УДК 662.767.2:621

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДІЛЕННЯ БІОГАЗУ ЗАСТОСУВАННЯМ МАГНІТНИХ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

В.Л. Коваленко[1], Є.В. Кузнєцова[2], В.В. Кузнецов[2]
[1] Україна, м. Запоріжжя, Запорізький національний університет
[2] Україна, Дніпро, Національна металургійна академія України

INTENSIFICATION OF BIOGAS EXTRACTION BY USING MAGNETIC AND ELECTROMAGNETIC FIELDS

V. Kovalenko[1], Є. Kuznetsova[2], V. Kuznetsov[2]
[1] Ukraine, Zaporizhia, Zaporizhia National University
[2] Ukraine, Dnipro, National Metallurgical Academy of Ukraine

Мета. Дослідити ефективність стимуляції виходу біогазу з коров'ячого субстрату під впливом магнітного та електромагнітного полів визначеної інтенсивності при термофільному та мезофільному температурних режимах.

Методика дослідження. Проведення експериментальних досліджень на базі лабораторної біогазової установки, що складається біореактору, під'єднаного до системи збору та утримування біогазу, що дозволяє визначати динаміку виділення та його загальну кількість. Реакторна частина обладнана системою впливу на субстрат зазначеними полями з можливістю контролю інтенсивності останніх. Таким чином, дослідним шляхом можливо методом послідовного наближення визначити оптимальне значення індукції, при якій інтенсифікується виділення біогазової суміші. Дослідження проводились на коров'ячому субстраті при термофільному та мезофільному режимах роботи біореактору.

Результати дослідження. В результаті досліджень було встановлено, що впливом постійним магнітним та електромагнітним полями інтенсивністю до 15мТл на субстрат при термофільному та мезофільному температурному режимах роботи можливо збільшити обсяги виділення біогазової суміші на 12-14%, в порівнянні з експериментом без застосування такого поля. Встановлено також, що окрім збільшення продуктивності метеантенку, можливо скоротити цикл біометаногенезу на 1-2 доби і, таким чином, підвищити загальну енергетичну ефективність біогазової установки.

Наукова новизна. В результаті аналізу отриманих експериментальних даних встановлено діапазон інтенсивності постійного магнітного та електромагнітного полів, що дає можливість стимулювати життєдіяльність бактерій, задіяних у виробництві біогазу, і підвищити обсяги його виділення до 14% в умовах термофільного та мезофільного режимах роботи біореактора.

Практичне значення. Проведена серія експериментів дозволяє зробити висновок, що вплив постійного магнітного та електромагнітного полів визначеної інтенсивності стимулює процес виділення біогазу.

Ключові слова: *біогаз, біометаногенез, біоенергетика, біогазова установка, магнітне поле, електромагнітне поле*

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]. Крім того, в результаті аналізу інших досліджень, проведених вченими над широкими групами мікроорганізмів при використанні різних магнітних збурень [4-17], виявлено залежність біологічних ефектів в групах бактерій від характеру та інтенсивності впливу, а також структуровано та класифіковано їх в [18].

Актуальність досліджень. Встановлено, що на різних етапах біометаногенезу активно задіяні різні групи мікроорганізмів, тому оптимальні параметри їх стимуляції можуть суттєво відрізнятися. В результаті проведеного аналізу виявлено безсистемність та вибірковість попередніх досліджень і необхідність подальшого уточнення параметрів інтенсифікації біометаногенезу на кожному його етапі, оптимальних з точки зору енергоефективності.

Результати досліджень, проведених за методикою наведеною в [2], з використанням постійних магнітних полів та електромагнітного впливу промислової частоти відбувалися на запропонованій універсальній установці [3]. Як і в попередніх експериментах, проведено серію циклів біометаногенезу за умов дотримання термофільного та мезофільного температурного режиму, як найбільш часто застосовуваних в діючих установках промислового масштабу. Для створення порівняльної бази використовувався подібний субстрат з розбавлених відходів життєдіяльності великої рогатої худоби вологістю 95-97%.

