

УДК 631.333.92 : 631.22.018

ВПЛИВ СТРУКТУРИ СУБСТРАТУ НА ВИХІД БІОГАЗУ ПРИ МЕТАНОВОМУ ЗБРОДЖУВАННІ

Шацький В.В., д.т.н.,

Скляр О.Г., к.т.н.,

Скляр Р.В., к.т.н.,

Солодка О.О., інженер.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: +38 (0619) 42-05-70

Анотація – визначені залежності виходу біогазу від структури субстрату при метановому збродженні.

Ключові слова – біогаз, метаногенеруючі бактерії, збродженна маса, зелена маса, анаеробний процес, гній, енергетична цінність.

Постановка проблеми. Розвиток тваринницького підприємства на інноваційній основі припускає виробництво конкурентоздатної продукції за технологією, що забезпечує визначену цією технологією собівартість продукції. Стримання підвищення собівартості продукції можливо при вирішенні на тваринницьких підприємствах, перш за все, двох проблем – енергетичної і екологічної, що потребує використання певних технологій.

Застосування технології метанізації органічних відходів на основі анаеробної їх переробки в сільськогосподарському виробництві дозволяє вирішити не тільки екологічні проблеми, що постають перед тваринницькими підприємствами, але і збільшити його рентабельність за рахунок отримання високоякісних органічних добрив і біогазу, придатного для отримання електричної або теплової енергії.

Проте, не дивлячись на перераховані переваги, технологія анаеробної переробки органічних ресурсів тваринницького підприємства ще не знайшла широкого застосування. Це обумовлено рядом чинників: низькою продуктивністю процесу метаногенерації і, як наслідок, високою вартістю біогазового обладнання. При цьому низька продуктивність процесу збродження обумовлена недостатньою енергетичною насиченістю субстрату із-за недосконалого технологічного процесу видалення і зберігання цінного органічного ресурсу. Разом з тим, а це є головним, нині не вирішена

проблема визначення енергетичного балансу між органічною сировиною, біогазом і органічними добривами.

Відсутність достовірних даних про енергетичний баланс системи «грунт – корм – тварина – органіка - грунт» і методології обґрунтування параметрів цієї системи методом енергетичної оцінки дозволяє об'єктивно судити про наявність проблеми ефективного використання органічних ресурсів тваринницьких об'єктів, як основного матеріалу підвищення середоформуючих і ресурсопродукуючих функцій екосистеми.

Аналіз останніх досліджень. Біогаз утворюється в результаті розкладання бактеріями органічної субстанції. Бактерії розкладають органічні субстрати, що складаються переважно з води, білка, жиру, вуглеводів і мінеральних речовин, на їх первинні складові - вуглекислий газ, мінерали і воду. Як продукт обміну речовин, при цьому утворюється суміш газів, що отримала назву біогаз. У цій суміші вміст метану (CH_4) коливається від 5 до 85 %, і він є основним компонентом біогазу, а значить і основним компонентом, що містить енергію [1].

Процес отримання біогазу і біодобрив з органічних відходів може бути розділений на три стадії (гідроліз, окислення і утворення метану) [2] або чотири етапи розкладання органічного субстрату [1], які відрізняються тим, що друга стадія (окислення) в другому випадку розділена на два етапи (фаза окислення і утворення оцтової кислоти). У цьому складному комплексі перетворень бере участь безліч мікроорганізмів, головними з яких є три види метанотвірних бактерій.

На першому етапі аеробні бактерії перетворюють високомолекулярні органічні субстанції (білок, вуглеводи, жири, целюлозу) за допомогою ферментів на низькомолекулярні з'єднання, такі як цукор, амінокислоти, жирні кислоти і воду. Ферменти, виділені гідролізними бактеріями, розщеплюють органічні складові субстрату на малі водорозчинні молекули.

