

Проведено исследование влияния геометрии и расположения различных окон подвода воздуха (вторичных, разбавления) на общие температурные характеристики и формирование выбросов NOx в жаровой трубе трубчато-кольцевой камеры сгорания для 8 различных случаев с помощью методов вычислительной гидродинамики. Моделирование выполнялось с помощью ANSYS CFX с использованием ламинарной flamelet модели для исследования сгорания метано-воздушной смеси без предварительного смешения. Проведен анализ образования тепловых и быстрых NOx для прогнозирования эмиссионных характеристик с использованием k-ε модели турбулентности.

Ключевые слова: окон подвода воздуха, эмиссия, горения, CFD, оксид азота, камера сгорания

Надійшла 05.10.2015

Received 05.10.2015

УДК 621.311.24

Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І.
Запорізька державна інженерна академія

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ БІОГАЗОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Анотація. Біогазова енергетика має велику перспективу запровадження в Україні, але її розвиток значно гальмується через високі витрати енергії на інтенсифікацію метаногенезу (перемішування та підтримання температурного режиму в метантенку). Для підвищення ефективності виробництва біогазу необхідно розробити нові методи його інтенсифікації. Вплив електричних та магнітних полів на біомасу є недостатньо вивченим, але дослідження, проведені на різних групах мікроорганізмів, вказують на те, що при правильно підібраних параметрах він може спричинити значне збільшення обсягів продукованого біогазу і дозволити повністю або частково відмовитися від підігріву та перемішування. Це значно підвищить ефективність біогазових установок та енергетичну незалежність окремих господарств і держави в цілому. Але ці дослідження є неструктурованими і вибірковыми та потребують подальшого узагальнення і уточнення, бажано, експериментально підтвердженого.

Ключові слова: Біогаз, біометаногенез, біореактор, метаноутворюючі бактерії, електромагнітне поле, ефективність.

Зростаючий дефіцит паливних ресурсів висуває на перший план гостру необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, бажано, відновлюваних, до яких належить біогаз — суміш з 65% метану, 30% вуглекислого газу, 1% сірководню і незначних домішок азоту, кисню, водню і чадного газу [1]. В 1 м³ біогазу міститься енергія, еквівалентна 0,6 м³ природного газу, або 0,74 і 0,66 літри нафти чи дизельного палива, відповідно. Тобто, маючи достатню кількість згаданого енергоносія, можна значно зменшити залежність країни від імпортованих енергоносіїв.

Як правило, при виробництві метану значна кількість отриманої енергії витрачається на забезпечення процесу бродіння, а саме: дотримання необхідного температурного режиму всередині біореактору та перемішування субстрату, без яких ефективність процесу значно зменшується. Крім того, вона залежить як від обраної технології, матеріалів і конструкції основних їх елементів, так і від кліматичних умов у районах їх розташування. Середнє споживання виробленої енергії для забезпечення процесу в самому біореакторі у широтах України становить: теплової — 15-30%, й, додатково, електричної — 6-9 % [2]. При цьому після очищення біогазу від негорючих і шкідливих домішок його собівартість наближається до вартості природного, що може бути економічно недоцільним.

Відомо, що утворення біогазу відбувається при температурах від 0°C до 97°C і у цьому проміжку виділяють, умовно, три температурні режими [2]: психрофільний (до 20-25°C), мезофільний (25-40°C) і термофільний (понад 40°C). Перший спостерігається в установках без підігріву, в яких відсутній контроль

за температурою, і найбільш значне газовиділення відбувається при 23°C. Другий і третій, для яких оптимальними є 34-37°C і 52-54°C, відповідно, притаманні для біогазових установок, що працюють на змішаній сировині тваринного походження. При цьому, інтенсивність виділення метану збільшується із зростанням температури і обмежується утворенням в результаті зброджування вільного аміаку, що сповільнює процес. Тому, на практиці, поширення набули саме останні режими, перевагою яких є підвищена швидкість розкладання сировини і більш високий вихід біогазу, а також практично повне знищення хвороботворних бактерій, що містяться в сировині, що дозволяє використовувати залишки субстрату у якості біологічних добрив. До їх недоліків слід віднести велику кількість енергії, потрібної для підігріву субстрату в реакторі, чутливість процесу зброджування до мінімальних змін температури і дещо нижча якість отримуваних біодобрив.

