

## **ВПЛИВ НИЗЬКОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ДИНАМІКУ ВИХОДУ БІОГАЗУ**

*М. М. Заблодський, доктор технічних наук, професор*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*П. Б. Клендій, кандидат технічних наук, доцент*

*Г. Я. Клендій, старший викладач*

*ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»*

*E-mail: [pklen @i.ua](mailto:pklen@i.ua)*

**Анотація.** Метою дослідження було запропонувати режими та експериментально визначити закономірності впливу низькочастотного електромагнітного поля на динаміку виділення біогазу. Розглянуто питання впливу електромагнітного поля низької частоти на інтенсивність проходження метаногенезу в субстраті тваринного походження при мезофільному режимі бродіння. Інтенсивність процесу ферментації залежить від таких факторів: температура, вологість середовища, рівень рН, співвідношення С : N : P, площа поверхні частинок сировини, частота подачі субстрату, сповільнюючі речовини, стимулюючі добавки. Вплив на той чи інший фактор призводить до зростання енергозатрат та собівартості біогазу і може бути економічно недоцільним. Тому постало питання про розробку нових методів і засобів інтенсифікації процесу зброджування. Нині відомі окремі результати досліджень із обробки різних субстратів рослинного і тваринного походження електромагнітними полями та ультразвуком. Але важливими аспектами подібних досліджень повинні стати: розкриття механізмів біостимуляції; енергетична ефективність методів і доведення їх до промислової реалізації. Для вирішення поставленої задачі сформована мета досліджень, а саме, визначити режими і закономірності впливу низькочастотного електромагнітного поля на динаміку виділення біогазу. Щоб реалізувати мету, було розроблено методику досліджень і лабораторну установку, за допомогою якої задавались потрібні температурні параметри відповідного режиму бродіння, створювалось кругове електромагнітне поле, автоматичне перемішування субстратів та вимірювання виходу біогазу. Дослідження проведено впродовж повного циклу метаногенезу при використанні двох міні-біореакторів. Встановлені закономірності, які характеризують динаміку і умови зростання виходу біогазу.

**Ключові слова:** *низькочастотне електромагнітне поле, біогаз, субстрат, метаногенез*

**Актуальність.** На інтенсивність процесу зброджування і, як наслідок, утворення біогазу впливають наступні фактори : температура, вологість середовища, рівень рН, співвідношення С : N : P, площа поверхні частинок сировини, частота подачі субстрату, сповільнюючі речовини, стимулюючі добавки. Оптимізація тих чи інших факторів призводить до зростання енергозатрат і собівартість біогазу наближається до вартості природного, що може бути економічно недоцільним і не дасть потрібного ефекту. Тому актуальною задачею є розробка нових методів і засобів інтенсифікації процесу метаногенезу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Відомі окремі результати досліджень по застосуванню електромагнітних та ультразвукових полів для інтенсифікації виходу біогазу. Після обробки різних субстратів рослин до ферментації в модельних камерах ферментації, найкращі результати щодо ефективності виробництва біогазу та якості біогазу були зафіксовані в серії з кукурудзяним силосом та силосом з трави. У першому випадку відсоток зростання кількості метану, виробленого в технологічній системі, стимульованій мікрохвильовим випромінюванням, становив 15,26 %, а при другому складі субстрату – 12,62 % у порівнянні з реакторами без обробки [1]. При обробці субстрату (стічні води) ультразвуковим полем вихід біогазу зріс на 20-24 % порівняно з необробленим. При цьому максимальний вихід біогазу 0,92 дм<sup>3</sup> спостерігався на 9 день ферментації. Вміст летких жирних кислот знизився до 139 мг протягом 20 днів. Ефективність використання ультразвуку залежить від часу синхронізації, типу, а також потужності та частоти [2]. Експериментальні дослідження показали, що суттєвий вплив на процес метанового бродіння має магнітне поле з індукцією 0,38 Тл [3]. Позитивний ефект був досягнутий при найменшому значенні магнітного потоку  $173 \times 10^{-3}$  мВб, а найбільш ефективний варіант досягнуто при магнітному потоці  $3,016 \times 10^{-3}$  мВб . При цьому вихід біогазу зріс на 14 % порівняно з необробленим субстратом. Електрокінетичний розпад є одним з високовольтних електричних методів. В електричному полі деформують клітинні стінки, завдяки чому їх вміст легко доступний бактеріям [4]. Нині

важливими аспектами подібних досліджень повинні стати: розкриття механізмів біостимуляції; енергетична ефективність методів і доведення їх до промислової реалізації.

