

Кухарець С.М.

д.т.н, доцент

Кухарець В.В.

к.е.н.

Житомирський національний агроекологічний університет

Постановка проблеми. Експлуатація біогазових установок показала, що сприяння контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату забезпечується за рахунок перемішування субстрату, однак при цьому інтенсивного перемішування слід уникати, оскільки це може призвести до погіршення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу ацетогенних та метаногенних бактерій. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу [1]. У той же час, досвід експлуатації в Євросоюзі реакторів біогазових установок показав, що практично неможливо усунути розшарування біомаси в реакторі на мінеральний осад та органічну плаваючу біомасу, що вказує на недоліки в роботі систем перемішування біомаси [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті проведених наукових досліджень запатентовано ряд технічних рішень, які дозволяють у значній мірі усунути розшарування біомаси за рахунок забезпечення перемішування шарів біомаси із використанням занурених обертових біогазових реакторів[4, 5, 6].

Мета досліджень. Визначення економічної ефективності застосування обортових метантенків.

Результати досліджень. Потенціал виробництва біогазу при використанні рослинної біомаси та використанні гною та посліду можна визначати за наступною залежністю:

$$B = B_p + B_T = k_{БГР} k_{БР} \sum_{i=1}^n S_i 100 V_i (k_{Bi} - k_{zi}) + k_{БГТ} k_{БТ} \sum_{j=1}^m N_j T_j (m_{Ej} + m_{Bj}) k_{Гj}, \quad (1),$$

де B – потенціал виробництва біогазу при зброджуванні рослинної біомаси та гноївки, м³; B_p – вихід біогазу при зброджуванні рослинної біомаси, м³; B_T – вихід біогазу при зброджуванні гноївки, м³; $k_{БГР}$, $k_{БГТ}$ – питомий вихід біогазу при анаеробному зброджуванні відповідно рослинної біомаси та гноївки, м³/кг; $k_{БР}$, $k_{БТ}$ – коефіцієнт використання відповідно рослинної біомаси та гноївки в біогазових установках, відн. од.; n – кількість культур в сівозміні, які використовуються для виробництва рослинної біомаси; S_i – площа вирощування i -ї культури, га; V_i – урожайність i -ї культури, ц/га; k_{Bi} – коефіцієнт виходу біомаси i -ї культури, відн. од.; k_{zi} – коефіцієнт втрат біомаси i -ї культури під час збирання, відн. од.; m – кількість груп тварин та птиці; N_j – поголів'я тварин та птиці j -го виду, гол.; T_j – стійловий період поголів'я тварин та птиці j -го виду, діб; m_{Ej} – маса екскрементів j -го виду тварин та птиці, кг/гол. за добу; m_{Bj} – маса води, що надходить в екскременти j -го виду тварин та птиці, кг/гол. за добу; $k_{Гj}$ – коефіцієнт виходу гноївки придатної для рідкофазного зброджування, відн. од.

Коефіцієнти використання рослинної біомаси та гноївки в біогазових установках, виходу біомаси i -ї культури та її втрат під час збирання, виходу гноївки придатної для рідкофазного зброджування, а також кількість культур в сівозміні, які використовуються для виробництва рослинної біомаси, площа вирощування та урожайність i -ї культури, кількість груп тварин та птиці, поголів'я та стійловий період тварин та птиці j -го виду, маса екскрементів та маса води, що надходить в екскременти j -го виду тварин та птиці встановлюється для кожного сільськогосподарського підприємства на основі конкретних моделей функціонування агроєкосистем.

Виходячи із обсягів виробництва біогазу можна встановити основні техніко-технологічні параметри як біогазового реактора, зокрема так і всього процесу виробництва біогазу загалом.

Питомий вихід біогазу в розрахунку на один кілограм біомаси при анаеробному зброджуванні можна встановити на основі досліджень [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] та знаючи основні параметри субстратів (табл. 1).

Знаючи коефіцієнти питомого виходу біогазу та метану можна встановити склад та визначити щільність отриманого біогазу [15].