З енергетичної точки зору, важлива тривалість технологічного циклу переробки біомаси, яка є визначальним фактором собівартості виробництва біогазу. В залежності від обраного температурного режиму і складу сировини повний час бродіння може перебувати в наступних інтервалах, днів [2]: психрофільний (30-40 і більше), мезофільний (10-20) і термофільний (5-10). При цьому час нагрівання субстрату до максимальної температури, як правило, становить від 46 до 68 годин, а кількість спожитої енергії в цей період перевищує 50% від загальної потреби на цикл.

Приблизно обсяги витрат на власні потреби для конкретної установки можна оцінити за технічними характеристиками виробника зазначеного обладнання, представленими в документації, але за їх відсутності або з метою уточнення для певної місцевості ефективність непроточного біореактору можна встановити методом розрахункового експерименту. В якості прикладу за методикою [4] було визначено тепловий баланс для метантенку, у якому цикл метаноутворення триває 19 днів за умов дотримання термофільного режиму [3] та типових кліматичних умов північних регіонів України в зимовий період. Динаміку температури та питомий вихід біогазу на 1 кг сухої біомаси зображено на рис. 1.

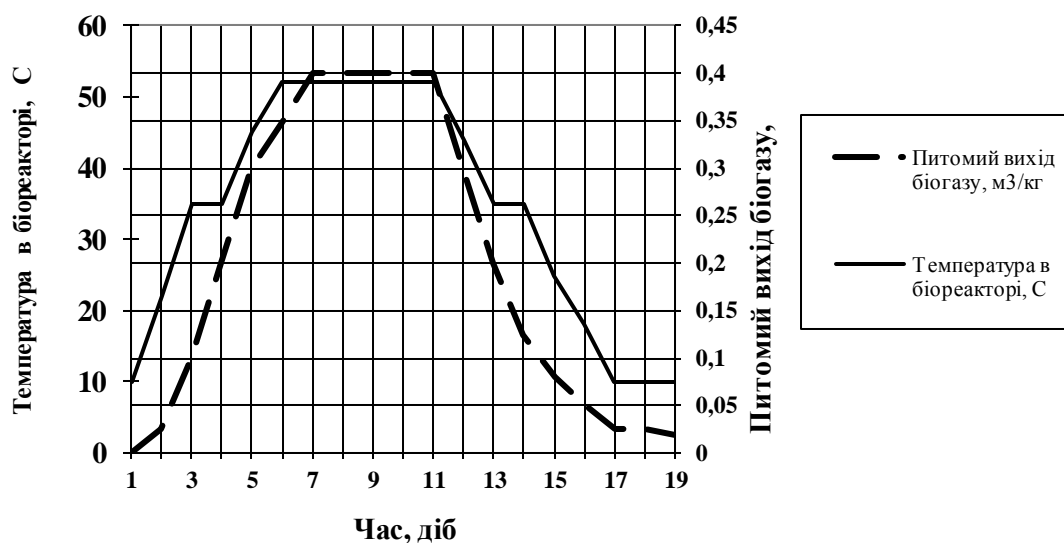


Рисунок 1 – Динаміка температури в реакторі а) та виходу біогазу б)