**Мета дослідження** – запропонувати режими та експериментально визначити закономірності впливу низькочастотного електромагнітного поля на динаміку виділення біогазу.

**Матеріали і методи дослідження.** Для визначення динаміки виходу біогазу при впливі на субстрат електромагнітним полем розроблена дослідна установка, загальний вигляд якої показано на рис.1.



**Рис. 1. Дослідна установка:**

1 – вимірювальна трубка виходу біогазу з біореактора з впливом електромагнітним полем; 2 - вимірювальна трубка виходу біогазу з контрольного зразка ;  
3 – тесламетр; 4 – ємність з субстратом, що розміщена у статорі АД ; 5 – контрольний зразок; 6 – рухома платформа для перемішування субстрату дослідних зрізів.

Експеримент проводили при мезофільному (температура субстрату – 37-39<sup>0</sup>С) режимі бродіння, а субстрат виготовлений з гною свиней. В дослідженнях використано два міні - біореактори, на субстрат одного з яких (4, рис.1) впливали електромагнітним полем, а на другий (5, рис 1) – в якості контрольного зразка.

Для створення електромагнітного поля було запроваджено статор асинхронного двигуна (АД), в середину якого помістили ємкість із субстратом (4, рис 1). Електромагнітне поле в кожній точці розглянутої області визначається векторами магнітної індукції  $\vec{B}$ , напруженості магнітного поля  $\vec{H}$ , електричного зміщення  $\vec{D}$ , і напруженості електричного поля  $\vec{E}$ [5]. Математичною моделлю нелінійної магнітної системи з розподіленням густин струмів є система рівнянь Максвелла для векторів електромагнітного поля у всіх областях АД [6, 7], що містить закон повного струму

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j}, \quad (1)$$

де  $\vec{j} = \vec{j}_{\text{вс}} + \vec{j}_{\text{ст}}$  – густина струмів провідності;  $\vec{j}_{\text{вс}}$  – щільність ВС;  $\vec{j}_{\text{ст}}$  – щільність сторонніх струмів;

закон електромагнітної індукції

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}, \quad (2)$$

рівняння безперервності магнітного поля

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0. \quad (3)$$

Розглядається квазістаціонарне поле. Струмами зміщення нехтуємо.

Система рівнянь (1) – (3) доповнюється рівнянням зв'язку між векторами індукції і напруженості магнітного поля і законом Ома в диференційній формі

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (4)$$

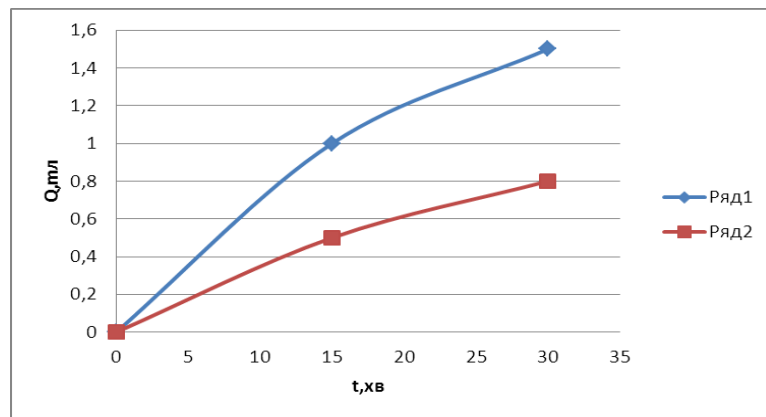
$$\vec{j} = \gamma \vec{E}, \quad (5)$$

де  $\mu = \mu_0 + \mu_{\text{в}}$  – абсолютна магнітна проникність субстрату;  $\mu_0$  – магнітна проникність вакууму;  $\mu_{\text{в}}$  – відносна магнітна проникність субстрату.

