

Ю.І. Сидоров, О.С. Мельниченко, В.П. Новіков, Р.Й. Влязло
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра технології біологічно активних наук, фармації та біотехнології

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ БЕЗПЕРЕРВНОГО ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ ТА ЇЇ ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ

© Сидоров Ю.І., Мельниченко О.С., Новіков В.П., Влязло Р.Й., 2004

Розрахована модель безперервного виробництва біогазу для переробки екскрементів 2000 голів великої рогатої худоби в мезофільних умовах ферментації. При проектуванні використовувалась схема з рециркуляцією біомаси, що дозволило знизити робочий об'єм метантенків з 775,5 до 120 м³. Економічний аналіз показав, що попри прийнятих рішень щодо зниження капітальних витрат, ціна газу для виробництв різної потужності становить від 1,21 до 1,95 грн./м³, що в 7–11 разів вище від ціни природного газу, а вартість тепла, одержаного при згорянні біогазу, в 12–14 разів більше вартості тепла, одержаного при згорянні природного газу. Зроблений висновок, що виробництво біогазу як альтернативного джерела енергії за даною технологічною схемою є недоцільним.

The model of process production of biogas for processing excrement 2000 heads of large horned cattle in mesophiles conditions of fermentation is designed. With designing the circuit with recirculation of bioweight was used, that has allowed to lower the worker volume of methantanks with 775,5 to 120 m³. The economic analysis has shown, that despite of the accepted decisions directed on decrease(reduction) of capital expenses, the price of gas for manufactures of various capacity makes from 1,21 up to 1,95 grn/m³, that at 7-11 of time the prices of natural gas are higher. Cost of heat received with combustion of biogas, at 12-14 times more cost of heat received with combustion of natural gas. The conclusion is made, that the manufacture of biogas as alternative source of energy under the given technological circuit in the this time economically is inexpedient.

Постановка проблеми. Останніми десятиліттями в усіх країнах світу, в тому числі в Україні, йдуть науково-практичні дискусії щодо перспектив одержання біогазу з відходів рослинництва і тваринництва, забруднених стічних вод. Розвинені країни будують і експлуатують установки для анаеробної переробки органічних відходів, перш за все, з метою очищення навколишнього середовища. В країнах з теплим кліматом (Китаї, Індії, Ізраїлі тощо) експлуатують мало- і великомасштабні установки як джерела енергетичного біогазу.

В той же час існує і інша точка зору на доцільність впровадження біогазової технології як альтернативного джерела енергії. Так, англійські дослідники підраховали, що якщо б усі органічні відходи перетворити на біогаз, то він може замінити лише 5–8 % всього природного газу, що споживається в Англії. Сьогодні в цій технологічно розвиненій країні отримують біогаз, що лише на 2 % перевищує потребу в паливному газі. У Радянському Союзі першим підприємством для виробництва біогазу, що було уведено в дію в 1950 році, була установка під Тбілісі. З економічного погляду підприємство було нерентабельне і невдовзі воно було ліквідовано. З практичного погляду цікавість до метаногенезу в СРСР підтримувалась тільки можливістю одержання вітаміну В₁₂ з одержаної біомаси. Наприкінці 50-х років минулого століття потужна установка напівперіодичної дії для переробки тваринницького гною була змонтована і запущена в Запоріжжі (на острові Хортиця). Вона пропрацювала декілька років, але внаслідок абсолютної нерентабельності виробництва, неспроможності конкурувати з природним газом, який в необмеженій кількості мала країна, недостатньої кваліфікації обслуговуючого персоналу, технічної недосконалості, її наприкінці 60-х років ХХ ст. демонтували.

На сьогодні в Україні діє лише одна серйозна установка по виробництву біогазу на очисних спорудах каналізаційних викидів міста Києва. У середині 90-х років проблема біогазу як альтернативного джерела енергії для України, яка немає значних родовищ нафти та газу, широко обговорювалась на різноманітних конференціях, на сторінках газет і журналів, на телебаченні. Наводились приклади ентузіастів, які без достатніх знань і проектів створювали для своїх господарських потреб примітивні біогазові установки і забезпечували себе енергетичним паливним газом. В той же час економічний аспект виробництва біогазу як альтернативного джерела енергії є малодослідженим і ми вважаємо, що існує проблема доцільності масового будівництва українських біогазових установок як енергетичних.