За базовий експеримент, за умов дотримання термофільного температурного режиму, прийнято цикл без застосування впливу поля, в якому генерація біогазової суміші трималася на сталому рівні за класичним циклом з поступовим зниженням газовиділення до нульової позначки. Кількість зібраного газу склала 4660 см^3.

Другий цикл біометаногенезу проведено при впливі на субстрат постійного магнітного поля з індукцією 30 мТл. Газовиділення за цих умов почалося також на першу добу, тривалість циклу склала 18 діб, проте кількість біогазової суміші склала всього 34,7% або 1617 см^3, що свідчить про негативні наслідки для процесу біометаногенезу через пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів. Тобто, подальше збільшення інтенсивності поля є недоречним і його можна вважати таким, що призводить до зменшення продуктивності біореактору з такою системою опромінення субстрат.

При застосування магнітного поля з індукцією, дещо нижчою ніж в попередньому досліді, а саме 20 мТл, цикл тривав 16 діб з підвищенням обсягу виділення біогазової суміші до 4340 см^3, що становило 93,13% від контрольного показнику. При зниженні інтенсивності поля до 17 мТл, кількість зібраного газу наблизилася до базового показника і склала 4520 см^3 газу, що менше всього на 3%, що свідчить про зменшення шкідливого впливу для бактерій протягом циклу.

При проведенні наступного циклу біометаногенезу застосовано вплив на субстрат постійним магнітним полем індукцією 15 мТл. За цих умов спостерігалася інтенсифікація виділення біогазу – отримано 5220 см^3, що на 12,01% перевищило контрольний показник. При цьому, цикл тривав 14 діб, виділення почалося раніше: на першу, а не на другу добу, як у попередніх випадках, тобто такий вплив на субстрат також можна вважати доцільним, проте менш ефективним у порівнянні із застосуванням електричного поля встановленої оптимальної інтенсивності. Подальше зниження індукції призвело до зменшення кількісних показників обсягу газовиділення і наближення їх до базових для термофільного температурного режиму, що свідчить про недоцільність такого електрофізичного впливу з вказаними параметрами.

Проведені повторні експерименти за таких же умов дали ідентичні результати з відхиленням не більше ніж на 3%, що свідчить про їх достовірність. Результати проведених досліджень представлено в таблиці 1, динаміку газовиділення при впливі постійного магнітного поля в діапазоні 0…30 мТл зображено на рисунках 1, 2.

Таблиця 1

Динаміка виходу біогазу при термофільному температурному режимі

Перемішування	так	так	так	так	так	ні
Т, °С	52-58					
Доба / Магнітна індукція поля, мТл	0	30	20	17	15	15
1	0	70	710	800	850	710
2	1160	90	640	690	910	610
3	900	150	460	510	830	370
4	800	130	440	420	630	300
5	800	120	520	310	400	280
6	700	110	320	290	350	250
7	300	110	210	270	320	230
8	0	104	190	250	210	200
9	0	110	150	230	200	170
10	0	110	130	170	150	160
11	0	112	120	160	140	150
12	0	134	130	130	110	130
13	0	95	120	100	80	100
14	0	80	110	90	40	70
15	0	32	70	70	0	80
16	0	30	20	30	0	0
17	0	20	0	0	0	0
18	0	10	0	0	0	0
Разом, см^3	4660	1617	4340	4520	5220	3810
% від контрольного показника	100	34,7	93,13	96,99	112	81,76