Таблиця 1

Значення питомого виходу біогазу та біометану

Основа субстрату	Коефіцієнт вмісту органічної сухої речовини k_{oc}		Питомий вихід біогазу, м ³ /кг		Питомий вихід біометану (CH ₄), м ³ /кг	
	мін	макс	мін	макс	мін	макс
Гній ВРХ	0,150	0,190	0,0314	0,0570	0,0188	0,0342
Гній свинячий	0,150	0,200	0,0405	0,0900	0,0243	0,0540
Пташиний послід	0,189	0,256	0,0473	0,1152	0,0284	0,0691
Кукурудзяні залишки (силос)	0,170	0,333	0,0765	0,2328	0,0383	0,1280
Цукровий буряк	0,207	0,219	0,1656	0,1879	0,0878	0,1015
Кормовий буряк	0,075	0,102	0,0465	0,0867	0,0246	0,0468
Бурякова гичка	0,105	0,128	0,0578	0,0768	0,0312	0,0415
Зелені трави (силос)	0,175	0,380	0,0963	0,2356	0,0520	0,1272
Зернова барда	0,050	0,070	0,0214	0,0493	0,0124	0,0320
Картопляна барда	0,051	0,067	0,0204	0,0466	0,0118	0,0303
Плодова барда	0,018	0,029	0,0054	0,0185	0,0031	0,0120
Пресований жом	0,198	0,247	0,0495	0,0865	0,0347	0,0648
М'яса	0,680	0,810	0,2448	0,3969	0,1714	0,2977

Використання параметрів наведених в таблиці 1. дозволяє проектувати обортові біогазові

обертові реактори із мінімальними питомими енерговитратами на перемішування біомаси.

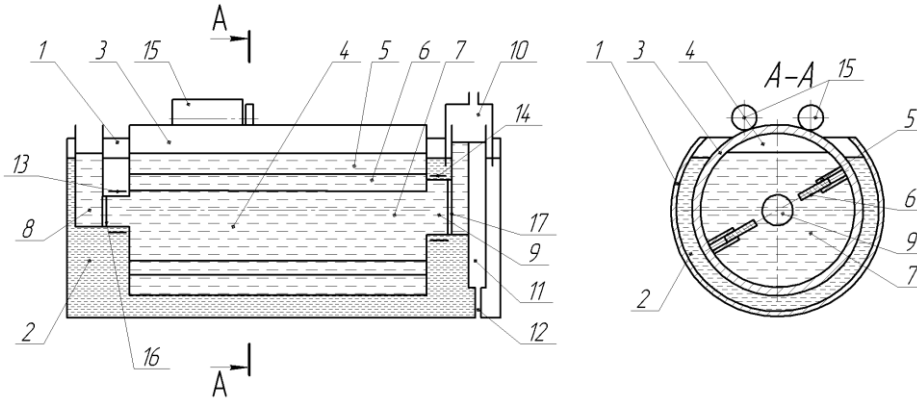


Рис. 1. Схема біогазового обертового реактора, модульного типу:

1 – горизонтальний зовнішній корпус; 2 – рідина; 3 – циліндричний реактор; 4 – камера зброджування; 5 – перегородка; 6 – рухомі пластини; 7 – органічна маса; 8, 9, 12 – патрубки; 11 – вивантажувальна камера; 13, 14 – підшипникові вузли; 15 – зовнішній привід; 16, 17 – блок-ущільнення.

У результаті проведеного аналізу можна стверджувати, що заповнений на величину від 94 до 95 % обертовий реактор з об'ємом завантаження біомаси V_B від 3 до 103 м³ (робочий діаметр D лежить в діапазоні від 1 до 4,3 м) потребує мінімальної потужності для приводу N_{KR} від 299 Вт до 10,4 кВт при його зануренні у рідину на величину від 95 до 97 %. При цьому питома потужність приводного механізму в розрахунку на об'єм біомаси в реакторі лежатиме в межах від 99,85 до 101,23 Вт/м³.

