

УДК 662.767.2:621.317.42

Ю.Г.Качан<sup>1</sup>, докт.техн.наук, В.Л.Коваленко<sup>2</sup>, канд.техн.наук, О.І.Лапікова<sup>3</sup> (Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя)

## Щодо впливу магнітних полів на задіяні в біометаногенезі мікроорганізми

*Проаналізовано стан сучасних досліджень щодо впливу магнітних полів на мікроорганізми, задіяні в біометаногенезі. Встановлено можливість стимуляції їх життєдіяльності та, як наслідок, збільшення виходу біогазу за рахунок впливу на субстрат магнітних полів. Бібл. 24, табл. 2.*

**Ключові слова:** біогаз, біометаногенез, магнітне поле, бактерії, мікроорганізми.

ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-1866-8442; <sup>2</sup>0000-0001-5950-4412; <sup>3</sup>000-0001-8307-802X

**Вступ.** Через зростаючий дефіцит паливних ресурсів та необхідність встановлення енергетичної незалежності на державному рівні проблема впровадження технологій виробництва і використання енергії з відновлюваних джерел набуває першочергового значення. Одним із найбільш перспективних напрямків нетрадиційної енергетики є біогазова, що пояснюється низькою вартістю сировини та наближеністю кінцевого продукту до природного газу за хімічним складом та можливими напрямками його використання.

На життєдіяльність бактерій, які беруть участь при виробництві метану з біомаси, як і на більшість живих організмів, значно впливає середовище їх проживання. Для збільшення ефективності біогазових установок зазвичай використовують додавання ферментів, тепловий вплив і перемішування, однак останні вимагають суттєвих витрат енергії, що підвищує собівартість такого виробництва. Оскільки широко застосовувані методи інтенсифікації біометаногенезу практично вичерпали себе, постає питання розробки та удосконалення нових. Наприклад, в [1] запропоновано підвищувати продуктивність метантенків та покращувати якісний склад біогазу використанням різного роду полів, на які чуйно реагують мікроорганізми, що беруть участь у процесі. Для визначення характеру, виду, тривалості

такого впливу необхідно, перш за все, більш докладно проаналізувати досвід та результати роботи провідних вчених у цьому напрямку, а також бажано провести на їх базі експериментальні дослідження.

**Постановка завдання.** Систематизувати та узагальнити інформацію, отриману вітчизняними та іноземними науковцями в результаті експериментів над різними групами бактерій і дріжджів з використанням магнітних полів різної конфігурації. Дослідити можливість інтенсифікації біометаногенезу та підвищення ефективності біогазових установок за рахунок запропонованого методу впливу.

**Результати.** Відомо, що в анаеробному зброджуванні беруть участь понад 190 різних бактерій [2] сімейств *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillaceae*, *Streptococcaceae*, представники родів *Clostridium*, *Butyrivibrio*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, які в залежності від стадії зазначеного процесу включаються в роботу з утворенням на кінцевому етапі метану. Отже, подальші дослідження, спрямовані на інтенсифікацію виділення біогазу, доцільно проводити, виходячи зі структури біометаногенезу, що наведена в таблиці 1, та переліку груп мікроорганізмів, які є переважними в той чи інший момент часу.

Таблиця 1. Характеристика етапів біометаногенезу

| Етап                                      | I. Гідроліз                                                                                                     | II. Ацидогенез                                                                                         | III. Метаногенез                                                                                                                         |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Роди бактерій, що беруть участь у процесі | <i>Clostridium, Bacteroides, Ruminococcus, Butyrivibrio</i> , мікроорганізми-бродильщики (дріжджі та водорості) | <i>Syntrophobacter, Syntrophomonas, Desulfovibrio, Clostridium, Acetobacterium</i> , метанові бактерії | <i>Methanothrix, Methanosarcina, Methanococcus, Methanogenium, Methanospirillum, Methanobacteria, Methanopyri, Methanomicrobium</i> тощо |
| Температура                               | Нагрівання до виходу на заданий режим                                                                           | 34-37°C або 52-54°C (в залежності від режиму)                                                          |                                                                                                                                          |
| Тривалість, діб                           | 1,9-2,8                                                                                                         | 4-6                                                                                                    | 5-15 (в залежності від режиму)                                                                                                           |

В сучасних дослідженнях іноземних та вітчизняних авторів слід виділити декілька основних класів експериментів із застосуванням енергії полів: переважно магнітного, електричного, комбінованого та з різною просторовою і часовою топологією. Зазначені збурення здатні викликати відповідну реакцію у більшості біологічних систем [3]. Для груп водоростей, дріжджів і грибків, що приймають участь у біометаногенезі, було виявлено залежність швидкості процесу їх життєдіяльності від напруженості, частоти, форми імпульсу, типу модуляції і тривалості впливу на них таких полів [4]. Проте достовірність згаданих результатів не завжди вдається підтвердити через різні приховані невідтворювані впливи, які практично не контролюються, такі як, наприклад, локальна інтенсивність і орієнтація геомагнітного поля Землі, космічне випромінювання, сонячна радіація тощо.