На другому етапі кислотопродукуючі бактерії розщеплюють складні органічні сполуки (клітковину, білки, жири і ін.) в простіші. При рівні рН 6,0-7,5 виробляються в першу чергу нестійкі жирні кислоти (карбонові кислоти - оцтова, мурашина, масляна, пропіонова), низькомолекулярні алкоголі - етанол і гази - двоокис вуглецю, сірководень і аміак. Цей етап називають фазою окислення (рівень рН знижується).

На третьому етапі кислотоутворюючі бактерії з органічних кислот створюють початкові продукти для утворення метану, а саме: оцтову кислоту і двоокис вуглецю. Такі бактерії, що знижують кількість вуглецю, дуже чутливі до температури.

На останньому етапі утворюється метан, двоокис вуглецю і вода, як продукт життєдіяльності метанових бактерій з оцтової і мурашиної кислоти (дев'яносто відсотків всього метану виробляється на цьому етапі).

Таким чином, наявність оцтової кислоти (тобто 3 етап розщеплювання) є чинником, що визначає швидкість утворення метану. Метанові бактерії є виключно анаеробними. Оптимальний рівень рН складає 7, причому амплітуда коливань може бути в межах 6,6 - 8.

Слід зазначити, що метано- і кислотоутворюючі бактерії взаємодіють в симбіозі. З одного боку, кислотоутворюючі бактерії створюють атмосферу з ідеальними параметрами для метанотвірних бактерій (анаеробні умови, хімічні структури з низькою молекулярною вагою). З іншого боку, метанотвірні мікроорганізми використовують проміжні з'єднання кислотоутворюючих бактерій. Якби не відбувалося цієї взаємодії, в реакторі розвинулися б невідповідні умови для діяльності обох типів мікроорганізмів [2].

Велика увага в дослідженнях приділяється підвищенню ефективності анаеробної переробки органічних речовин, включаючи відходи тваринного і рослинного походження в біогаз. Ефективність метанового «бродиння» або біометаногенеза підвищується при додаванні рослинної сировини, наприклад, амаранту [3]. Це скорочує фазу зброджування осаду стічних вод до 4-5 разів. При додаванні амаранту в умовах напівбезперервного режиму зброджування в пілотних реакторах ($V = 12$ л) закономірності газоутворення не змінюються; при цьому ступінь конверсії органічного субстрату збільшується з 65 до 83%.

Показано, що активація метаногенезу безпосередньо не пов'язана з високим вмістом білка в амаранті: додавання фітомаси кропиви з вищим вмістом білка в субстрат здійснює пригноблюючу дію на метаногенез. Найбільш ефективним компонентом амаранту, що активує газоутворення, є метиленхлоридний екстракт (266,1 мл газу / г сухої речовини), що містить хлорофіл, фітостерини, каротин, і, переважно, ліпіди. Економічно доцільно використовувати жом амаранту після відділення практично цінних з'єднань (містяться в метиленхлоридному, водному і спиртному екстрактах), його застосування як ко-субстрата при зброджуванні осаду стічних вод дозволяє досягти вмісту метану в біогазі 83% [3].

Яблучний жом аналогічно жому амаранту може слугувати ко-субстратом до органічних речовин в процесі отримання біогазу; питома продуктивність в експерименті з яблучним жомом на 11% вище, ніж в контролі [3].

Встановлено, що зброджений субстрат з амарантом без додаткової аеробної обробки фітотоксичен, компостування приводить до стимуляції зростання рослин на 24% [3].

Одним з найбільш важливих факторів, що впливають на метанове бродіння (виділення біогазу), є співвідношення вуглецю і азоту (C/N) в перероблюваній сировині. Недостатність азоту служить фактором, який обмежує процес метанового бродіння. Надлишки азоту у вигляді аміаку стають токсичними для метанопродукуючих бактерій.

Оптимальним співвідношенням (C/N), яке досягається змішуванням початкової органічної сировини, є співвідношення вуглецю і азоту від 10 до 20 [4].

