

**Расчетные параметры адаптации ленточных конвейеров из типовых элементов**

Характеристики выработки			Конвейер из типовых элементов			Результаты расчета				
$l$ , м	$\beta$ , град	$Q$ , т/ч	Ширина ленты, м	Линейная масса груза, кг/м	Скорость ленты, м/с	Мощность привода, кВт	Кз	КПД	$\cos\varphi$	Э, кВт.ч/т.км
800	0	300	0,8	41,6	2,0	85	1	0,89	0,74	0,120
1000	0	700	1,0	77,8	2,5	140	1	0,89	0,74	0,250
750	12	1000	1,2	88	3,15	650	1	0,89	0,74	1,316

**Выводы.** В расчетах затрат энергии на транспортирование груза ленточным конвейером следует учитывать степень загрузки двигателя по моменту на его валу в соответствии с которой устанавливать его КПД и коэффициент мощности электрической сети –  $\cos\varphi$ .

Построение конвейерных линий шахт из типовых конвейеров приводит к существенной их недогрузке из-за того, что их длины, мощности приводов, установленные заводами изготовителями максимально возможными, в реальных условиях имеют меньшие значения. Уменьшение длины или производительности поступающего грузопотока влечет за собой снижение КПД двигателя и коэффициента мощности электрической сети –  $\cos\varphi$ , что увеличивает на 20-30% удельные затраты энергии на транспортирование груза.

При переходе к проектированию ленточных конвейеров из типовых элементов конвейер будет максимально приближен к реальным условиям эксплуатации, КПД двигателя и коэффициент мощности –  $\cos\varphi$  будут иметь максимально возможные значения. Отклонение мощности двигателя в большую сторону от необходимой будет определяться шагом ряда мощностей стандартных двигателей.

При холостом режиме работы конвейер потребляет от 14 до 25 % энергии от режима его работы с полной нагрузкой в зависимости от горнотехнических условий. Сократить до минимума эти потери энергии можно с помощью ограничителя холостого хода, которые отключает привод автоматически при отсутствии груза на ленте.

**Список использованных источников**

1. В.И. Тарасов Оценка совершенства ленточноконвейера по энергетическому показателю /В.И.Тарасов // Розробка родовищ -2015:щорічний наук.-техн.зб.- Д: Літограф, 2015.с.155-161.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн.наук, проф. Заболотним К. С.*

УДК 662.767.2:621.317.42

**В. Л. Коваленко, канд. техн. наук О. І. Лапікова**  
(Україна, Запоріжжя, Запорізький Національний Університет)

**Є. В. Кузнецова**  
(Україна, Дніпро, Національна металургійна академія України)

**А.В. Кузнецова, Д.В. Галушко**  
(Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара)

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ  
ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ УТВОРЕННЯ БІОГАЗУ  
ПРИ МЕЗОФІЛЬНОМУ ТЕМПЕРАТУРНОМУ РЕЖИМІ**

**Анотація.** У статті приведено результати експериментальних досліджень щодо визначення можливості інтенсифікації біометаногенезу і встановлення кількісних показників роботи біореактора за умови оптимальних величин напруженості електричного поля. 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 мезофільного режиму роботи біореактору. Наведено лабораторну установку, розроблену для проведення значених дослідів щодо впливу електричного поля на субстрат та роботу біореактору. Представлено

енергетичні характеристики для мезофільного температурного режиму: загальний обсяг виділеного біогазу та динаміку його виходу в залежності від напруженості електричного поля.

