротилося та згодом припинилося. В цілому за цикл зібрано 4660 см³ біогазу. Проведення повторних експериментів за таких само умов пока-

зало ідентичні результати з відхиленням сумарної кількості та динаміки виходу газу не більше ніж на 2,1%, що дозволяє вважати дослід достовірним і прийняти його за базовий для подальшого порівняння.

Другий цикл біометаногенезу проведено при впливі на субстрат постійного електричного поля інтенсивністю 6,35 В/см [3]. Хоча газовиділення за цих умов почалося вже на першу добу і на сталому рівні тривало більше двох тижнів, воно мало значно нижчу інтенсивність і кількісні показники: в цілому за цикл зібрано 2030 см³ газу, що становить 43,56% від контрольного показника. Вочевидь, відбулося пригнічення життєдіяльності бактерій, через що їх продуктивність суттєво знизилася, і подальше збільшення напруженості можна вважати недоцільним.

При зниженні напруженості електричного поля до 3,17 В/см в наступному експериментальному циклі пригнічення життєдіяльності було меншим. Тривалість циклу скоротилася до 11 діб, а обсяги виділеного газу зросли до 4050 см³, що становило 86,91% від контрольного показника. При інтенсивності електричного поля 1,59 В/см за 11 діб роботи установки зібрано 4760 см³ газу, що перевищило базовий результат на 2,15%. При цьому характер виділення, як і при експерименті без впливу поля, мав ярко виражений максимум на початку циклу з подальшим поступовим спаданням. Втім, хоч і вдалося отримати більший обсяг газу, тривалість циклу була довшою майже на 4 доби, через що не можна вважати задіяні параметри впливу ефективними та економічно доцільними.

При проведенні п'ятого циклу біометаногенезу застосовано вплив на субстрат електричним полем інтенсивністю 0,95 В/см. За цих умов спостерігалася суттєва інтенсифікація виділення газу – отримано 5520 см³ газу, що на 18,45% перевищило контрольний показник. При цьому, порівняно з ним, виділення почалося раніше: на першу, а не на другу добу, як у попередніх випадках. Такий вплив на субстрат можна вважати доцільним та ефективним, оскільки зменшуються витрати на підігрів метантенку, а обсяги отриманого продукту підвищуються. До того ж, протягом останньої, сьомої доби, виділення було незначним, тож тривалість циклу може бути скороченою.

Проведені повторні експерименти за таких же умов дали ідентичні результати з відхиленням не більше ніж на 1,8%, що дозволяє вважати результати достовірними.

Результати проведених досліджень узагальнені і таблиці 1, а динаміку виділення біогазу при впливі постійного електричного поля інтенсивністю 0,95 В/см і без нього зображено на рисунках 2,3.

Таблиця 1. Динаміка виходу біогазу при термофільному температурному режимі
Table 1. Dynamics of biogas output at thermophilic temperature mode

Перемішув. Т, °С	так					ні
	52-58					
Доба	0 В/см	6,35 В/см	3,17 В/см	1,59 В/см	0,95 В/см	0,95 В/см
1	0	200	920	1100	1420	440
2	1160	220	420	610	1120	620
3	900	180	340	540	1100	320
4	800	180	440	440	920	220
5	800	80	630	370	500	220
6	700	80	360	370	420	100
7	300	160	240	410	40	230
8	0	100	200	370	0	320
9	0	140	160	300	0	10
10	0	160	200	200	0	0
11	0	160	140	50	0	0
12	0	100	0	0	0	0
13	0	80	0	0	0	0
14	0	130	0	0	0	0
15	0	40	0	0	0	0
16	0	20	0	0	0	0
Разом, см³	4660	2030	4050	4760	5520	2480
% від конт-рольного показника	100	43,56	86,91	102,15	118,45	53,22