Для виробництва біогазу використано горизонтальний метантенк об'ємом 10 м³. Коефіцієнти заповнення та спорожнення біореактору при поступовому його завантаженні приймаються $q=0,7$ та $k=1$, відповідно. Середнє значення теплоємності субстрату $c_{суб}$ становить 4,18 кДж/(кг·К). Оптимальна вологість гною становить 92%. Середньомісячна швидкість вітру для визначення коефіцієнту теплообміну на зовнішній поверхні метантенку складає 2,6 м/с. Матеріалом стінки є сталь товщиною $\delta_{ст} = 7$ мм з коефіцієнтом теплопровідності 52 Вт/(м·К). Для зменшення тепловтрат застосовано мінераловатні листи товщиною 80 мм з теплопровідністю 0,05 Вт/(м·К). Тоді:

$$E_{Т.М.} = E_{П} + E_{Д} \quad (1)$$

де $E_{Т.М.}$, $E_{П}$, $E_{Д}$ – витрати теплоти в метантенку, на нагрів субстрату до температури бродіння, втрати в навколишнє середовище, відповідно, МДж/добу.

Кількість теплоти, що витрачається на підігрів біомаси визначається як:

$$E_{Т.М.} = m_{СУБ} \cdot c_{СУБ} \cdot (t_{бр} - t_{бм}) \quad (2)$$

де $m_{суб}$, $c_{суб}$ – маса та теплоємність субстрату, кг та МДж/(кг·К), відповідно; $t_{бм}$, $t_{бр}$ – початкова температура біомаси та температура бродіння, °С.

Тоді розсіювання енергії від метантенку в навколишнє середовище E_d визначають за формулою:

$$E_d = 0,0036 \cdot k \cdot S_M \cdot (t_{бр} - t_d) \cdot \tau \quad (3)$$

де k – коефіцієнт тепловіддачі від субстрату до навколишнього середовища, Вт/(м²·К); S_M – контактна площа поверхні метантенку, м²; t_d – зовнішня температура, °С; τ – кількість годин роботи обладнання на добу.

Коефіцієнт тепловіддачі k визначається як:

$$k = \frac{1}{R_3 + R_{I3}} \quad (4)$$

де R_3 , R_{I3} – термічний опір тепловіддачі зовнішньої поверхні і теплопровідності теплоізоляційного слою, м²·К/Вт.

Термічний опір тепловіддачі R_3 визначають з виразу:

$$R_3 = \frac{1}{\alpha_3} \quad (5)$$

де α_3 – коефіцієнт теплообміну зовнішньої поверхні метантенку, Вт/(м²·К).

Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні метантенку залежить також від швидкості вітру:

$$\alpha_3 = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{v_b} \quad (6)$$

де v_b – швидкість вітру, м/с.

Термічний опір теплопровідності теплоізоляційного слою визначається за формулою:

$$R_{I3} = \frac{\delta_{сМ}}{\lambda_{сМ}} + \frac{\delta_{IМ}}{\lambda_{IМ}} \quad (7)$$

де $\delta_{сМ}$, $\delta_{IМ}$ – товщина стінки та слою теплоізоляції метантенку, м; $\lambda_{сМ}$, $\lambda_{IМ}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки і теплоізоляції, Вт/(м·К).

Оскільки формула для визначення залежності щільності гною від його вологості має вигляд:

$$\rho_\Gamma = 1624 - 6,24 \cdot W_\Gamma \quad (8)$$

маса завантаженого субстрату в метантенк визначається як:

$$m = V_M \cdot k \cdot q \cdot \rho_\Gamma = V_M \cdot k \cdot q \cdot (1624 - 6,24 \cdot W_\Gamma) \quad (9)$$

Результати розрахунків зведено до таблиці 1.

Відсоток корисної енергії, який використовується на забезпечення власних теплових потреб, визначається як:

$$\eta = \frac{E_{т.м.}}{E_B} \cdot 100\% \quad (10)$$

де E_B – енергія, що міститься в отриманому біогазі.