Електромагнітна індукція, що створювалась АД, становила в межах 3 – 3,5 мТл., тривалість впливу сягала 15хв, а перемішування – 2 хв. Для перемішування використовується рухома платформа (6, рис1), яка підвішена на тросах і

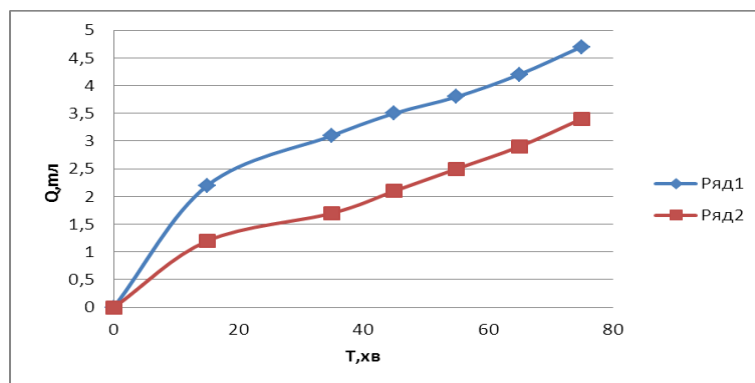
приводиться в рух від електродвигуна. Біореактори з'єднані з вимірними трубками (1, 2, рис 1), в яких залита вода. При ферментації біогаз буде витіснити воду із трубок і в залежності від інтенсивності виділення біогазу буде змінюватись рівень води, що буде визначати кількість виробленого біогазу. Вплив електромагнітним полем та перемішування проводили щодня з інтервалом вісім годин протягом 24 днів.

**Результати досліджень та їх обговорення.** На основі отриманих даних побудовані графіки динаміки виходу біогазу в різні періоди ферментації на протязі 30 хв (рис 2-6) .



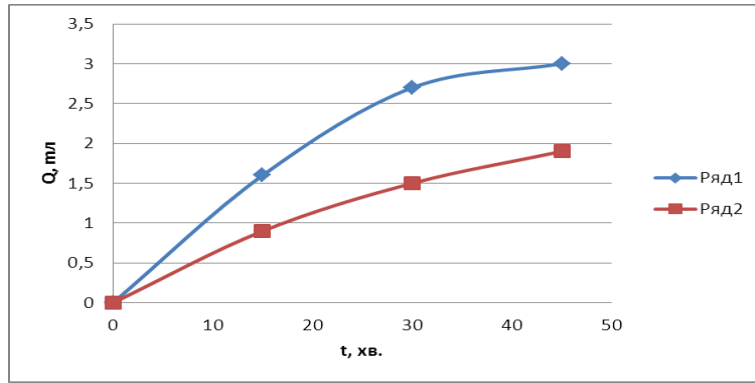
**Рис. 2. Динаміка виходу біогазу при перемішуванні і впливі електромагнітного поля на п'ятий день ферментації:**

1 – при впливі магнітного поля на субстрат; 2 – без впливу



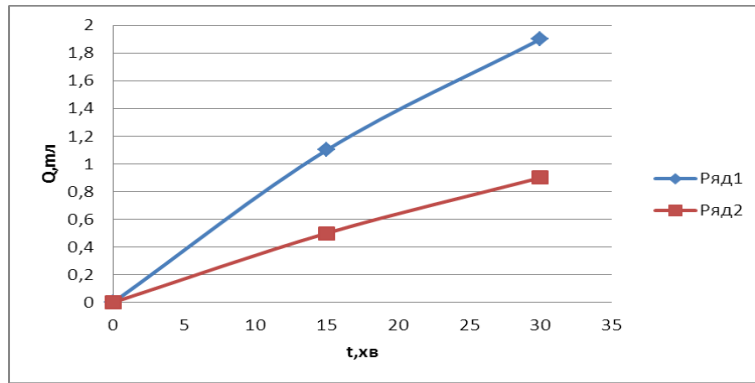
**Рис.3. Динаміка виходу біогазу на десятий день ферментації:**

1 – при впливі магнітного поля на субстрат; 2 – без впливу



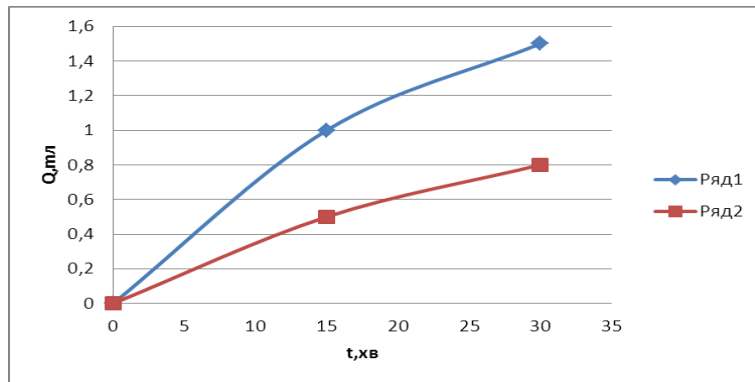
**Рис. 4. Динаміка виходу біогазу при перемішуванні і впливі електромагнітного поля на п'ятнадцятий день ферментації:**