Таблиця 2

Рациональні конструкційні параметри біогазових обертових реакторів

Робочий діаметр реактора, D , м	Товщина стінок реактора s , м	Діаметр зовнішнього корпусу D_3 , м	Робоча довжина L , м	Вага реактора m_p , кг	Коефіцієнт заповнення біомасою k_3	Об'єм завантаженої біомаси (максимальний) V_B , м ³	Потужність на обертання N_{KR} , Вт
1	0,003	1,2	4	200	0,94	3,0	299
2	0,005	2,4	4	424	0,94	11,8	1197
3	0,005	3,6	4	895	0,94	26,6	2661
4	0,005	4,8	6	1979	0,95	71,3	7114
4,3	0,005	5,2	7,5	2797	0,95	103,0	10408

Враховуючи, що на підігрівання субстрату можна отримати енергію прямого спалювання біомаси рослинництва, а для перемішування та перекачування субстрату використати частку електроенергії виробленої в результаті використання біогазу, виробнича собівартість біометану становитиме:

$$C_{BM} = \frac{\rho_{PB}}{k_{BM} \tau_{3B}} C_{BM} (1 - k_D) + (1 + k_{3B} + k_{3T}) (TOP_{BM} + EL_{BM} + 3П_{BM}), \quad (2),$$

де C_{BM} – виробнича собівартість біометану, грн/м³; ρ_{PB} – густина переробленої у біогазовому реакторі біомаси, т/м³; k_{BM} – вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора, м³/м³ добу; τ_{3B} – час утримання біомаси в реакторі під час зброджування, діб; C_{BM} – вартість біомаси, яка надходить на переробку в біогазову установку, грн/т; k_D – коефіцієнт збільшення вартості органічних добрив після анаеробного зброджування біомаси, відн. од.; k_{3B} – коефіцієнт, що враховує загальнопромислові витрати, відн. од.; k_{3T} – коефіцієнт, що враховує загальногосподарські витрати, відн. од.; TOP_{BM} – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництвом біометану, грн/м³; EL_{BM} – вартість витраченої електричної енергії при виробництві біометану, грн/м³; $3П_{BM}$ – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві біометану, грн/м³.

Собівартість виробництва електроенергії на основі біометану можна визначити на основі виразу:

$$C_{EL} = \frac{3,6\rho_{ПБ}}{k_{БМ}q_{БМ}\eta_{Г}\tau_{ЗБ}} C_{БМ}(1-k_{Д}) + (1+k_{ЗБ}+k_{ЗГ})(ТОР_{EL} + EL_{EL} + ЗП_{EL}), \quad (3),$$

де C_{EL} – виробнича собівартість електроенергії, грн/кВт год.; $q_{БМ}$ – теплотворна здатність біометану, МДж/м³; $\eta_{Г}$ – коефіцієнт корисної дії дизель-генератора при отриманні електроенергії, відн. од.; 3,6 – коефіцієнт перерахунку, МДж/кВт год.; $ТОР_{EL}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт біогазової установки з виробництвом електроенергії, грн/кВт год.; EL_{EL} – вартість витраченої електричної енергії при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт год.; $ЗП_{EL}$ – фонд заробітної плати з нарахуваннями при виробництві електроенергії на основі біометану, грн/кВт год.

Як видно із приведених виразів вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора (рис. 2) є величиною, яка визначає техніко-економічні показники біогазових установок.