Зброджувана органічна маса не повинна містити речовин (антибіотики, розчинники і т. п.), мікроорганізмів, які негативно впливають на життєдіяльність. Вони уповільнюють, а іноді і припиняють процес виділення біогазу. Не сприяють "роботі" мікроорганізмів і деякі неорганічні речовини, тому не можна, наприклад, використовувати для розбавлення гною воду, що залишилася після прання білизни синтетичними миючими засобами.

Отримуваний в процесі біометанізації біогаз в ідеальному випадку є безбарвним, без запаху, горючим та має наступний склад: метан (CH₄) 55-70%; двоокис вуглецю (CO₂) 30-45%; сірководень (H₂S) 1-2%; азот (N₂) 0-1%; водень (H₂) 0-1%; монооксид вуглецю (CO) сліди; кисень (O₂) сліди [4].

Аналіз проведених досліджень дозволяє визначити мету досліджень.

Формулювання цілей статті. Підвищення ефективності використання органічних ресурсів тваринницьких об'єктів на основі анаеробної переробки органічної сировини шляхом інтенсифікації процесу метанового зброджування субстрату за рахунок оптимізації його структури.

Основна частина. Експериментальні дослідження проводили з метою визначення параметрів живильного і температурного режиму середовища зростання, розвитку і ефективного функціонування метаногенеруючих бактерій, які створюється шляхом композиції в різному співвідношенні рослинної сировини, гною великої рогатої худоби і води.

Після проведення аналізу останніх досліджень в якості основної метаногенеруючої сировини обрано гній молодняка великої рогатої худоби і зелена маса газонної трави з додаванням води в більшості випадків.

Дослідження проводились на лабораторній установці (рис. 1), яка складається з чотирьох метантенків 1, об'ємом по 3 дм³. Останні забезпечені ємкостями для збору біогазу 3 та пристроєм для його виведення 2. Конструкція ємкостей дозволяла збирати біогаз протягом декількох діб в ємність з ємністю, що змінюється, за допомогою водяного затвору (див. рис. 1).



Рис. 1. Лабораторна установка.

Метаногенеруючу сировину було представлено у чотирьох варіантах суміші гною великої рогатої худоби із зеленою масою газонної трави різної вологості (таблиця 1).

Таблиця 1 – Склад органічної сировини варіантів суміші

Варіанти суміші	Компоненти сировини			Співвідношення C/N	Енергія, МДж
	зелена маса трави, г	гній ВРХ, дм ³	вода, мл		
1 варіант	300	800	500	16,74	0,83
2 варіант	550	550	550	14,68	1,15
3 варіант	1000	100	-	12,37	1,69
4 варіант	600	300	300	13,58	1,12

З таблиці 1 видно, що співвідношення (C/N) знаходиться в діапазоні, що рекомендується (див. вище). Найбільше це значення - в першому варіанті змішаних компонентів, де вміст гною складає 50%. Найменше - в третьому варіанті при вмісті гною 10%.

Енергетична оцінка сухої речовини органічної суміші показує, що найбільше значення спостерігається в третьому варіанті (1,692 МДж), а найменша величина енергетичного вмісту – у суміші з найбільшим вмістом гною – 1 варіант (0,831МДж) (див. таблицю 1).

Отримані в результаті лабораторних досліджень результати показують, що суміші різного співвідношення вуглецю і азоту (C/N) володіють різними метаногенеруючим потенціалом. Найбільше співвідношення вуглецю і азоту (C/N) в першому варіанті суміші здійснює найбільший позитивний вплив на процес бактеріологічного виробництва метану (рис. 2). А саме, з 55 доби відбувається активний вихід біогазу з відмітки 30 дм³ і продовжується до 190 дм³ на 134 добу.

За 134 дні в першому варіанті вироблено 190,0 дм³ біогазу, у другому – 37,0 дм³, в третьому – 24,0 дм³, а в четвертому – найменше – 19,8 дм³ біогазу. Отримані значення прямо пропорціональні кількості гною та корелюються з ним по залежності $y = 1E-0,6x^3 - 0,001x^2 + 0,2117x + 11,467$ (рис. 3).