1 – при впливі магнітного поля на субстрат; 2 – без впливу



**Рис. 5. Динаміка виходу біогазу при перемішуванні і впливі електромагнітного поля на 20 - й день ферментації:**

1 – при впливі магнітного поля на субстрат; 2 – без впливу



**Рис. 6. Динаміка виходу біогазу при перемішуванні і впливі електромагнітного поля на 24 - й день ферментації:**

1 – при впливі магнітного поля на субстрат; 2 – без впливу

Аналіз рисунків 2-6 показує, що низькочастотне електромагнітне поле впливає на процес метаногенезу і це можна пояснити наступними причинами: біостимуляцією вивільнення метану; стимулювання генерації метаногенних мікроорганізмів. У складі субстрату є дипольні молекули, які змінюють своє положення і їх молекулярний рух координується частотою магнітного змінного поля. Збільшення ступеня руху і спрямованої орієнтації органічних молекул у ферментаційній масі призводить до збільшення ймовірності контакту полярних частин метаногенних мікроорганізмів з органічною масою.

**Висновки і перспективи.** 1. Вихід біогазу при впливі електромагнітного поля на субстрат зростає в середньому на 35-40 %.

2. Максимальне зростання виходу біогазу при впливі електромагнітного поля на субстрат (майже на 100 %) припадає на активний період ферментації (10-й день).

3. Проведені експерименти показують, що при впливі електромагнітного поля на процес ферментації формуються можливості переробки більшої кількості субстрату при одностадійному зброджуванні і суттєвого покращення техніко-економічних показників біогазової установки.

#### **Список літератури**

1. The Effect of Microwave Radiation on Biogas Production Efficiency Using Different Plant Substrates / Marcin Zieliński, Marcin Dębowski, Mirosław Krzemieniewski. – World academy of science, engineering and technology, January 1999.

2. Ultrasonic Disintegration of Sewage Sludge to Increase Biogas Generation / I. Zawieja, L. Wolny // Chem. Biochem. Eng. Q., 27 (4) 491–497 (2013).

3. Effect of Constant Magnetic Field (CMF) with Various Values of Magnetic Induction on Effectiveness of Dairy Wastewater Treatment under Anaerobic Conditions / Marcin Zieliński, Marcin Dębowski, Mirosław Krzemieniewski, Magda Dudek, Anna Grala // Department of Environment Protection, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Prawocheńskiego 1, 10-957 Olsztyn, Poland Received: 4 July 2012 Accepted: 25 September 2013.

4. Technology of Electro kinetic Disintegration of Virginia Fan petals (Sidahermaphrodita) Biomass in a Biogas Production System // World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Energy and Power Engineering Vol. 10, No.4, 2016.

5. Кручинина И. Ю. Поисковые исследования характеристик и свойств специальных типов асинхронных машин с массивным ротором на основе

наноматериалов : дис. канд. техн. наук : 05.09.01 / Кручинина И. Ю. – СПб., 2006. – 118 с.

6. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган. – М. : Мир, 1986. – 318 с.

7. Иванов-Смоленский А. В. Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физическое моделирование / Иванов-Смоленский А. В. – М. : Энергия, 1969. – 304 с.

### References

1. Zieliński, Marcin, Dębowski, Marcin, Krzemieniewski, Mirosław (1999). The Effect of Microwave Radiation on Biogas Production Efficiency Using Different Plant Substrates. World academy of science, engineering and technology/

2. Zawieja, I., Wolny, L. (2013). Ultrasonic Disintegration of Sewage Sludge to Increase Biogas Generation. Chem. Biochem. Eng. Q., 27 (4), 491–497.

3. Zieliński, Marcin, Dębowski, Marcin, Krzemieniewski, Mirosław, Dudek, Magda, Grala, Anna (2012). Effect of Constant Magnetic Field (CMF) with Various Values of Magnetic Induction on Effectiveness of Dairy Wastewater Treatment under Anaerobic Conditions. Department of Environment Protection, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Prawocheńskiego 1, 10-957 Olsztyn, Poland Received: 4..