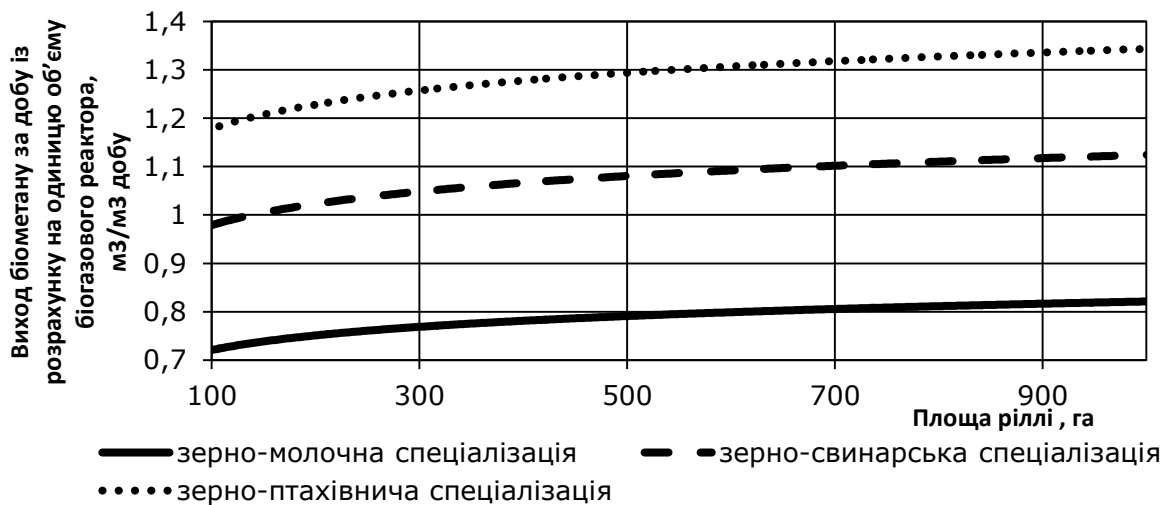


Рис. 2. Вихід біометану за добу з розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора в залежності від площі ріллі модельних господарств

Розрахунки показали, що із збільшенням площі ріллі питомий вихід біогазу дещо зростає, що пояснюється збільшенням ефективності використання біогазових установок із збільшенням об'єму метантенків.

Собівартість виробництва електроенергії із біометану з прив'язкою до площі із шестипільною сівозміною приведена на рис. 3.

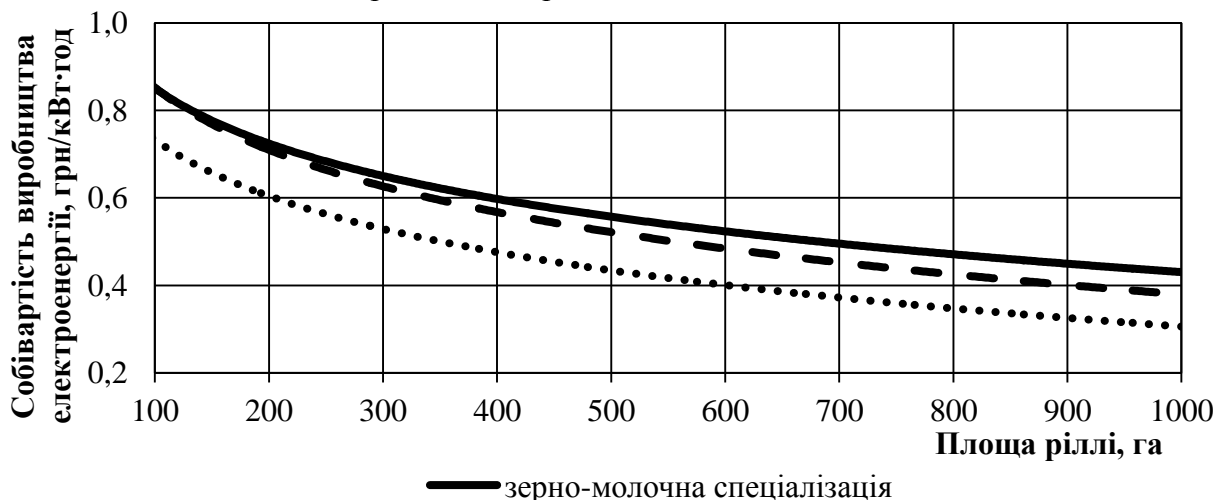


Рис. 3. Зміна собівартості електроенергії виробленої із біометану в залежності від площі ріллі модельних господарств

Таким чином, із збільшення площі ріллі понад 1000 га собівартість виробництва електроенергії на основі біогазу стабілізується на рівні від 0,34 до 0,44 грн/кВт год.