В залежності від характеру полів, ефект від впливу на мікроорганізми може відрізнятися. Так, наприклад, тема опромінення магнітними полями в дослідженнях розкрита відносно більше, в основному через простоту експериментальної бази і збільшену глибину його проникнення в середовище. Статичні або змінні магнітні поля зазвичай створювалися постійними магнітами або електромагнітними котушками, наприклад, Гельмгольца.

Однією з реакцій на таку стимуляцію є прискорення процесів обміну речовин у досліджуваному зразку і, відповідно, побічне збільшення вироблення метану. Так, Г.Єригін та ін. [5] опромінювали впродовж 3-х годин бактерії *Bacillus mucilaginous* магнітним полем з індукцією ~

0,26 Тл у різних середовищах і порівняли результат з контрольною культурою. В рідині, що складалася з феромагнітних солей, а також у сухій сироватці спостерігалось швидке їх зростання, у середньому в три рази. Також, як підтвердили дослідження Р.Моора [6], вплив слабого магнітного поля порядку 5-90 мТл частотою 0,3 Гц провокує максимальний ріст колонії при величині індукції 15 мТл і його гальмування при 30 мТл.

Експерименти з використанням змінних магнітних полів різного характеру відкрили нові ефекти, пов'язані з резонансними явищами в живих організмах. Так, біостимуляція тривалістю 8-10 годин бактерії *Pseudomonas stutzeri* пульсуючим полем з індукцією в діапазоні 0,6-1,3 мТл привела до зростання об'єму біомаси на 10-30% у порівнянні з необробленою культурою [7].

Крім середовища, типу магнітного поля і його інтенсивності, тривалість впливу також є важливим фактором, який визначає динаміку розвитку мікроорганізмів і результуючу реакцію на такі збурення. О.Джусто та ін. [8] встановили, що зростання кишкової палички *E.Coli* можна стимулювати або гальмувати змінним магнітним полем індуктивністю порядку 100 мТл вкрай низької частоти. Такі клітини після опромінення протягом 6,5 годин мали в 100 разів більшу життєздатність, ніж необроблені. Даний ефект пояснюється зміною проникності мембран і збільшенням кількості іонів корисних речовин у живильному середовищі під дією зовнішнього опромінювання.

Серед науково-дослідницьких груп Японії та Китаю переважають тенденції стимуляції ціано-бактерій *Spirulina platensis* постійними магнітними

ми полями. М.Хірано та ін. [9] встановили залежність питомої швидкості їх росту, яка була в середньому в 1,57 рази більшою порівняно з необробленою культурою, а максимальною – за додаткових умов, а саме низькій інтенсивності світла. Спостереження С.Лі та ін. [10] доводять збільшення кількості сухої біомаси на 47% і 22% на шостий і восьмий день відповідно за наявності однорідного магнітного поля напруженістю порядку 250 мТл.

Ф.Такахаші та ін. [11] у дослідях використовували магнітний потік до 58 мТл під час вирощування водоростей *Chlorella vulgaris* і отримали найкращий результат, а саме – подвійне збільшення швидкості їх росту при його щільності близько 40 мТл. Поле при цьому було створене особливої форми електромагнітом із двома ярмами, який концентрував його в поперечному перерізі невеликої площини [11]. Вплив статичних магнітних полів індукцією до 230 мТл на *Dunaliella salina*, що використовували Ю.Ямаока та ін. [12], привів до прискорення розвитку цих мікроорганізмів, пік якого припав на 10 мТл. Крім того, дріжджі *Saccharomyces fragilis* при 0,26 мТл розмножувалися на 27-36% швидше в порівнянні з необробленою культурою в сухому живильному середовищі, але пригнічувалися в рідкому [13].