**Ключові слова:** біогаз, біометаногенез, електричне поле, лабораторна установка, біогазова установка, мезофільний температурний режим

**Анотація.** В статті приведені результати експериментальних досліджень по визначенню можливості інтенсифікації біометаногенезу та встановлення кількісних показателів роботи біореактора при оптимальних величинах напруженості електричного поля. Проведена серія експериментальних циклів біометаногенезу при різній напруженості електричного поля, діючої на субстрат. Встановлено діапазон значень напруженості для максимізації виходу біогазу шляхом застосування поля в умовах мезофільного режиму роботи біореактора. Приведена лабораторна установка, розроблена для проведення вказаних експериментів по впливу електричного поля на субстрат і роботу біореактора. Представлені енергетичні характеристики для мезофільного температурного режиму: загальний обсяг виділеного біогазу та динаміку його виходу в залежності від напруженості електричного поля.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, предиктивная модель, асинхронный двигатель, сети промышленных предприятий, мезофильный температурный режим

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies to determine the possibility of intensifying biomethanogenesis and establishing quantitative indicators of the bioreactor at optimal electric field strengths. A series of experimental cycles of biomethanogenesis was carried out at various electric field strengths acting on the substrate. A range of tension values has been established to maximize the biogas yield by applying the field under the conditions of the mesophilic bioreactor operation mode. A laboratory setup is developed for carrying out the indicated experiments on the effect of an electric field on a substrate and the operation of a bioreactor. The energy characteristics for the mesophilic temperature regime are presented: the total volume of biogas released and the dynamics of its output depending on the electric field strength.

**Keywords:** biogas, biomethanogenesis, electric field, laboratory equipment, biogas plant, mesophilic temperature regime

**Вступ.** Стрімкий розвиток альтернативної енергетики в сучасних політико-економічних умовах вимагає безперервного вдосконалення систем отримання біогазу, зокрема за рахунок впровадження нових, більш ефективних способів підвищення продуктивності метантенків [1]. На базі проведеного аналізу результатів іноземних і вітчизняних досліджень встановлено можливість інтенсифікації біометаногенезу та збільшення обсягу виділеного газу шляхом впливу на субстрат постійним електричним полем [2]. Втім, безсистемний та вибіркового характеру попередніх робіт у даній галузі не дозволяє встановити необхідну інтенсивність зазначеного впливу, а отже, і доцільність його застосування в умовах реального виробництва.

**Постановка задачі.** Зосередженість відомих наукових досліджень лише на виявленні впливу електричного поля на окремі групи мікроорганізмів та відсутність комплексного підходу в питанні його енергетичної і економічної ефективності обумовлюють потребу в розробці загальної концепції та послідовності проведення серії експериментів, які б дозволили оцінити доцільність зазначеного впливу на субстрат в цілому та встановити оптимальну його інтенсивність, що дозволить максимізувати обсяги виходу біогазу впродовж всього циклу. Відсутність лабораторних установок, які б забезпечили можливість дослідити процес виробництва біогазу на всіх його етапах в залежності від різних режимів підігріву, перемішування і електричного впливу, зумовлює необхідність створення фізичної моделі, яка буде відповідати поставленому завданню.

**Мета роботи.** Розробити послідовність проведення експериментальних циклів впливу на субстрат постійним електричним полем, яка б дозволила встановити оптимальну його інтенсивність задля максимізації обсягів виходу біогазу при мезофільному температурному режимі роботи біореактору. Встановити кількісні показники та оцінити доцільність такої стимуляції в заданому температурному режимі під дією зазначеного впливу.