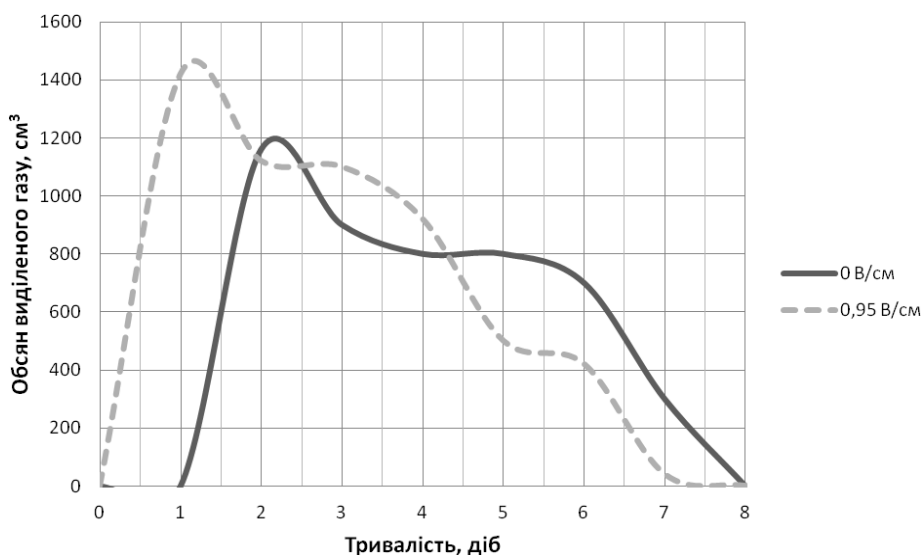


Рис. 2. Динаміка виділення біогазу протягом циклу

Fig. 2. Dynamics of biogas release during the cycle

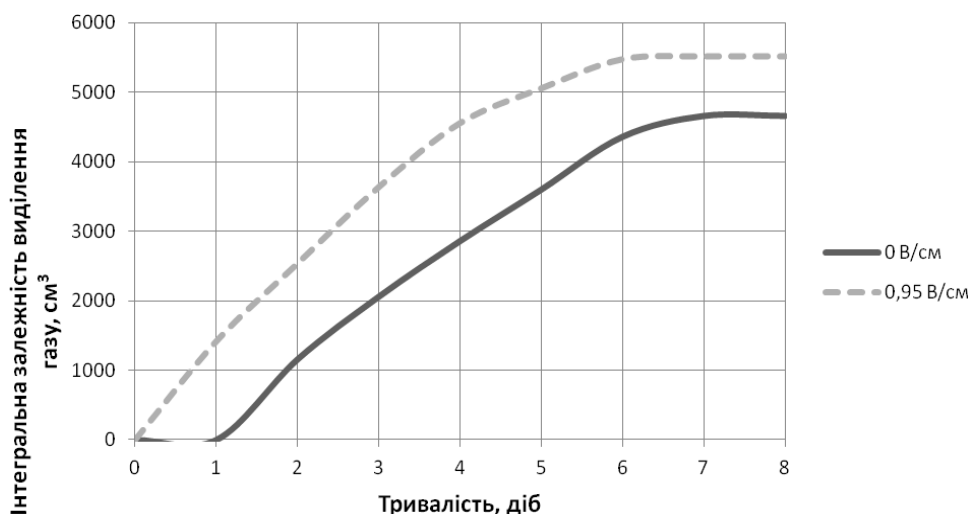


Рис. 3. Інтегральна залежність виділення біогазу протягом циклу

Fig. 3. Integral dependence of biogas release during the cycle

Окрім цього, було проведено експериментальний цикл при термофільному температурному режимі та впливі електричного поля інтенсивністю 0,95 В/см без перемішування субстрату. В цьому випадку обсяги виділеного газу суттєво зменшилися і не перевищили 2480 см³ за 9 діб, що становить лише 53% від контрольного показника. Це доводить, що перемішування є ефективним методом інтенсифікації біометаногенезу, відмова від якого не є доцільною навіть при використанні впливу електричного поля.

Висновки. Проведена серія експериментів довела, що вплив електричного поля є ефективним способом інтенсифікації процесу виділення біогазу. За результатами проведених досліджень встановлено оптимальний діапазон напруженості постійного електричного поля в біореакторі, який складає 0,95±0,1 В/см. При цьому можливо збільшити обсяг виділення біогазової суміші для термофільного режиму роботи до 20%.

1. Качан Ю.Г. Аналіз ефективності та перспектив розвитку біогазової енергетики / Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. // Збірник Міжнародної конференції "Відновлювана енергетика 21 століття" – К.: КНУ, 2015. – С. 353-355.

2. Качан Ю.Г. Щодо впливу електричних полів та мікрохвильового випромінювання на мікроорганізми, задіяні в біометаногенезі / Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – №4. – С. 38-43.

3. Hunt R.W. Electromagnetic Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy Applications / Hunt R.W., Zavalin A., Bhatnagar A.,

Chinnasamy S., Das K.C. // International Journal of Molecular Sciences, Int. J. Mol. Sci. 2009.