Таблиця 1 – Результати розрахунків енергетичного балансу

№ доби	Температура, °С	Питомий вихід біогазу, м ³ /кг	Енергія, що міститься в отриманому біогазі, ГДж	Енергія на власні потреби, ГДж	Корисна енергія, ГДж
1	10	0	0	3,085	-3,085
2	22	0,025	0,367	4,638	-4,270
3	35	0,1	1,47	5,039	-3,569
4	35	0,2	2,94	0,047	2,893
5	45	0,3	4,41	3,901	0,509
6	52	0,35	5,145	2,758	2,387
7	52	0,4	5,88	0,07	5,809
8	52	0,4	5,88	0,07	5,809
9	52	0,4	5,88	0,07	5,809
10	52	0,4	5,88	0,07	5,809

Продовження таблиці 1

№ доби	Температура, °С	Питомий вихід біогазу, м3/кг	Енергія, що міститься в отриманому біогазі, ГДж	Енергія на власні потреби, ГДж	Корисна енергія, ГДж
11	52	0,4	5,88	0,07	5,809
12	44	0,3	4,41	0,059	4,351
13	35	0,2	2,94	0,047	2,893
14	35	0,125	1,837	0,047	1,791
15	25	0,08	1,176	0,033	1,142
16	18	0,05	0,735	0,023	0,711
17	10	0,025	0,368	0,013	0,355
18	10	0,025	0,368	0,013	0,354
19	10	0,02	0,294	0,013	0,281
Σ		3,8	55,860	20,067	35,792

Отже, порівнявши енергію, яка використовується на власні потреби, і корисну, видно, що 35,93% виробленого біогазу витрачається на забезпечення необхідного температурного режиму в реакторі, що є вкрай нераціональним і значно знижує ефективність використання біогазових технологій в цілому.

Оскільки традиційні способи підвищення енергоефективності таких установок майже вичерпали себе, необхідним є визначення можливості інтенсифікації процесу виробництва біогазу іншими засобами і методами, наприклад, стимуляцією мікроорганізмів, що беруть в ньому участь, електричними і магнітними полями.

Дослідження іноземних науковців показали [5], що зазначений вплив певних параметрів, інтенсивності та тривалості здатен активізувати діяльність деяких з метаноутворюючих бактерій, значно підвищити швидкість засвоєння ними сировини та збільшити газовиділення. Наприклад, обробка субстрату електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти впродовж 2 годин перед завантаженням в біореактор викликала збільшення концентрації метану в продукovanій суміші газів на 45,9 % [6]. Суттєвий ефект, а саме двократне збільшення продуктивності, спостерігається у різних бактерій, дріжджів і найпростіших після застосування змінного поля, створеного 5 або 6-полюсною системою на різних частотах [7]. Подібні результати отримано і для більш широких груп мікроорганізмів, але, в цілому, ці дослідження є неструктурованими та вибірковими, і потребують подальшого уточнення і узагальнення, бажано, експериментально підтвердженого.

Оскільки на різних етапах біометаногенезу виявляють активність різні групи мікроорганізмів, оптимальний характер стимуляції яких може суттєво відрізнятися, є доцільним розглянути можливість встановлення динамічного режиму впливу на біомасу. Після його розробки, промислове застосування запропонованого методу інтенсифікації процесу могло б призвести до суттєвого скорочення витрат на підігрів та перемішування або, навіть, повної відмови від них, а отже, підвищити енергоефективність біогазових установок, знизити собівартість виробленого біогазу та, в подальшій перспективі, наблизити як окремі підприємства, так і державу в цілому до енергетичної незалежності.

Висновки. Біогаз є одним з найбільш перспективних для України видів відновлюваних джерел енергії через його відносну доступність і наближений до природного газу хімічний склад. Однак, широке розповсюдження біогазових технологій стримує низька їх ефективність і висока енерговитратність забезпечення процесу біометаногенезу, а методи інтенсифікації виробництва, а саме нагрівання та перемішування, вимагають високих витрат теплової та електричної енергії, та, фактично, вичерпали себе. Одним з імовірних, але недостатньо досліджених методів впливу на біомасу є застосування електричних та магнітних полів.