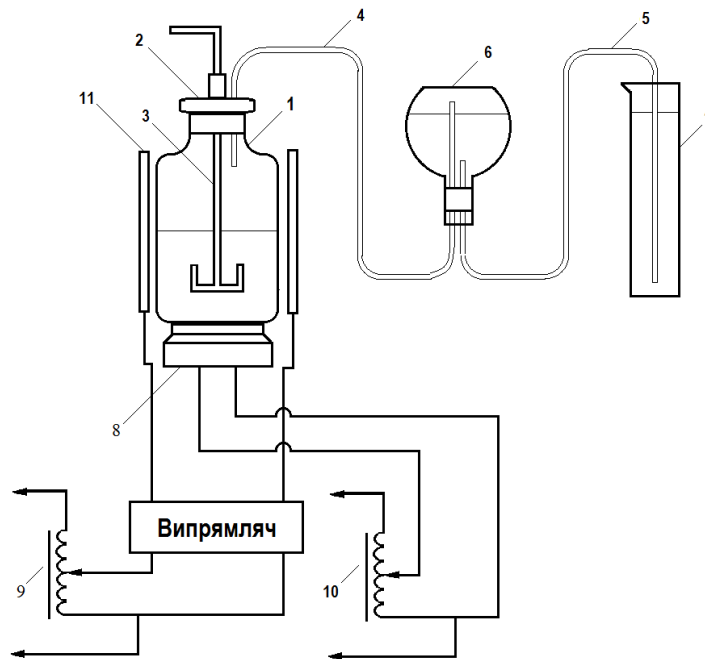
**Матеріали дослідження.** Виробництво біогазу, як найбільш перспективна в умовах України галузь відновлюваної енергетики, потребує подальшого розвитку шляхом розробки та впровадження нових методів збільшення продуктивності метантенків і підвищення ефективності біогазових установок в цілому. В результаті проведеного аналізу літературних джерел виявлено недостатньо досліджений спосіб інтенсифікації процесу біометаногенезу впливом на субстрат електричного поля. В залежності від параметрів електричного поля може виступати як стимулятором, так і інгібітором.

Запропонована послідовність проведення експерименту передбачає необхідну з погляду статистичної достовірності кількість циклів біометаногенезу, при перебігу яких дотримуються задана температура, інтенсивність перемішування та напруженість електричного поля. При цьому впродовж кожного з експериментальних циклів фіксується обсяг та динаміка виходу зібраної біогазової суміші.

Перший цикл проводиться без впливу електричного поля. Отриманий сумарний обсяг зібраної біогазової суміші приймається за контрольний показник. Другий цикл необхідно провести при впливі електричного поля максимально можливої інтенсивності, за якої у відомих дослідженнях виявлена стимуляція життєдіяльності задіяних у процесі мікроорганізмів [3,4,5]. При кожному наступному експериментальному циклі напруженість поля необхідно поступово зменшувати від граничного значення до такого рівня, коли обсяг зібраного при цьому біогазу, після одержання найбільшого значення стане наблизатися до контрольної величини.

Відомо, що робота переважної більшості біогазових установок відбувається при дотриманні термофільного (52-58 °С) або мезофільного (30-35 °С) температурного режиму. При виході температури субстрату за вказані межі спостерігається пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, задіяних в процесі біологічної переробки субстрату, і гальмування біометаногенезу до повного його припинення включно. Дотримання вказаних режимів передбачає активізацію, зростання і розмноження специфічних, притаманних тільки їм, груп мікроорганізмів на окремих, зсунутих у часі, етапах виробництва біогазу. Оскільки кожен вид бактерій і дріжджів має індивідуальну реакцію на вплив електричного поля, це зумовлює необхідність повторення ґрунтовних досліджень окремо для термофільного і мезофільного температурних режимів.

Для проведення зазначених експериментів і подальшого встановлення оптимального діапазону напруженості поля застосовано лабораторну біогазову установку зменшених розмірів [6], яка дозволяє варіювати температуру, інтенсивність перемішування і рівень напруженості електричного поля (рис. 1). В ній електричне поле рівномірно розподіляється двома алюмінієвими пластинами, які розташовані навколо резервуару 1 на ізоляційному каркасі і легко знімаються. Режими нагріву, напруга на пластинах 11, а отже, і напруженість електричного поля регулюються за рахунок лабораторних автотрансформаторів 10, діодного мосту та контролюється вольтметром.