В роботах Ю.Фідлера і співавторів [14] зазначається використання магнітного поля промислової частоти 50 Гц з індукцією 0,28-12 мТл, створеного індуктивно пов'язаними котушками Гельмгольца. Після 9 годин спостережень за *S.Cerevisiae* встановлено, що максимальне їх зростання на 17% відбувається при оптимальній інтенсивності 0,5 мТл.

Серед науковців передових країн світу розповсюджена така категорія досліджень, де в якості інтенсифікатора біометаногенезу використовуються поля різного роду від декількох незалежних джерел, тобто зі складною просторовою або часовою топологією. Було доведено, що амплітуда магнітного поля є не єдиним параметром, який впливає на результати експериментів, а такі характеристики, як градієнт і симетрія також можуть мати істотне значення [15].

Так, Н.Мазур [16] досліджував вплив на біологічні зразки кількох магнітних полів у суперпозиції. В шестиполосній системі з котушками змінної полярності та індукцією 0,39-0,52 Тл біосинтез дріжджів *S.Cerevisiae* активізувався навіть в аеробних умовах. Крім того, час досягнення необхідного рівня ферментації знизився з 76 до 53 хвилин, а виробництво вуглекислого газу та розчиненого у воді кисню різко збільшилося, що вказує на стрімке підвищення мальтазної активності.

Також у [17–19] були вивчені аспекти впливу на мікроорганізми системою з комбінацією постійного і змінного полів. Встановлено, що реакція клітин у такому випадку залежить від просторової орієнтації останніх, і їх перпендикулярність провокує найбільший ефект [19]. Крім того, в [20] доведено, що існує фундаментальна різниця між кінцевим ефектом від стимуляції імпульсним та постійним магнітним полем, а в деяких випадках напрям сумарного вектора може мати вирішальне значення для протікання процесів життєдіяльності, а отже, буде визначати інтенсивність виділення біогазу і ефективність процесу в цілому.

Результати досліджень біостимулювання мікроорганізмів полями від взаємозалежних багатополярних електромагнітних систем були описані В.Ленським [21] і А.Заваліним [22, 23]. Ними встановлено, що серед них 6-полосна конфігурація є найбільш ефективною, а максимальне збільшення виходу біогазу до 200% в лабораторних умовах спостерігається при фіксованих частотах 60 Гц і 0,35-2,1 кГц [22, 23]. Однак останні було обрано довільно і, очевидно, їх не можна вважати оптимальними, що свідчить про великий потенціал такої стимуляції, і багатополярними системами зокрема [24].

У таблиці 2 наведено узагальнену інформацію щодо спостережень, які проводилися над мікроорганізмами за впливу однорідних магнітних полів та зі складною просторовою топологією. З таблиці видно, що проведені дослідження мали безсистемний характер, а параметри впливу вибіркові і в деяких випадках невідомі, що свідчить про необхідність їх подальшого уточнення шляхом проведення відповідних дослідів та експериментів.

Таблиця 2. Результати досліджень з використанням магнітних полів

| Вид поля                           | Найменування мікроорганізму     | Параметри поля                | Тривалість впливу, год | Результат                                                                               |
|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Магнітне поле                      |                                 |                               |                        |                                                                                         |
| Постійне                           | <i>Bacillus mucilaginous</i>    | 260 мТл                       | 3                      | Зростання колонії в 3 рази                                                              |
|                                    | Різні бактерії та дріжджі       | 5-9 мТл                       | —                      | Максимальне зростання при 15 мТл і пригнічення росту при 30 мТл                         |
|                                    | <i>Dunaliella salina</i>        | до 230 мТл                    | —                      | Максимальне збільшення швидкості росту при 10 мТл                                       |
|                                    | <i>Saccharomyces fragilis</i>   |                               | 3                      | Зростання темпу розмноження на 27-36% в сухому середовищі, в рідкому – пригнічення      |
|                                    | <i>Spirulina platensis</i>      | 10 мТл                        | —                      | Питома швидкість зростання збільшилася на 30%                                           |
|                                    |                                 | 250 мТл                       | 144<br>192             | Збільшення об'єму біомаси на 47%<br>Збільшення об'єму біомаси на 22%                    |
| Змінне                             | <i>Chlorella vulgaris</i>       | 6-58 мТл                      | —                      | Прискорення росту в 2 рази при 40 мТл                                                   |
|                                    | <i>Pseudomonas stutzeri</i>     | 0,6-1,3 мТл                   | 8-10                   | Збільшення об'єму біомаси на 10-30%                                                     |
|                                    | <i>E.Coli</i>                   | 100 мТл, вкрай низькі частоти | 6,5                    | Прискорення життєдіяльності в 100 разів                                                 |
|                                    | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 0,28-12 мТл                   | 9                      | Максимальне зростання біомаси при 0,5 мТл                                               |
| Зі складною просторовою топологією |                                 |                               |                        |                                                                                         |
| Багатополосна конфігурація         | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 390-520 мТл                   | —                      | Зменшення періоду ферментації з 76 до 53 хвилин                                         |
|                                    | Різні бактерії та дріжджі       | Частота 60 Гц, 0,35-2,1 кГц   | —                      | Підвищення рівня виходу біогазу в 2 рази                                                |
| Комбіноване постійне і змінне      | Різні бактерії та дріжджі       | —                             | —                      | Як зростання, так і зниження швидкості розмноження в залежності від конфігурації полів. |