Мета досліджень. Метою роботи є:

Масштаб базового виробництва обраних не випадково і базується на висновках англійських економістів, які вказують нижню границю потужності установки, при якій вона ще може бути рентабельною. Переробка гною інших тварин є більш проблематичною, а в деяких випадках майже неможливою (наприклад, переробка гною відходів свійських птахів), тому для переробки обрані екскременти ВРХ.

Рідкі екскременти ВРХ з ферми (ферм) автотранспортом, що належить виробництву, надходять на пункт приготування живильного середовища (ЖС) 1. Цей пункт являє собою дві бетоновані ями, у які протягом 16 годин завантажують сировину і розбавляють її водою до вмісту споживних органічних речовин 10 %. Для перемішування застосовані осьові насоси. Приготоване протягом доби ЖС у наступну добу дозувальним насосом безперервно подають через блок утилізації тепла шламу і нагрівання 2 на ферментацію у метантенки 3.

Рис. 1. Блок-схема виробництва

Блок 2 являє собою два послідовно з'єднані пластинчасті теплообмінники: в першому (рекуператорі) ЖС нагрівають теплом рідкої частини шламу до температури 32 °С, а в другому – до 38 °С (метанове бродиння перебігає в мезофільних умовах) теплом гарячої води, що циркулює через блок приготування теплоносія 10.

На виході з блока 2 потік розділяється на три рівні частини, які надходять у три паралельно працюючі метантенки 3. Метантенки є стандартними ферментерами Дзержинського заводу хімічного машинобудування об'ємом 63 м³, але замість потужних електродвигунів для електроперемішуючих пристроїв встановлені електродвигуни ВАО 21-2 потужністю всього 1,5 кВт, оскільки мішалки потрібні лише для повільного розбиття кірки, що утворюється на поверхні культуральної рідини. Сорочка у ферментері демонтована, натомість укладений шар теплоізоляції. З метою здешевлення обладнання для виготовлення метантенків застосована двошарова сталь: зовнішній шар – звичайна конструкційна сталь, внутрішній – нержавіюча сталь.

Біогаз, що утворюється, надходить в мокрий газгольдер 4, за допомогою якого в системі підтримується надлишковий тиск 10 кПа. Об'єм дзвону газгольдера становить 30 м³, він розрахований на 10 хвилин запасу газу.

З газгольдера 4 біогаз надходить на адсорбер 5, в якому оксидом заліза газ очищується від сірководню (періодично адсорбент відновлюють). Очищений газ W-подібним поршневим компресором 6 стискається до 1,2 МПа і надходить у газгольдер високого тиску 7, які являють собою порожні сталеві кулі з товщиною стінки 17 мм. Для забезпечення запасу газу на 8 годин використано 16 газгольдерів по 8 м³ кожний. З газгольдерів 7 газ надходить на розподільчу станцію, а далі – споживачам, в тому числі на технологічні потреби самої установки.

Теплий рідкий шлам з метантенків 3 надходить на центрифугу 8. Частина пастоподібного шламу повертається у метантенки, а надлишок – на вальцеву сушарку 9. Сухий біошрот фасують і реалізують як цінне органічне добриво. Теплий фугат з центрифуги подають у рекуператор 2. Після нього температура фугату знижується з 38 до 27 °С. Далі фугат спрямовують на загальноміські очисні споруди (аеротенки).

Блок теплоносія 10 є циркуляційною системою одержання гарячої води. В газовому котлі воду нагрівають спалюванням власного біогазу до 51 °С. Після віддачі тепла у систему вода повертається з температурою 45 °С

Установка споряджена іншим додатковим обладнанням: блоком приготування суспензії і подачі у ферментери вапна для регулювання рН культуральної рідини, ємностями для зберігання пастовидної біомаси під час планових ремонтів установки, яку в подальшому використовують як посівний матеріал для пуску виробництва, автотранспортною ділянкою тощо.

З метою пожежовибухової безпеки практично усе обладнання винесено на відкритий майданчик, за винятком механічно складного обладнання (насосів, компресора, газового котла, сушарки біошроту).