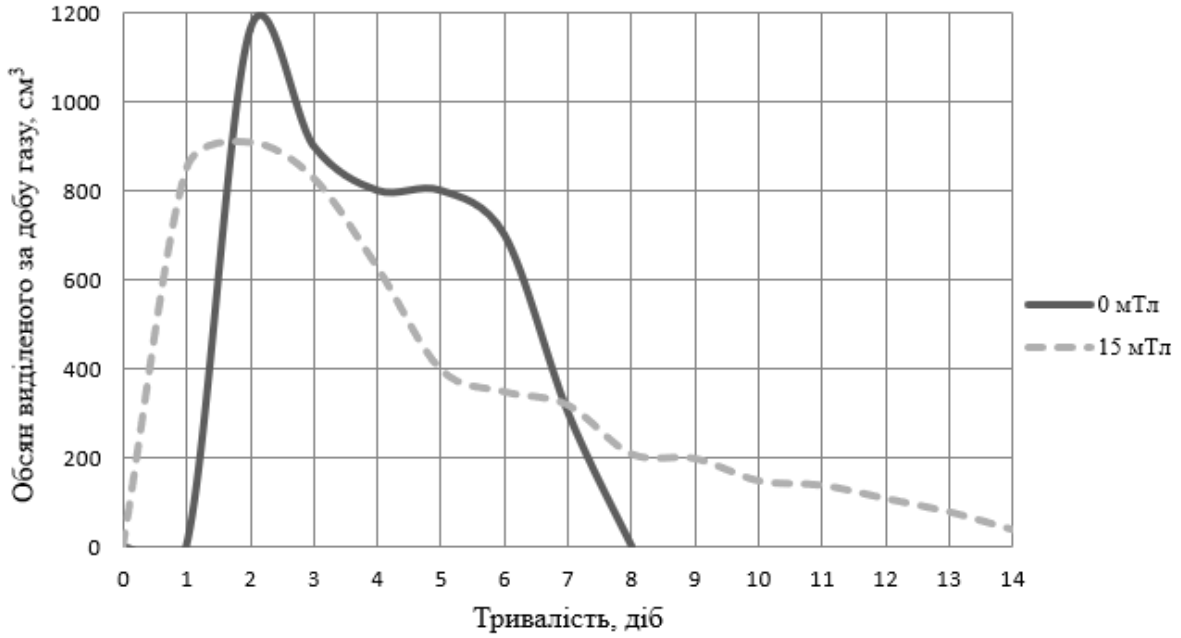

Рис. 1. Динаміка виділення біогазу протягом циклу

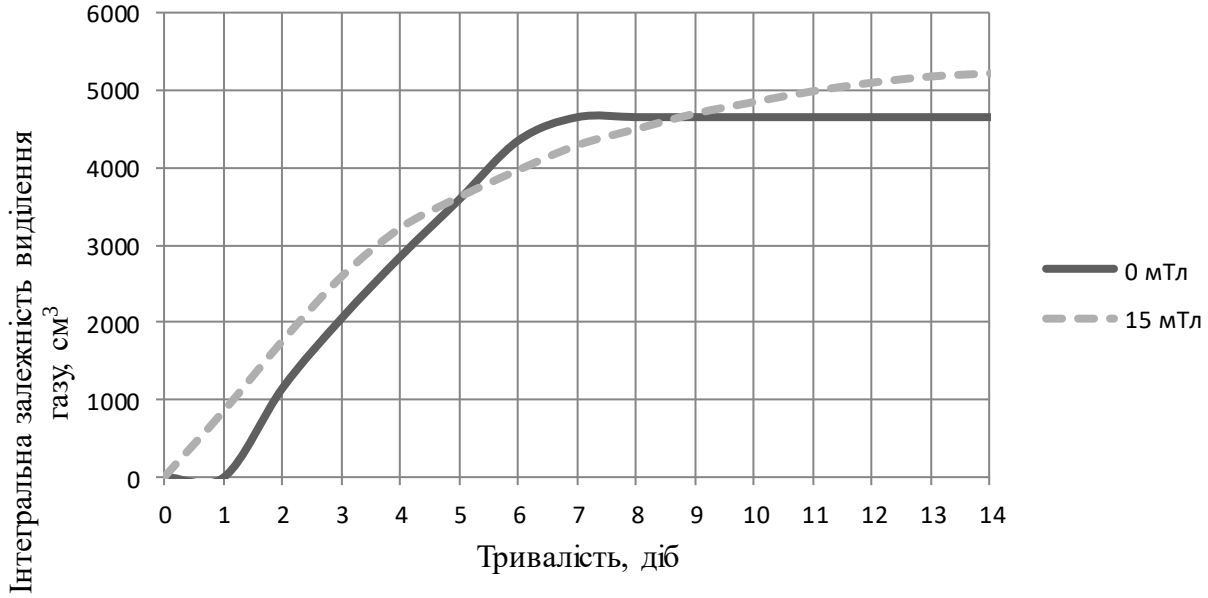

Рис. 2. Інтегральна залежність виділення біогазу протягом циклу

Також, на рисунку 3 представлено графік за інтенсивності магнітного поля 15 мТл при термофільному температурному режимі без застосування перемішування субстрату. В цьому випадку, як і при застосування електричного поля, спостерігається зменшення обсягів виділеного біогазу, що склало 3810 $см^3$ за 15 діб і становить лише 81,76% від контрольного досліду.

Отже, проведена серія експериментів показала, що постійне магнітне поле також, як і електричне, впливає на процес біометаногенезу та може стати ефективним електрофізичним методом інтенсифікації генерації біогазової суміщі. За результатами проведених досліджень встановлено, що найбільш доцільним є опромінення субстрату в біореакторі полем з індукцією близько 15 мТл, що дає можливість отримати приріст продуктивності за термофільного режиму роботи до 12%.

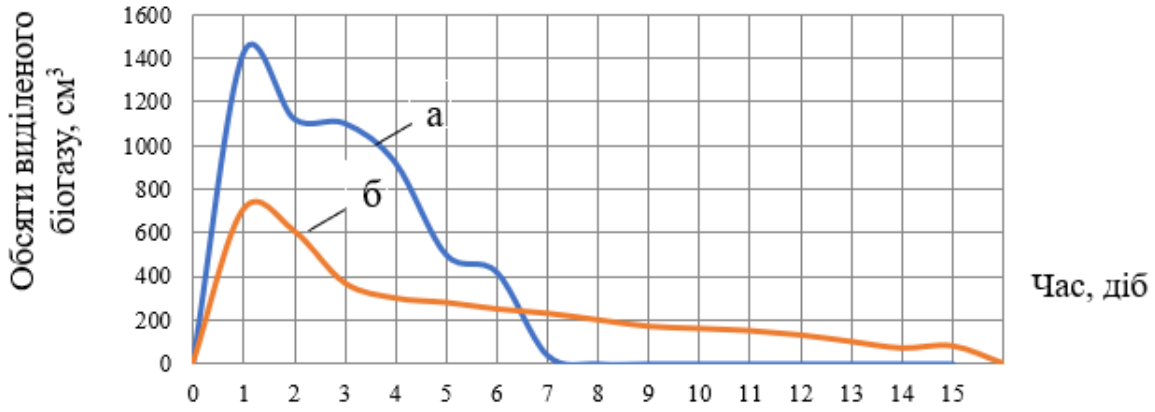

Рис. 3. Динаміка виходу біогазу при інтенсивності магнітного поля 15 мТл за наявності (а) та відсутності перемішування (б)

Для проведення серії експериментів при мезофільному температурному режимі і впливі постійного магнітного поля використано аналогічний попередньому досліду субстрат. Для порівняльної бази спирались на результати, отримані раніше, при визначенні продуктивності лабораторної установки за температури до 30 - 35°С, в яких сумарно за весь 9-ти добовий цикл зібрано 3410 см^3 біогазової суміші.

Встановлено, що створення постійного магнітного поля всередині біореактору величиною 15мТл за згаданого температурного режиму також справляє позитивний ефект. Газовиділення розпочалося в першу добу, загальна кількість зібраного біогазу становила 3887 см^3, що становить 114% від базового значення, що свідчить про доцільність такого електрофізичного впливу. Проведення повторних подібних експериментів за тих самих умов показало подібні результати з відхиленням обсягу зібраного біогазу за цикл не більше 2,6%, що дозволяє вважати результати досліджень достовірними.