**Висновки.** В результаті аналізу досліджень, проведених іноземними та вітчизняним вченими над широкими групами мікроорганізмів при використанні різних магнітних збурень, виявлено залежність біологічних ефектів у групах бактерій від характеру та інтенсивності впливу і встановлено, що для подальших експериментів найбільш цікавим є опромінення їх магнітним полем інтенсивністю до 15 мТл, оскільки саме в цьому діапазоні спостерігався максимальний позитивний ефект.

Встановлено, що на різних етапах біометаногенезу активно задіяні різні групи мікроорганізмів, тому оптимальні параметри їх стимуляції

можуть суттєво відрізнятися. Отже, є доцільним розглянути можливість встановлення динамічного режиму впливу на біомасу шляхом розробки відповідної системи керування полями. Застосування останньої може спровокувати найбільш суттєвий результат і в майбутньому мати широке розповсюдження на підприємствах різних галузей промисловості, в тому числі в енергетичній та металургійній.

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

2. Эдер Б., Шульц Х. "Биогазовые установки. Практическое пособие под научной редакцией Реддиха И.А.", Zorg Biogas, 2011.
3. Pilla, A.A.; Markov, M.S. Bioeffects of weak electromagnetic fields. *Rev. Environ. Health* 1994, 10, 155–169.
4. Hunt R.W., Zavalin A., Bhatnagar A., Chinnasamy S. and Das K. Electromagnetic "Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy. Applications" *International Journal of Molecular Sciences, Int. J. Mol. Sci.* 2009, 10.
5. Erygin, G.D.; Pchedlkina, V.V.; Kulikova, A.K.; Rurina, N.G.; Bezborodov, A.M.; Gogolev, M.N. Influence on microorganism growth and development of nutrient medium treatment with magnetic field. *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.* 1988, 24, 257–263.
6. Moore, R.L. Biological effects of magnetic fields: Studies with microorganisms. *Can. J. Microbiol.* 1979, 25, 1145–1151.
7. Hönes, I.; Pospischil, A.; Berg, H. Electrostimulation of proliferation of the denitrifying bacterium *Pseudomonas stutzeri*. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 1998, 44, 275–277.
8. Justo, O.R.; Pérez, V.H.; Alvarez, D.C.; Alegre, R.M. Growth of *Escherichia coli* under extremely low-frequency electromagnetic fields. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2006, 134, 155–163.
9. Hirano, M.; Ohta, A.; Abe, K. Magnetic field effects on photosynthesis and growth of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. *J. Ferment. Bioeng.* 1998, 86, 313–316.
10. Li, Z.-Y.; Guo, S.-Y.; Lin, L.; Cai, M.-Y. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor. *Bioresour. Technol.* 2007, 98, 700–705.
11. Takahashi, F.; Kamezaki, T. Effect of magnetism of growth of *Chlorella*. *Hakkokogaku* 1985, 63, 71–74.
12. Yamaoka, Y.; Takimura, O.; Fuse, H.; Kamimura, K. Effect of magnetism on growth of *Dunaliella salina*. *Res. Photosynth.* 1992, 3, 87–90.
13. Erygin, G.D.; Pchedlkina, V.V.; Kulikova, A.K.; Rurina, N.G.; Bezborodov, A.M.; Gogolev, M.N. Influence on microorganism growth and development of nutrient medium treatment with magnetic field. *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.* 1988, 24, 257–263.
14. Fiedler, U.; Grobner, U.; Berg, H. Electrostimulation of yeast proliferation. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 1995, 38, 423–425.
15. Engstrom, S.; Markov, M.; McLean, M.; Holcomb, R.; Marko, J. Effects of non-uniform static magnetic fields on the rate of myosin phosphorylation. *Bioelectromagnetics* 2002, 23, 475–479.
16. Smith, S.; McLeod, B.R.; Liboff, A.R.; Cooksey, K. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. *Bioelectromagnetics* 1987, 8, 215–227.
17. Blackman, C.; Benane, S.G.; House, D.E.; Elliott, D.J. Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in response to brain tissue in vitro and in vivo. *Bioelectromagnetics* 1990, 11, 159–167.
18. Reese, J.; Frazier, M.E.; Morris, J.E.; Buschbom, R.L. Evaluation of changes in diatom mobility after exposure to 16-Hz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1991, 12, 21–25.
19. Blackman, C.; Blanchard, J.P.; Benane, S.G.; House, D.E. Effect of AC and DC magnetic field orientation on nerve cells. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1996, 220, 807–811.
20. Pilla, A.A.; Kaufman, J.J.; Ryaby, J.T. 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.; 1987; pp. 39–61.
21. Lensky, V. Generation of multipolar electromagnetic energy. US Patent Application: 20,080,112,111, 2006.
22. Zavalin, A.; Collins, W.E.; Morgan, S. In *A Compensation Zone of Multipolar System of EM Fields Stimulates Bacterial Growth*, *Proceeds of the 24th Meeting of Bioelectromagnetics Society*, Quebec, Canada, 2002; pp. 8–9.
23. Zavalin, A.; Lensky, V.; McCarroll, P.; Westbrook, R.; Collins, W.E.; Morgan, S. Biostimulation of microorganisms exposed to multipolar systems of mutually compensated EMF. *Bioelectromagnetics* 2009, in review.
24. Rein, G. Bioinformation within the biofield: Beyond bioelectromagnetics. *J. Altern. Complem. Med.* 2004, 10, 59–68.