Отже в цьому випадку повинна бути складна багатофакторна кореляція, яку потрібно визначити, провівши додаткові експериментальні дослідження.

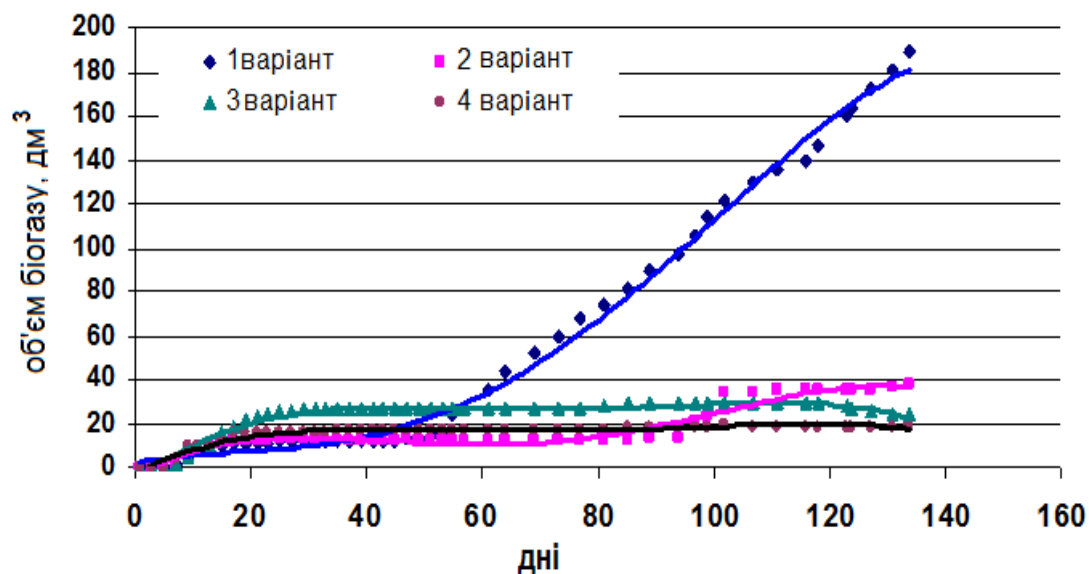


Рис. 2. Залежність виробленого біогазу від часу протікання процесу метаногенерації.