4. Technology of Electro kinetic Disintegration of Virginia Fan petals (Sidahermaphrodita) Biomass in a Biogas Production System (2016). World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Energy and Power Engineering, 10 (4).

5. Kruchinina, I. Yu. (2006). Poyskovyye yssledovaniya kharakterystyk y svoystv spetsyalnykh tyfov asynkhronnykh mashyn s massyvnyim rotorom na osnove nanomaterialov [Search investigations of characteristics and properties of special types of asynchronous machines with a massive rotor based on nanomaterials], SPb., 118 .

6. Zenkevich, O., Morgan, K. (1986). Konechnyye elementy y approksymatsiya [Finite Elements and Approximation]. Moscow: Mir, 318.

7. Ivanov-Smolensky, A. V. (1969). Elektromagnitnyye polya y protsessy v elektrycheskykh mashynakh y ykh fizycheskoe modelirovaniye [Electromagnetic fields and processes in electric machines and their physical modeling]. Moscow: Energiya, 304 .

## ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ НА ДИНАМИКУ ВЫХОДА БИОГАЗА

*Н.Н. Заблодский, П. Б. Клендий, Г. Я. Клендий*

**Аннотация.** *Целью исследования было предложить режимы и экспериментально определить закономерности влияния низкочастотного электромагнитного поля на динамику выделения биогаза. Рассмотрен вопрос влияния электромагнитного поля низкой частоты на интенсивность прохождения метаногенеза в субстрате животного происхождения при мезофильном режиме брожения. Интенсивность процесса ферментации зависит от следующих факторов: температура, влажность среды, уровень рН, соотношение С: N: P, площадь поверхности частиц сырья, частота подачи субстрата, замедляя*



вещества, стимулирующие добавки. Влияние на тот или иной фактор приводит к росту энергозатрат и себестоимости биогаза и может быть экономически нецелесообразным. Поэтому встал вопрос о разработке новых методов и средств интенсификации процесса сбраживания. На сегодня известны отдельные результаты исследований по обработке различных субстратов растительного и животного происхождения электромагнитными полями и ультразвуком. Но важными аспектами подобных исследований должны стать: раскрытие механизмов биостимуляции; энергетическая эффективность методов и доведение их до промышленной реализации. Для решения поставленной задачи сформирована цель исследований, в частности, определить режимы и закономерности влияния низкочастотного электромагнитного поля на динамику выделения биогаза. Чтобы реализовать цель, была разработана методика исследований и лабораторную установку, с помощью которой задавались нужные температурные параметры соответствующего режима брожения, создавалось круговое электромагнитное поле, автоматическое перемешивание субстратов и измерения выхода биогаза. Исследование проведено в течение полного цикла метаногенеза при использовании двух мини-биореакторов. Установлены закономерности, характеризующие динамику и условия роста выхода биогаза.

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, биогаз, субстрат, метаногенеза

## INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON BIOPHONIC EXPLOSION DYNAMIC

N. Zablodsky, P. Klendiy, G. Klendiy

**Abstract.** The aim of the study was to propose regimes and experimentally determine the laws of the influence of low-frequency electromagnetic field on the dynamics of biogas separation. The article deals with the influence of the low frequency electromagnetic field on the intensity of the passage of methanogenesis in the substrate of animal origin under the mesophilic fermentation regime. The intensity of the fermentation process depends on the following factors: temperature, humidity of the medium, pH level, ratio C: N: P, surface area of raw material particles, substrate feedrate, slowing down agents, stimulating additives. Impact on one factor or another leads to higher energy and biogas production costs and may be economically inappropriate. Therefore, the question arose about the development of new methods and means of intensifying the process of digestion. At present, certain results of studies on the processing of various substrates of plant and animal origin by electromagnetic fields and ultrasound are known. But important aspects of such studies should be: the disclosure of mechanisms of biostimulation; energy efficiency of methods and bringing them to industrial realization. To solve the problem, the purpose of the research is formed, namely, to determine the modes and patterns of the influence of the low-frequency electromagnetic field on the dynamics of biogas separation. In order to achieve the goal, a research methodology and a laboratory setup were developed, by which the required temperature parameters of the corresponding

*fermentation regime were set, a circular electromagnetic field was created, automatic mixing of substrates, and measurement of biogas output. The study was conducted during the full cycle of methanogenesis using two mini-bioreactors. Established regularities that characterize the dynamics and conditions of growth of biogas output.*

**Key words:** *low frequency electromagnetic field, biogas, substrate, methanogenesis*