Встановлено, що на різних етапах виробництва цього енергоресурсу задіяні окремі мікроорганізми, тому доцільним є дослідження можливості застосування різного роду та змінного в часі зазначеного впливу на біомасу, що, імовірно, зможе дозволити зменшити залежність від нагрівання і перемішування, а отже, значно підвищити загальну ефективність біогазових установок.

Список літератури

1. Баадер В., Донэ Е., Брендерфельд М. «Биогаз: теория и практика» М., 1982.
2. Эдер Б., Шульц Х. «Биогазовые установки. Практическое пособие под научной редакцией Реддиха И.А.», Zorg Biogas, 2011.
3. Петров С.В., Решетникова И.В., Вохмин В.С. «Применение электротехнологий при метановом сбраживании отходов», Инженерный вестник Дона, 3, 2012.

4. Полищук В.М., Дубровин В.А., Полищук А.В. «Энергетический баланс метантенка биогазовой установки», К., 2014.
5. 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.
6. Banik S., Bandyopadhyay S., Ganguly S., Dan D. «Effect of microwave irradiated Methanosarcina barkeri DSM-804 on biomethanation», Bioresour. Technol. 2005.
7. 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.

Kachan Y.G., Kovalenko V.L., Lapikova O.I.

ANALYSIS OF EFFICIENCY AND DEVELOPMENT PROSPECT OF BIOGAS ENERGETIC

Biogas energy has a great prospect of input in Ukraine, but its development is considerably braked through the high charges of energy on intensification of methanogenesis (interfusion and maintenance of temperature condition in a methane-tank). To increase the efficiency of biogas production it is necessary to work out the new methods of its intensification. Influence of the electric and magnetic fields on biomass is studied not enough, but the researches conducted on the different groups of microorganisms shows that the electromagnetic influence with correct parameters can increase the volumes of produced biogas and allow to give up heating and interfusion fully or partly. It will promote efficiency of biogas options and power independence of businesses and state. But these researches are unstructured and selective and need further generalization and clarification, it is desirable, experimentally confirmed.

Key words: Biogas, methanogenesis, bioreactor, methane bacteria, electromagnetic field, efficiency.

References

1. Baader V., Done E., Brenderfel'd M. «Biogas: Theory and Practice» M., 1982.
2. Eder B., Shul'ts Kh. «Biogas plants. Practical Guide under the scientific editorship Reddiha IA», Zorg Biogas, 2011.
3. Petrov S.V., Reshetnikova I.V., Vokhmin V.S. «The use of electro with the methane fermentation of waste», Inzhenernyy vestnik Dona, 3, 2012.
4. Polishchuk V.M., Dubrovin V.A., Polishchuk A.V. «The energy balance of the digester biogas plant», К., 2014.
5. 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.
6. Banik S., Bandyopadhyay S., Ganguly S., Dan D. «Effect of microwave irradiated Methanosarcina barkeri DSM-804 on biomethanation», Bioresour. Technol. 2005.
7. 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.

УДК 621.311.24

Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Лапікова О.І.

Запорожская государственная инженерная академия

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ БИОГАЗОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Биогазовая энергетика имеет большую перспективу внедрения в Украине, но ее развитию существенно препятствуют высокие энергозатраты на интенсификацию метаногенеза (перемешивание и поддержание температурного режима в метантенке). Для повышения эффективности производства биогаза необходимо разработать новые методы его интенсификации. Воздействие электрических и магнитных полей на биомассу недостаточно изучено, но исследования, проведенные на разных группах микроорганизмов, указывают на то, что при правильно подобранных параметрах он может обусловить существенное увеличение объемов вырабатываемого биогаза и позволить полностью или частично отказаться от подогрева и перемешивания. Это существенно повысит эффективность биогазовых установок и энергетическую независимость отдельных хозяйств и государства в целом. Но эти исследования являются неструктурированными и выборочными и требуют последующего обобщения и уточнения, желательно, экспериментально подтвержденного.

Ключевые слова: Биогаз, биометаногенез, биореактор, метанообразующие бактерии, электромагнитное поле, эффективность.

Надійшла 21.05.2015

Received 21.05.2015