Для матеріальних розрахунків процесу використаний метод складання і розв'язання інтегрального стехіометричного рівняння [3]. При цьому прийнято, що на утворення нової живої біомаси використовується 4 % споживної органіки, решта витрачається на енергетичний процес метаногенезу. Ступінь конверсії процесу – 67 %. Після розв'язання рівняння знайдено, що з 1 кг сухої частини екскрементів одержують 0,345 м³ біогазу, який містить 53,4 об. % метану і 46,6 об. % вуглекислого газу. Ці результати близькі до опублікованих експериментальних даних.

Для розрахунку об'єму метантенків використана модель РЛК [4]. При цьому прийнято питому швидкість росту біомаси 0,015 год⁻¹, що відповідає середньому значенню цього показника для процесів бродиння.

Розраховано, що об'єм метантенку для одноступеневої установки безперервної дії повинен становити 775,8 м³. Ми вважали, що такий об'єм є занадто великим і вирішили застосувати багатоступеневу установку (батарею ферментерів), що для мікроорганізмів з питомою швидкістю росту 0,05–0,3 год⁻¹ дозволяє різко скоротити сумарний робочий об'єм. Але розрахунки показали, що для цього процесу застосування 2- або 3-секційної батареї не приводить до скорочення вказаного об'єму (768 м³ замість 775,5 м³) і від цієї ідеї ми відмовились.

Другий шлях скорочення об'єму – використання схеми з рециркуляцією біомаси. Це один з плідних шляхів удосконалення біогазових технологій, які вирішуються різноманітними способами. Ми обрали, на наш погляд, один з простих: шламову рідину центрифугують, густий пастоподібний концентрат повертають в метантенки, а надлишок спрямовують на сушіння для одержання сухого біошроту. Розрахунками виявлено опимальне співвідношення потоку сировини до потоку біомаси, що повертається в процес. Результати розрахунку подано на рис. 2.

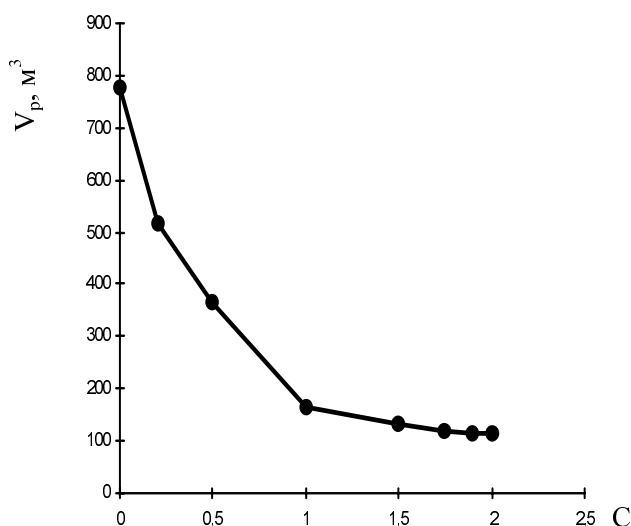


Рис. 2. Залежність робочого об'єму метантенків (V_p) від співвідношення об'ємних потоків живильного середовища і рециркуляційної біомаси (C)

З рис. 2 видно, що подача потоку рециркуляційної біомаси різко знижує робочий об'єм метантенків. Ми вважаємо, що оптимальним співвідношенням є 1,5. Це дало можливість обрати для процесу 3 стандартні ферментери з сумарною повною ємністю 189 м^3 і коефіцієнтом завантаження 0,71, замість 1100 м^3 з таким же коефіцієнтом завантаження. Це дозволило різко знизити витрати на придбання обладнання.