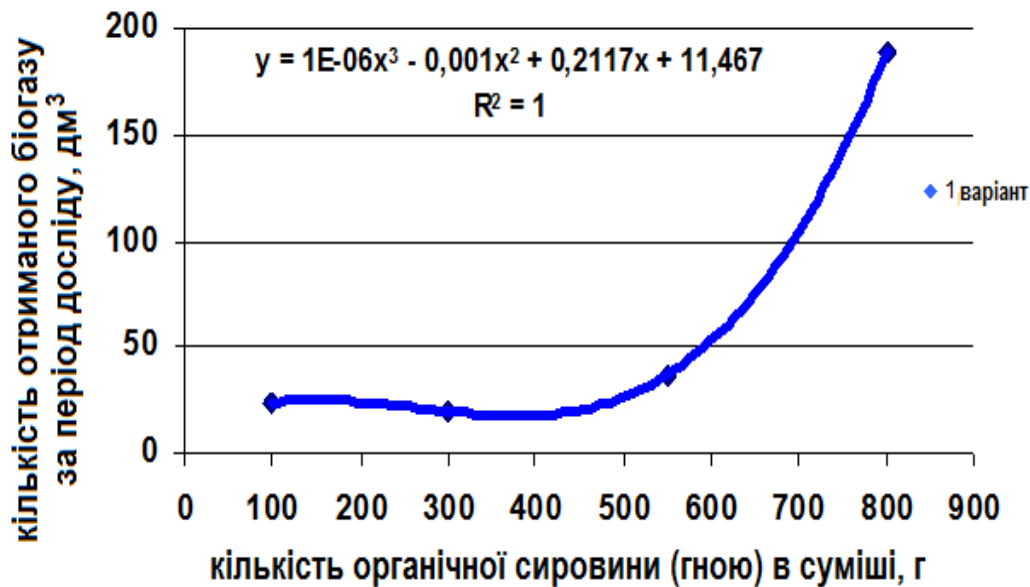


Рис. 3. Залежність кількості виробленого біогазу від змісту органічної сировини в суміші.

Отримані результати лабораторних досліджень показують залежність інтенсивності протікання процесу метаногенерації від якісного складу органічної сировини. На рисунках 4 і 5 видно, що інтенсивність виділення біогазу спостерігалася на:

- 9-11 день (2,12-1,94 дм³/доб.) в другому варіанті;
- 9-15 день в третьому варіанті (1,94-2,83 дм³/доб.) (рис. 5)
- 7-9 день в четвертому варіанті, про що свідчить добове вироблення біогазу в ці дні 1,59-3,0 дм³/доб. (див. рис. 5).

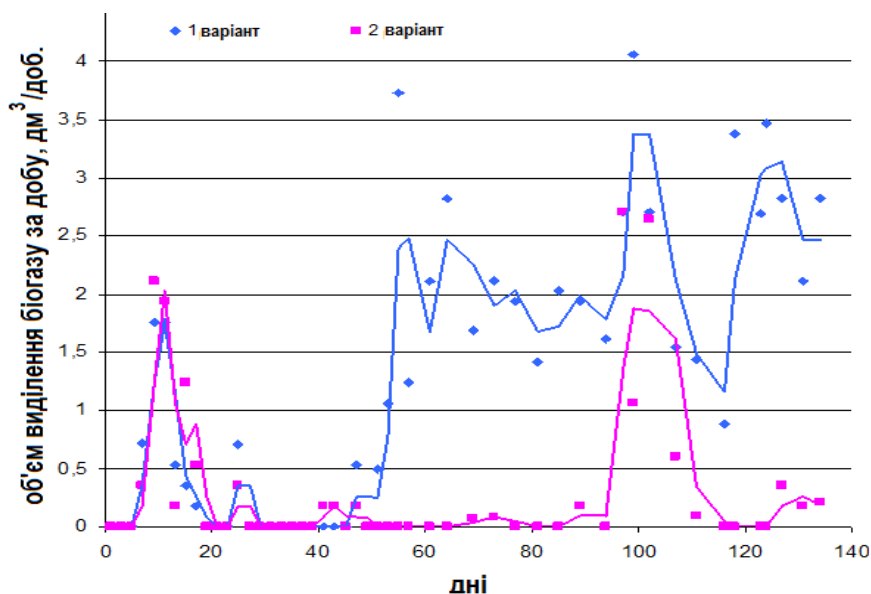


Рис. 4. Залежність об'єму виділення біогазу за добу від часу процесу.

У другому варіанті, де в суміші знаходиться 550 дм^3 свіжого гною і стільки ж зеленої трави, сплеск виділення біогазу спостерігається на 97-102 день. Можливо це пов'язано з попереднім напрацюванням колоній бактерій, що дало можливість підвищити виділення біогазу з $13,7$ до $34,61 \text{ дм}^3$ біогазу за 7 діб.