На рисунках 4 – 5 зображено динаміку виділення біогазу впродовж базового та зазначеного експериментальних циклів, а в таблиці 2 чисельне відображення.

Таблиця 2

Динаміка виходу біогазу за мезофільного температурного режиму

Доба	Магнітна індукція, мТл	
	0	15
1	0	540
2	960	670
3	650	690
4	500	720
5	500	532
6	350	310
7	200	246
8	150	120
9	100	59
10	0	0
Разом, см^3	3410	3887
% від контрольного показника	100	113,99

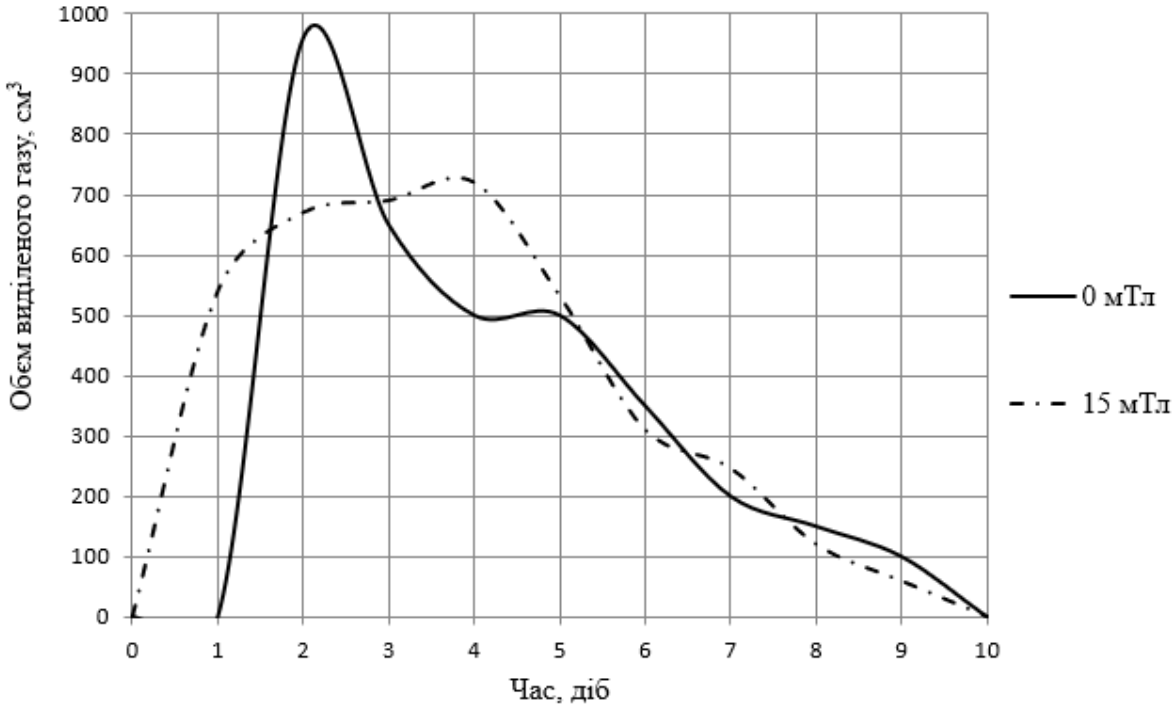

Рис. 4. Динаміка виділення біогазу впродовж проведених циклів біометаногенезу

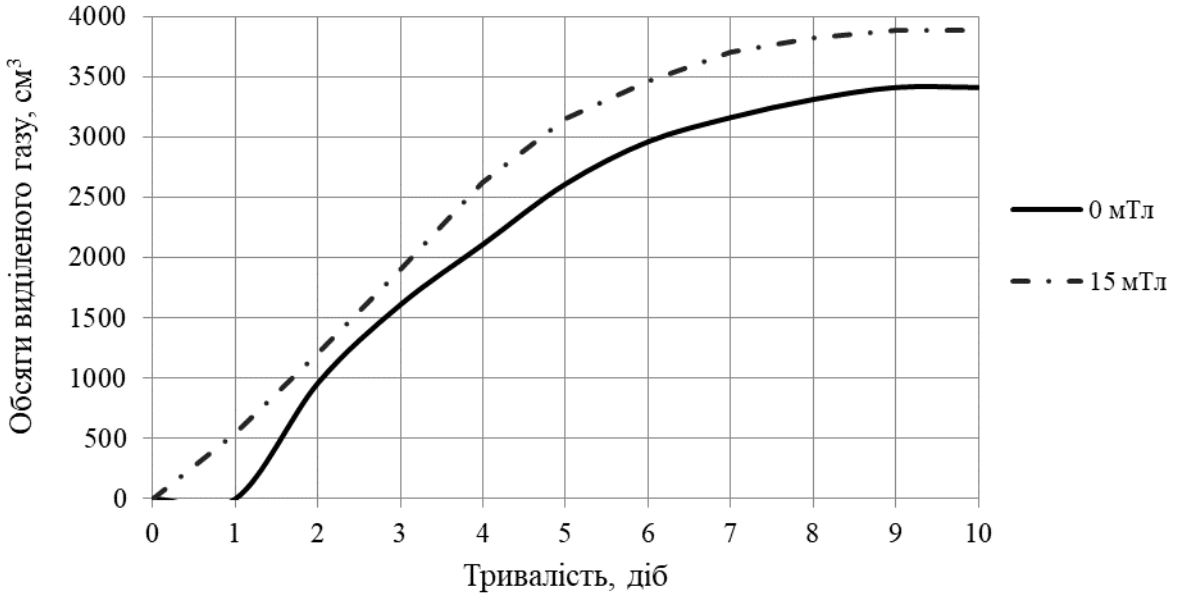

Рис. 5. Інтегральна залежність виділення біогазу впродовж циклу

Висновки. Отже, виконання досліджень щодо впливу постійного магнітного поля на субстрат при термофільному та мезофільному температурному режимах роботи показало, що за інтенсивності останнього 15мТл, можливо збільшити обсяги виділення біогазової суміші на 12-14%, в порівнянні експериментом без застосування такого поля. При цьому встановлено, що окрім збільшення продуктивності метеантенку, можливо скоротити цикл біометаногенезу на 1-2 доби і, таким чином, підвищити загальну енергетичну ефективність біогазової установки.

Проте, в порівнянні з дослідженнями, заснованими на використанні постійних електричних полів, вплив магнітних виявився менш вираженим. Крім того, реалізація такого методу в промислових умовах є більш складним завданням, у порівнянні з першим, оскільки застосування його на об’єктах значних габаритних розмірів вимагатиме використання надпотужних та коштовних установок для створення великих

струмів в провідниках її електричної частини. А останнє можливе тільки за умови витрат електроенергії, співставними з потенційним економічним ефектом від збільшення виходу біогазової суміші.

Аналогічними проблемами будуть володіти і системи із використанням електромагнітних полів промислової частоти. Як показали експериментальні дослідження, проведені автором, досягти значного ефекту з використанням останніх за прийнятих умов та температурних режимів роботи біогазової установки, не вдалося. Збільшення кількості отриманої біогазової суміші, від застосування таких полів, можна лише в тих же межах, що і при використанні постійних магнітних полів, тобто до 14%. Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок про недоцільність такого впливу у порівнянні з економічно вигідними електричними полями, та рекомендацією виділення експериментальної бази в даному напрямку в окремі дослідження для застосування їх в лабораторних та навчальних цілях.