Економічний аналіз. В результаті розрахунків ми одержали такі технічно-економічні характеристики виробництв:

Таблиця 1

Розрахункові техніко-економічні характеристики виробництв

№ з/п	Характеристика	Індекс виробництва			
		Б-500	Б-1000	Б-2000	Б-4000
1	Продуктивність за біогазом, тис. м^3 /рік	304,45	608,9	1217,8	2435,6
2	Капіталовкладення в обладнання, включаючи автотранспорт, тис. грн.	533,3	848,9	1458,1	2526,1
3	Вартість КВА, тис. грн.	285,0	285,0	285,0	285,0
4	Вартість будівель, тис. грн.	128,6	153,7	217,7	314,4
5	Всього капіталовкладень, включаючи первинні оборотні фонди, тис. грн.	1041,6	1416,4	2156,9	3438,1
6	Амортизаційні відрахування, тис. грн./рік	157,7	206,3	300,9	465,9
7	Енергетичні витрати (електроенергія, диз. паливо для автотранспорту), тис. грн./рік	40,9	83,22	195,82	627,17
9	Фонд заробітної плати основних робочих, тис. грн./рік	79,15	88,26	115,59	161,13
10	Вартість сировини за умови ціни екскрементів 10 грн./тонна	75,19	150,38	300,75	601,5

Повна собівартість біогазу (грн./м³) за умови 10 % накладних від прямих витрат і відпускна ціна залежно від потужності виробництва ілюструється на рис. 3.

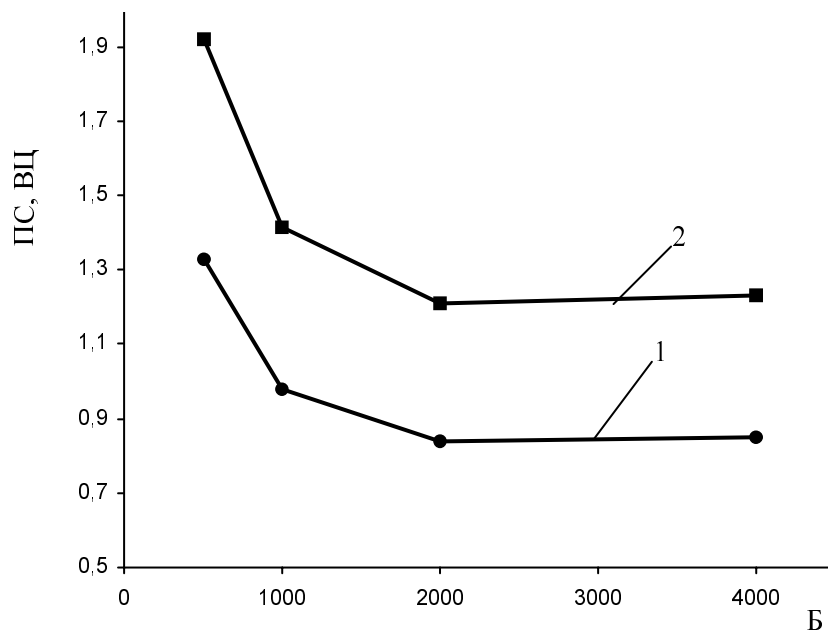


Рис. 3. Залежність повної собівартості (ПС, грн./м³) і відпускної ціни (ВЦ, грн./м³) від потужності виробництва (Б, гол. ВРХ)

З рис. 3 видно, що собівартість біогазу залежно від потужності установок змінюється порівняно незначно – від 1,33 грн./м³ (виробництво Б-500) до 0,84 грн./м³ (виробництво Б-2000). Попри очікування, збільшення потужності виробництва (Б-4000) не приводить до зниження собівартості продукції. Це пов'язано зі збільшенням капіталовкладень на автотранспорт і, головне, прямих витрат на транспортування екскрементів. Що стосується питомих капіталовкладень, то, як і очікувалось, із зростанням потужності установок вони зменшуються, хоча це і не вплинуло на зменшення собівартості.

В табл. 2 подано основні техніко-економічні показники виробництв.

Таблиця 2

Зведена таблиця основних техніко-економічних показників

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника			
		Б-500	Б-1000	Б-2000	Б-4000
1	2	3	4	5	6
Потужність виробництва					
– в натуральному вираженні	тис. м ³	304,45	608,9	1217,8	2435,6
– у вартісному вираженні	тис. грн.	584,54	584,54	1473,54	2061,15
Чисельність працюючих,	чол.	33	35	43	52
в тому числі основних робітників	чол.	22	24	31	42
Продуктивність праці на одного робітника	тис. грн.	26,57	35,77	47,53	70,75
Середньорічна зарплата на одного робітника	грн.	4947,1	4903,5	4816,2	4739,2
Повна собівартість					
– одиниці продукції	Грн.	1,33	0,98	0,84	0,85
– річного випуску продукції	тис. грн.	405,11	596,76	1021,96	2061,15
Валовий прибуток	тис. грн.	81,72	128,48	233,67	469,69
Капітальні вкладення	тис. грн.	1041,59	1416,36	2156,88	3438,05
Питоми капітальні вкладення	грн./м ³	3,42	2,32	1,77	1,41