4. Коваленко В.Л. Фізична модель біогазової установки з пристроєм впливу на субстрат електричними і магнітними полями / Коваленко В.Л., Лапікова О.І. // Збірник XVIII Міжнародної конференції "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті". – К.: КНУ, 2016. – С. 509-512.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВЫХОДА БИОГАЗА ПРИ ТЕРМОФИЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Ю.Г.Качан, докт. техн. наук, В.Л.Коваленко, канд. техн. наук, О.И.Лапикова,

Запорожская государственная инженерная академия, 69006, г. Запорожье, пр. Соборный, 226,
Тел.: +38(066)8716719, e-mail: waniirr@gmail.com

Проведена серія експериментальних циклів біометаногенезу при різних напруженостях електричного поля, которое воздействует на субстрат. Установлен диапазон напряженности для максимизации выхода биогаза при термофильном режиме работы биореактора. Библ. 4, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: биогаз, биометаногенез, электрическое поле, лабораторная установка, биогазовая установка

REFERENCES

1. Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапикова О.І. (2015) Analiz efektyvnosti ta perspektyv rozvytku biohazovoyi enerhetyky [Analysis of efficiency and prospects of biogas energy development]. Zbirnyk Mizhnarodnoyi konferentsiyi "Vidnovlyuvana enerhetyka 21 stolittya" [Collection of the International Conference "Renewable Energy of the 21st Century"], 1, 353-355 [in Ukr].

2. Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапикова О.І. (2016) Shchodo vplyvu elektrychnykh poliv ta mikrokhvyl'ovoho

vyprominyuvannya na mikroorhanizmy, zadiyani v biometanogenezi [Concerning the influence of electric fields and microwave radiation on microorganisms involved in biomethanogenesis]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohiya, ekolohiya* [Energy: Economics, Technology, Ecology], 4, 38-43 [in Ukr].

3. Hunt R.W., Zavalin A., Bhatnagar A., Chinnasamy S., Das K.C. (2009) Electromagnetic Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy Applications. *International Journal of Molecular Sciences, Int. J. Mol. Sci.*

4. Kachan Yu.G., Kovalenko V.L., Lapikova O.I. (2016) Fizychna model' biohazovoyi ustanovky z prystroyem vplyvu na substrat elektrychnymy i mahnitnymy polyamy [Physical model of biogas plant with a device for influencing on substrate by electric and magnetic fields]. *Zbirnyk XVII Mizhnarodnoyi konferentsiyi "Vidnovlyuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist' u KhKhI stolittya"* [Collection of the XVII International Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency in the 21st Century"], 1, 509-512 [in Ukr].

SYNOPSIS

Biogas production is a promising branch of alternative power engineering. For its further expansion, it is necessary to develop new methods for increasing the energy efficiency of bioreactors. The analysis of experimental data obtained by scientists around the world defined that it is possible to intensify the biomethanogenesis and increase an amount of gas received per cycle by electric field influence on substrate. However, due to inconsistency of conducted research, discrepancy between the stages of actual process and selective approach to individual groups of bacteria it is impossible to determine an optimal range of exposure intensity.

Due to the unsystematic pre-research data and the importance of raised topic, it is necessary, at the first stage, to develop a concept and stages of experiment. The second is to

create a physical model of biogas plant, which will allow to investigate the biometanogenesis cycle in different modes of heating, mixing and influence by electric field on substrate to determine optimal values of field strength and quantitative indicators of biogas output.

The article presents results of experimental researches on determination of biomethanogenesis intensification possibility and establishment of quantitative parameters of biogas production under conditions of optimal values of electric field intensity. The laboratory installation for conducting experiments on influence of electric field on substrate and the work of bioreactor is described. The energy characteristics for thermophilic temperature regime are presented: the total volume of allocated biogas and the dynamics of its output, depending on electric field intensity.

As a result of analysis, the range of electric field strength was determined, which makes it possible to stimulate activity of bacteria involved in biogas production, and increase its allocation to 20% under thermophilic regime of bioreactor work.

РЕФЕРАТ

У статті приведено результати експериментальних досліджень щодо визначення можливості інтенсифікації біометаногенезу і встановлення кількісних показників роботи біореактора за умови оптимальних величин напруженості електричного поля. Описано лабораторну установку, розроблену для проведення зазначених дослідів щодо впливу електричного поля на субстрат та роботу біореактора. Представлено енергетичні характеристики для термофільного температурного режиму: загальний обсяг виділеного біогазу та динаміку його виходу в залежності від напруженості електричного поля.

В результаті аналізу отриманих даних виявлено діапазон величини напруженості електричного поля, що дає можливість стимулювати життєдіяльність бактерій, задіяних у виробництві біогазу, і підвищити обсяги його виділення до 20% в умовах термофільного режиму роботи біореактора.

Стаття надійшла до редакції 24.06.17

Остаточна версія 21.03.2018