Перелік посилань

1. Качан, Ю.Г., Коваленко, В.Л., Лапікова, О.І. (2015). *Аналіз ефективності та перспектив розвитку біогазової енергетики.* Збірник Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика 21 століття». Київ. 353-355.
2. Качан, Ю.Г., Коваленко, В.Л., Лапікова, О.І. (2016). *Щодо впливу електричних полів та мікрохвильового випромінювання на мікроорганізми, задіяні в біометаногенезі*. Енергетика: економіка, технології, екологія, КПІ, Київ. № 4.
3. Качан, Ю.Г., Коваленко, В.Л., Лапікова, О.І. *Фізична модель біогазової установки з пристроєм впливу на субстрат електричними і магнітними полями.* Збірник XVII Міжнародної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI століття». КНУ, Київ.
4. Hönes, I.; Pospischil, A.; Berg, H. (1998). *Electrostimulation of proliferation of the denitrifying bacterium Pseudomonas stutzeri*. Bioelectrochem. Bioenerg. 44. 275–277.
5. Justo, O.R.; Pérez, V.H.; Alvarez, D.C.; Alegre, R.M. (2006). *Growth of Escherichia coli under extremely low-frequency electromagnetic fields.* Appl. Biochem. Biotechnol. 134. 155–163.
6. Hirano, M.; Ohta, A.; Abe, K. (1998). *Magnetic field effects on photosynthesis and growth of the cyanobacterium spirulina platensis. J. Ferment*. Bioeng. 86. 313–316.
7. Li, Z.-Y.; Guo, S.-Y.; Lin, L.; Cai, M.-Y. (2007). *Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional compostion of Spirulina platensis in an air-lift photobioreactor.* Bioresour. Technol. 98. 700–705.
8. Takahaski, F.; Kamezaki, T. (1985). *Effect of magnetism of growth of Chlorella*. Hakkokogaku. 63. 71–74.
9. Yamaoka, Y.; Takimura, O.; Fuse, H.; Kamimura, K. (1992). *Effect of magnetism on growth of Dunaliella salina.* Res. Photosynth. 3, 87–90.
10. Erygin, G.D.; Pchedlkina, V.V.; Kulikova, A.K.; Rurinova, N.G.; Bezborodov, A.M.; Gogolev, M.N. (1988). *Influence on microorganism growth and development of nutrient medium treatment with magnetic field*. Prikl. Biokhim. Mikrobiol. 1988, 24, 257–263.
11. Fiedler, U.; Grobner, U.; Berg, H. (1995). *Electrostimulation of yeast proliferation*. Bioelectrochem. Bioenerg. 38. 423–425.
12. Engstrom, S.; Markov, M.; McLean, M.; Holcomb, R.; Marko, J. (2002). *Effects of non-uniform static magnetic fields on the rate of myosin phosphorylation.* Bioelectromagnetics. 23. 475–479.
13. Smith, S.; McLeod, B.R.; Liboff, A.R.; Cooksey, K. (1987). *Calcium cyclotron resonance and diatom mobility*. Bioelectromagnetics, 8, 215–227.
14. Blackman, C.; Benane, S.G.; House, D.E.; Elliott, D.J. (1990). *Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in response to brain tissue in vitro and in vivo*. Bioelectromagnetics. 11. 159–167.
15. Reese, J.; Frazier, M.E.; Morris, J.E.; Buschbom, R.L. (1991). *Evaluation of changes in diatom mobility after exposure to 16-Hz electromagnetic fields*. Bioelectromagnetics. 12. 21–25.
16. Blackman, C.; Blanchard, J.P.; Benane, S.G.; House, D.E. (1996). *Effect of AC and DC magnetic field orientation on nerve cells.* Biochem. Biophys. Res. Commun. 220, 807–811.
17. Pilla, A.A.; Kaufman, J.J.; Ryaby, J.T. (1987). *Electrochemical kinetics at the cell membrane: A physicochemical link for electromagnetic bioeffects.* In Mechanistic Approaches to Interaction of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems; Blank, M, Findl, E., Ed.; 39–61.
18. Коваленко В.Л. *Щодо впливу магнітних полів на задіяні в біометаногенезі мікроорганізми.* Відновлювана енергетика. Науково-прикладний журнал. – 2017. – №1. – 87-92.