1	2	3	4	5	6
Фондовіддача	грн.	0,62	0,67	0,75	0,95
Термін окупності капітальних вкладень	роки	12,7	11	9,2	7,3
Точка нульового доходу	тис. м ³	209,2	405	776,8	1438,9
Чиста поточна вартість (NVP)	тис. грн.	150,0	237,8	436,7	999,4
Індекс прибутковості ІП		1,15	1,17	1,2	1,29

В цілому можна сказати, що порівняно з відпускну ціною природного газу для фізичних споживачів (0,175 грн./м³) відпускна ціна найдешевшого біогазу виробництва Б-2000 (1,21 грн./м³) майже в 7 разів більше. Якщо прийняти до уваги, що біогаз на 40–50 % за об'ємом складається з інертного CO₂ і, відтак, теплотвірна здатність його на таку ж величину менше, то вартість тепла, одержаного з біогазу, в 12–14 разів дорожче від тепла, одержаного при згорянні природного газу.

Згідно з економічним аналізом чиста поточна вартість та індекс прибутковості мають позитивні значення і зростають при збільшенні потужності виробництва, але для розрахунку цих показників обрана мінімальна ставка дисконту (6 %), хоча сьогодні загальноприйнятою і мінімальною є ставка 10 %. При застосуванні ставки 10 % з погляду інвестора проекти були б економічно неефективними. Ставка 6 % може бути прийнятною тільки для державної економіки і державного господарства, оскільки тільки держава може бути зацікавлена швидше за все не в одержанні прибутку від деяких збиткових підприємств, а в поліпшенні загальних характеристик держави, наприклад, екологічних.

Терміни окупності виробництв є теж занадто великими – від 7,3 до 12,7 років, тобто інвестор поверне капітал, коли установки вже будуть півтора–два рази окуплені.

Усе це говорить не на користь розглядання біогазових установок за використаною схемою як альтернативного джерела енергії.

Висновки. 1. За безперервною схемою спроектована установка по виробництву енергетичного біогазу в мезофільних умовах для переробки гною від 2000 голів ВРХ. Розрахунки показують, що при застосуванні рециркуляції біомаси робочу ємність метантенків можна знизити з 775,5 до 120 м³.

2. На основі розрахованої моделі і емпіричних залежностей визначені основні техніко-економічні показники як базового виробництва, так і виробництв для переробки гною від 500, 1000 і 4000 голів ВРХ. Попри прийнятих рішеннях щодо зниження капітальних витрат на обладнання і включення прибутку від продажу біошроту в загальний прибуток, повна собівартість біогазу залежно від потужності виробництва становить 0,84 до 1,33 грн./м³, при цьому оптимальною потужністю треба вважати виробництво Б-2000. Виробництва є економічно вигідними тільки за умови дисконтної ставки 6 %, що значно менше від загальноприйнятої мінімальної ставки 10 %. Визначено також, що вартість тепла, одержаного при згорянні біогазу, в 12–14 разів більша від вартості тепла, одержаного при згорянні імпортного природного газу.

В цілому можна вважати, що будівництво біогазових установок за вищенаведеною схемою є недоцільним.

1. Дубровский В.С., Виестур У.Э. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с. 2. Биомасса как источник энергии / Под ред. С. Соуфера, О. Заборски; Пер. с англ.; Под ред. Я.Б. Черткова. – М.: Мир. – 368 с. 3. Сидоров Ю.І., Новіков В.П., Вязло Р.Й. / Розрахунковий метод складання матеріальних балансів процесів ферментації // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2002. – № 447. – С. 165–175. 4. Гапонов К.П. Процессы и аппараты микробиологических производств. – М.: Легк. пром-сть, 1981. – 240 с.