**Рис. 1 – Біогазова установка для дослідження впливу електричного поля 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

З її використанням проведено серію експериментів при мезофільному температурному режимі. Він потребує менших енергетичних витрат на власні потреби у порівнянні з термофільним за рахунок необхідності дотримання нижчих температур і є доцільним з енергетичної точки зору, а також найчастіше застосовується у промислових установках великого об'єму, й розрахованих на супутнє виробництво органічних добрив включно. Для експерименту використано субстрат з відходів життєдіяльності великої рогатої худоби, розбавлений до вологості 95-97%. Об'єм застосованого реактору – 3 дм<sup>3</sup>.

Перший цикл біометаногенезу проведено без застосування електричного поля. Виділення біогазу при цьому почалося протягом другої доби, а робота установки до повного його припинення тривала 9

діб. Сумарно за весь час зібрано 3410 см<sup>3</sup> біогазової суміші. Цей об'єм прийнято за контрольний показник для подальшого порівняння.

Об'єм виробленого біогазу приводиться до нормальних умов для сухого газу [7]:

$$V_{\text{БГ,н.у}} = \frac{T_0 P_1}{T_1 P_0} \left(1 - \frac{P_{\text{в}}}{P_1}\right) V_{\text{БГ}}, \quad (1)$$

де  $T_0$ ,  $K$  та  $P_0$ , кПа – температура та атмосферний тиск за нормальних умов відповідно;  $T_1$ ,  $K$  та  $P_1$ , кПа – температура та атмосферний тиск в лабораторному приміщенні, за яких виконувалось вимірювання об'єму виробленого біогазу;  $V_{\text{БГ}}$  – об'єм виробленого біогазу за умов навколишнього середовища, дм<sup>3</sup>;  $P_{\text{в}}$  – тиск насиченої водяної пари, кПа.

В результаті проведення наступних експериментальних циклів згідно з запланованою послідовністю найбільш значний позитивний ефект спостерігався при напруженості постійного електричного поля всередині біореактору величиною 0,95 В/см. Газовиділення при цьому розпочалося вже в першу добу зі значно вищою інтенсивністю. При заданих параметрах впливу спостерігалось не тільки збільшення сумарного обсягу продукованого газу в 2,52 рази порівняно з контрольним показником, але й скорочення тривалості циклу до 5 діб, що зумовлює суттєве підвищення загальної ефективності роботи біогазової установки.

Проведення повторних експериментів за тих самих умов показало подібні результати. Відхилення кількості зібраного біогазу як в динаміці, так і в цілому за цикл не перевищує 2,5%, що дозволяє вважати результати досліджень ідентичними та достовірними.

Динаміку виділення біогазу впродовж базового та зазначеного експериментальних циклів наведено в таблиці 1 та зображено на рисунках 2, 3.

Таблиця 1 - Динаміка виходу біогазу при мезофільному температурному режимі

Доба	Напруженість поля, В/см	
	0	0,95
1	0	1760
2	960	1860
3	650	1860
4	500	1880
5	500	1250
6	350	0
7	200	0
8	150	0
9	100	0
10	0	0
<b>Разом, см<sup>3</sup></b>	<b>3410</b>	<b>8610</b>
<b>% від контрольного показника</b>	<b>100</b>	<b>252,5</b>

**Висновки.** В роботі на основі запропонованої фізичної моделі біогазової установки виконано дослідження впливу електричного поля на субстрат при різних температурних режимах процесу біометаногенезу. Дослідним шляхом встановлено оптимальний рівень напруженості для максимізації обсягів виходу біогазу в мезофільному температурному режимі роботи біогазової установки, який складає 0,94±0,15 В/см. При цьому доведено можливість збільшення продуктивності установки в 2,52 рази і скорочення тривалості циклу з 9 до 5 діб.

Оскільки при різних температурних режимах задіяні окремі види мікроорганізмів, які мають специфічну реакцію на вплив електричного поля, необхідно провести порівняння результатів від такого методу стимуляції при різних температурах субстрату і визначити найбільш економічно ефективну комбінацію температурного та електричного впливу на нього.

Отримані результати можуть стати основою для створення відповідних рекомендацій, методик та алгоритмів керування процесом отримання біогазу задля підвищення енергетичної ефективності біоенергетичних реакторів.