## REFERENCES

1. Kachan YG, Kovalenko VL, Lapikova AI *Analysis of the effectiveness and prospects of biogas energy. Proceedings of the International Conference "Renewable Energy 21"*. Kyiv National University, Kyiv, 2015, 353–355.
2. Эдер Б., Шульц Х. "Биогазовые установки. Практическое пособие под научной редакцией Реддиха И.А.", Zorg Biogas, 2011.
3. Pilla, A.A.; Markov, M.S. Bioeffects of weak electromagnetic fields. *Rev. Environ. Health* 1994, 10, 155–169.
4. Hunt R.W., Zavalin A., Bhatnagar A., Chinnasamy S. and Das K. Electromagnetic "Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy. Applications" *International Journal of Molecular Sciences, Int. J. Mol. Sci.* 2009, 10.
5. Erygin, G.D.; Pchedlkina, V.V.; Kulikova, A.K.; Rurina, N.G.; Bezborodov, A.M.; Gogolev, M.N. Influence on microorganism growth and development of nutrient medium treatment with magnetic field. *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.* 1988, 24, 257–263.
6. Moore, R.L. Biological effects of magnetic fields: Studies with microorganisms. *Can. J. Microbiol.* 1979, 25, 1145–1151.
7. Hönes, I.; Pospischil, A.; Berg, H. Electrostimulation of proliferation of the denitrifying bacterium *Pseudomonas stutzeri*. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 1998, 44, 275–277.
8. Justo, O.R.; Pérez, V.H.; Alvarez, D.C.; Alegre, R.M. Growth of *Escherichia coli* under extremely low-frequency electromagnetic fields. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2006, 134, 155–163.

31. Hirano, M.; Ohta, A.; Abe, K. Magnetic field effects on photosynthesis and growth of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. J. Ferment. Bioeng. 1998, 86, 313–316.

32. Li, Z.-Y.; Guo, S.-Y.; Lin, L.; Cai, M.-Y. Effects of electromagnetic field on the batch cultivation and nutritional composition of *Spirulina platensis* in an air-lift photobioreactor. Bioresour. Technol. 2007, 98, 700–705.

33. Takahashi, F.; Kamezaki, T. Effect of magnetism of growth of *Chlorella*. Hakkokogaku 1985, 63, 71–74.

34. Yamaoka, Y.; Takimura, O.; Fuse, H.; Kamimura, K. Effect of magnetism on growth of *Dunaliella salina*. Res. Photosynth. 1992, 3, 87–90.