Рекомендована до друку к.т.н., доцентом Балахонцевим О.В.

АННОТАЦИЯ

Цель. Исследовать эффективность стимуляции выхода биогаза из коровьего субстрата под воздействием магнитного и электромагнитного полей определенной интенсивности при термофильном и мезофильном температурных режимах.

Методика исследования. Проведение экспериментальных исследований на базе лабораторной биогазовой установки, состоящей из биореактора, подключенного к системе сбора и накопления биогаза позволяет определять динамику выделения и его общее количество. Реакторная часть оборудована системой воздействия на субстрат указанными полями с возможностью контроля интенсивности послед-

них. Таким образом, опытным путем возможно методом последовательного приближения определить оптимальное значение индукции, при которой интенсифицируется выделения биогазовой смеси. Исследования проводились на коровьем субстрате при термофильном и мезофильном режимах работы биореактора.

Результаты исследования. В результате исследований было установлено, что воздействием постоянным магнитным и электромагнитным полями интенсивностью до 15мТл на субстрат при термофильном и мезофильном температурном режимах работы можно увеличить объемы выделения биогазовой смеси на 12-14%, по сравнению с экспериментом без применения такого поля. Установлено также, что кроме увеличения производительности метантенка, возможно сократить цикл биометаногенеза на 1-2 суток и, таким образом, повысить общую энергетическую эффективность биогазовой установки.

Научная новизна. В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено диапазон интенсивности постоянного магнитного и электромагнитного полей, что позволяет стимулировать жизнедеятельность бактерий, задействованных в производстве биогаза и повысить объемы его выделения до 14% в условиях термофильного и мезофильного режимов работы биореактора.

Практическое значение. Проведена серия экспериментов позволяет сделать вывод, что влияние постоянного магнитного и электромагнитного полей определенной интенсивности стимулирует процесс выделения биогаза.

Ключевые слова: *биогаз, биометаногенеза, биоэнергетика, биогазовая установка, магнитное поле, электромагнитное поле.*

ABSTRACT

Purpose. To investigate the effectiveness of stimulating the release of biogas from a bovine substrate under the influence of magnetic and electromagnetic fields of a certain intensity under thermophilic and mesophilic temperature conditions.

The methodology. Experimental studies on the basis of a laboratory biogas plant, consisting of a bioreactor connected to a system for collecting and maintaining biogas, makes it possible to determine the dynamics of release and its total amount. The reactor part is equipped with a system for influencing the substrate with the indicated fields with the ability to control the intensity of the latter. Thus, empirically, it is possible by the method of successive approximation to determine the optimal value of induction, at which the release of the biogas mixture is intensified. The studies were carried out on a bovine substrate under thermophilic and mesophilic modes of bioreactor operation.

Findings. As a result of the research, it was found that exposure to constant magnetic and electromagnetic fields with an intensity of up to 15 mT on the substrate at thermophilic and mesophilic temperature conditions can increase the volume of biogas mixture release by 12-14%, compared to the experiment without using such a field. It was also found that, in addition to increasing the productivity of the meteorological tank, it is possible to shorten the biomethanogenesis cycle by 1-2 days and, thus, increase the overall energy efficiency of the biogas plant.

The originality. As a result of the analysis of the obtained experimental data, a range of intensity of constant magnetic and electromagnetic fields was established, which allows stimulating the vital activity of bacteria involved in the production of biogas and increasing the volume of its release up to 14% under the conditions of thermophilic and mesophilic modes of bioreactor operation.

Practical implications. A series of experiments has led to the conclusion that the influence of constant magnetic and electromagnetic fields of a certain intensity stimulates the process of biogas release.

Keywords: *biogas, biomethanogenesis, bioenergy, biogas plant, magnetic field, electromagnetic field.*