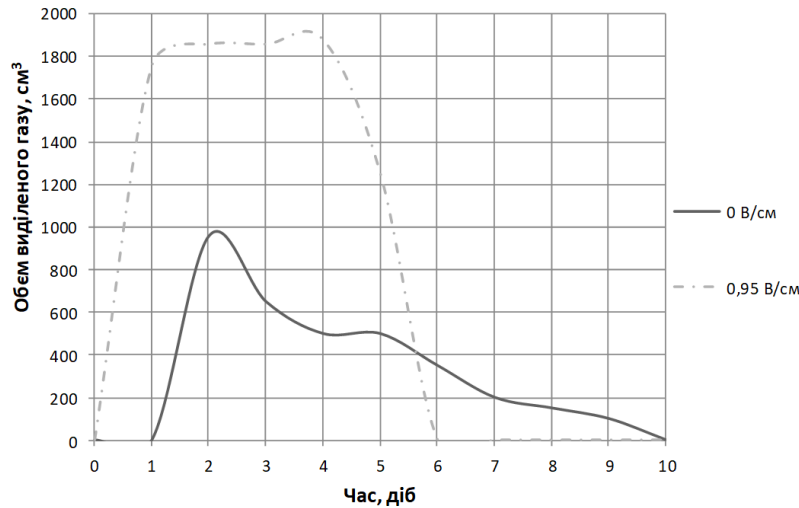


Рис. 2. Динаміка виділення біогазу впродовж проведених циклів біометаногенезу

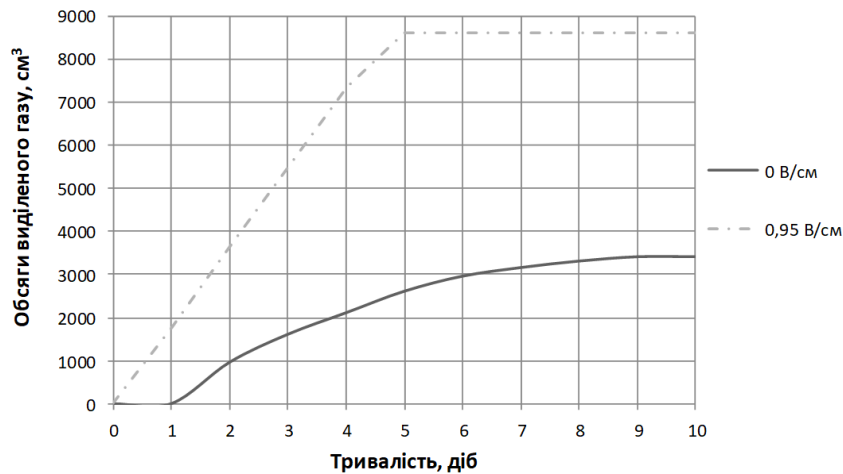


Рис. 3. Інтегрована залежність виділення біогазу впродовж циклу

#### Список використаних джерел

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. Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І. Щодо впливу електричних полів та мікрохвильового випромінювання на мікроорганізми, задіяні в біометаногенезі. Журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія», КПП, Київ, №4, 2016.
3. Hunt R.W., Zavalin A., Bhatnagar A., Chinnasamy S., Das K.C. Electromagnetic Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy Applications. International Journal of Molecular Sciences, Int. J. Mol. Sci. 2009.
4. 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.
5. Zavalin, A.; Lensky, V.; McCarrol, P.; Westbrook, R.; Collins, W.E.; Morgan, S. Biostimulation of microorganisms exposed to multipolar systems of mutually compensated EMF. Bioelectromagnetics 2009.
6. 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, 2016.
7. Automatical methane potential test system. Operation and maintenance manual. – Lund: Bioprocess control Sweden AB, 2016. – 95 p.

Рекомендовано до друку: канд. техн. наук, доцентом Циплековим Д.В.