35. Erygin, G.D.; Pchedlkina, V.V.; Kulikova, A.K.; Rurina, N.G.; Bezborodov, A.M.; Gogolev, M.N. Influence on microorganism growth and development of nutrient medium treatment with magnetic field. Prikl. Biokhim. Mikrobiol. 1988, 24, 257–263.

36. Fiedler, U.; Grobner, U.; Berg, H. Electrostimulation of yeast proliferation. Bioelectrochem. Bioenerg. 1995, 38, 423–425.

37. Engstrom, S.; Markov, M.; McLean, M.; Holcomb, R.; Marko, J. Effects of non-uniform static magnetic fields on the rate of myosin phosphorylation. Bioelectromagnetics 2002, 23, 475–479.

38. Smith, S.; McLeod, B.R.; Liboff, A.R.; Cooksey, K. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. Bioelectromagnetics 1987, 8, 215–227.

39. Blackman, C.; Benane, S.G.; House, D.E.; Elliott, D.J. Importance of alignment between local DC magnetic field and an oscillating magnetic field in response to brain tissue in vitro and in vivo. Bioelectromagnetics 1990, 11, 159–167.

40. Reese, J.; Frazier, M.E.; Morris, J.E.; Buschbom, R.L. Evaluation of changes in diatom mobility after exposure to 16-Hz electromagnetic fields. Bioelectromagnetics 1991, 12, 21–25.

41. Blackman, C.; Blanchard, J.P.; Benane, S.G.; House, D.E. Effect of AC and DC magnetic field orientation on nerve cells. Biochem. Biophys. Res. Commun. 1996, 220, 807–811.

42. Pilla, A.A.; Kaufman, J.J.; Ryaby, J.T. 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.; 1987; pp. 39–61.

43. Lensky, V. Generation of multipolar electromagnetic energy. US Patent Application: 20,080,112,111, 2006.

44. Zavalin, A.; Collins, W.E.; Morgan, S. In A Compensation Zone of Multipolar System of EM Fields Stimulates Bacterial Growth, Proceeds of the 24th Meeting of Bioelectromagnetics Society, Quebec, Canada, 2002; pp. 8–9.

45. Zavalin, A.; Lensky, V.; McCarroll, P.; Westbrook, R.; Collins, W.E.; Morgan, S. Biostimulation of microorganisms exposed to multipolar systems of mutually compensated EMF. Bioelectromagnetics 2009, in review.

46. Rein, G. Bioinformation within the biofield: Beyond bioelectromagnetics. J. Altern. Complement. Med. 2004, 10, 59–68.

Ю.Г.Качан, докт.техн.наук, В.Л.Коваленко, канд.техн.наук, О.И.Липикова (Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье)

#### Относительно влияния магнитных полей на задействованные в биометаногенезе микроорганизмы

*Проанализировано состояние современных исследований воздействия магнитных полей на микроорганизмы, задействованные в биометаногенезе. Установлена возможность стимуляции их жизнедеятельности и, как следствие, увеличения выхода биогаза за счет влияния на субстрат магнитных полей. Библ. 24, табл. 2.*

**Ключевые слова:** биогаз, биометаногенез, магнитное поле, бактерии, микроорганизмы.

Kachan Y.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; Lipikova O.I., the Assistant of department "Electrical Engineering and Energy Efficiency" (Zaporizhzhya State Engineering Academy, Zaporizhzhya)

#### Regarding the influence of magnetic fields on microorganisms involved in biometanogenesis

*The state of contemporary research on the impacts of magnetic fields on microorganisms involved in biometanogenesis is analyzed. The possibility of stimulation of their life and, as a consequence, increase the yield of biogas due to the influence on the substrate of magnetic fields is established. References 24, tables 2.*

**Keywords:** biogas, biometanogenesis, magnetic field, bacteria, microorganisms.

#### SYNOPSIS

The article analyzes the current state of research on the influence of magnetic fields of different configurations on microorganisms. Overview information received by domestic and foreign scientists in experiments on groups of bacteria and yeast that are involved in biometanogenesis. The possibility of stimulating microorganisms involved in biometanogenesis and, consequently, increase the yield of biogas by exposure to magnetic fields substrate. The existence of biological effects depending on the settings specified exposure: intensity, frequency, modulation type and duration. The analysis revealed unsystematic and selectivity of previous studies and the need to further refine the intensification biometanogenesis every step, optimal in terms of efficiency.

Стаття надійшла до редакції 30.01.17

Остаточна версія 27.02.17