Висновок. Вихід біометану за добу із розрахунку на одиницю об'єму біогазового реактора для підприємств із зерно-молочною спеціалізацією становить від 0,72 м³/м³ добу до 0,81 м³/м³ добу, а собівартість виробленої на його основі електроенергії із використанням біогазових реакторів обертового типу становить від 0,44 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год., для підприємств із зерно-свинарською спеціалізацією відповідно від 0,98 м³/м³ добу до 1,12 м³/м³ добу та від 0,38 грн/кВт год. до 0,85 грн/кВт год. та для підприємств із зерно-птахівничою спеціалізацією – від 1,18 м³/м³ добу до 1,34 м³/м³ добу та від 0,30 грн/кВт год. до 0,72 грн/кВт год. Причому менші значення виходу біометану та вищі значення собівартості електроенергії будуть мати місце при площі ріллі 100 га, а менші – при площі ріллі 1000 га.

Література

1. Руководство по биогазу. От получения до использования / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). 5-е издание. – Гюльцов: Германия, 2012. – 213 с.
2. Голуб Г.А. Технічне забезпечення виробництва біогазу / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, Б.О. Рубан, В.О. Войтенко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – 186 с. – С. 17-19.
3. Голуб Г. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок / Г. Голуб, В. Войтенко, Б. Рубан, В. Єрмоленко // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2012. – № 2 (29). – С. 18-21.
4. Голуб Г.А. Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнта заповнення біомасою обертового метантенка / Г. А. Голуб, О. В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК – 2012. – Вип. 170, ч. 2. – 387 с. – С. 55-61.
5. Кухарець С.М. Обґрунтування енергетичних витрат на привід обертового реактора біогазової установки / Кухарець С.М., Голуб Г.А. // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. – 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – С. 356-365.
6. Голуб Г.А. Особливості конструкції модульної біогазової установки з обертовим реактором / Голуб Г., Кухарець С., Рубан Б. // Техніка і технології АПК (Науково-виробничий журнал). – 2014. – № 9 (60). – С. 10-14.
7. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г.А. Голуб, О.В. Сидорчук, С.М. Кухарець та ін.; за ред. Г.А. Голуба] – К.:НУБіП України, 2014. – 106 с.
8. Мовсесов Г.Є. Основні положення технології біогазового (анаеробного метанового) зброджування органічних відходів / Мовсесов Г.Є., Ляшенко О.О. // Рекомендації Інститут механізації тваринництва НААН України. – Запоріжжя: ІМТ НААН України, 2010. – 29 с.
9. О. Наске. Biogas von A bis Z./ О. Наске, М. Helm// – Vorsig Energy GmbH, 2001. – 47 р.
10. Биогаз на основе возобновляемого сырья. Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии / [Геммеке Бурга, Крисста Ригер, Войланд Петер и др.]. – Гюльцов: FNR, 2010. – 118 с.
11. Handreichung. Biogasgewinnung und – nutzung. / [Amon Tomas, fon Bredov Hartvig, Doeler Helmut ets.]. – Gulzow: FNR, 2010. – 234 р.
12. Tasneem Abbasi. Biogas Energy. / T Abbasi, S. Tauseet, S. Abbasi // - New York: Springer, 2012. – 169 р.
13. Баадер В. Биогаз: теория и практика (Пер. с нем. и предисловие М. И. Серебряного.) / Баадер В., Доне Е., Бренндерфер С. // – М.: Колос, 1982 – 148 с.
14. Эдер Барбара. Биогазовые установки. Практическое пособие / Б. Эдер, Х. Шульц // - Zorg Biogas, 2008 – 268 с.
15. Глінка М. Л. Загальна хімія (Підручник) (вид. 2-ге, перероб. і доп.) / М.Л. Глінка // – К.: «Вища школа», 1982. – 608 с.
16. Сільське господарство України. Статистичний збірник за 2013 рік / За ред. Н.С. Власенко; Держ. комітет статистики України. – К., 2014. – 400 с.