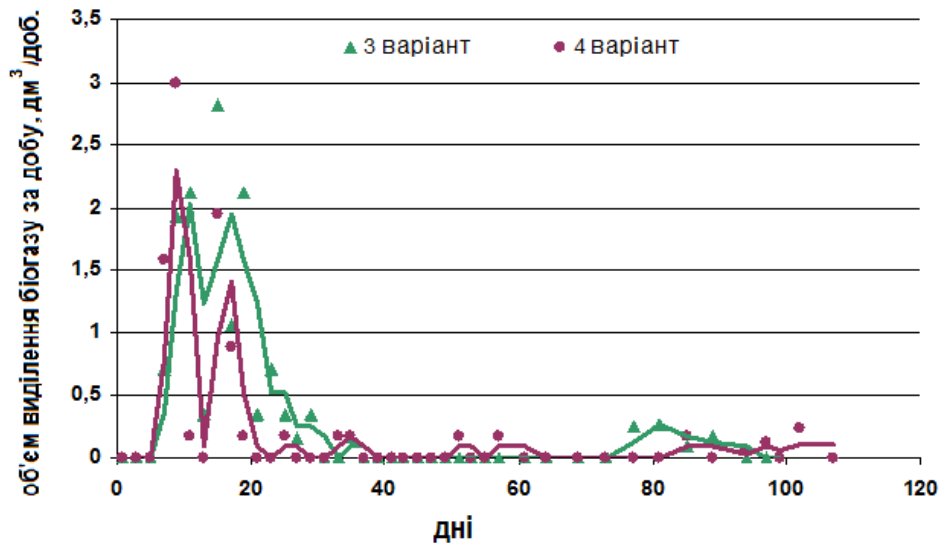


Рис. 5. Залежність об'єму виділеного біогазу за добу від часу процесу.

Проведені дослідження показали, що найкращою композицією метаногенеруючої сировини є – 500 г зеленої трави, яку було подрібнено на частинки в 5 мм , 800 дм^3 свіжого гною і 300 мл теплої води. Ця композиція виробляла біогаз протягом 526 днів з різною інтенсивністю (рис. 6).

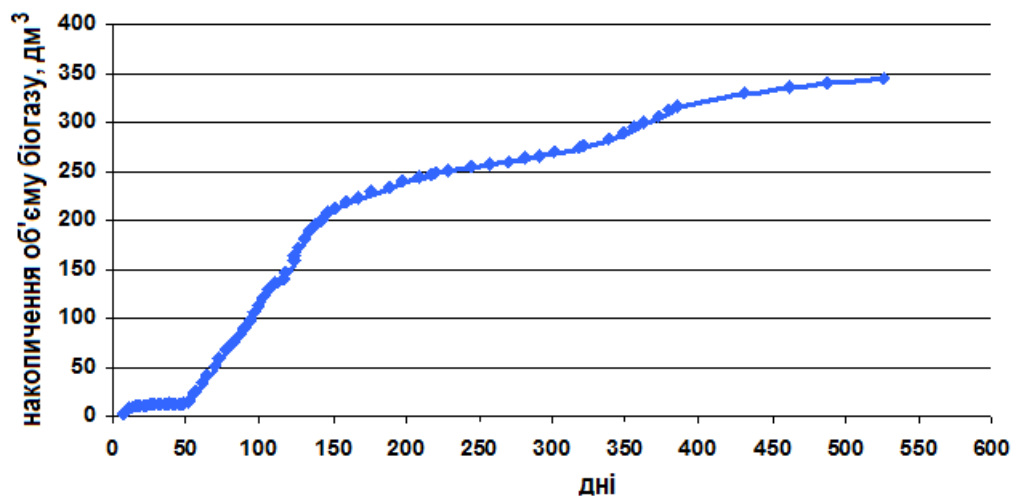


Рис. 6. Залежність виробленого біогазу від часу протікання процесу метаногенерації.

Загальна кількість виробленого біогазу склала за 526 діб 334дм^3 . З рисунка 6 видно, що весь процес можливо поділити на три етапи.

Перший етап, який триває до 50 діб, – це нарощування метаногенеруючих бактерій, при якому виділення біогазу складає на рівні $0,5\text{ дм}^3$ (рис. 7).

Другий етап, який триває приблизно 100 днів (від 50 до 150 діб) – це інтенсивна переробка органічної сировини метаногенеруючими бактеріями в біогаз. При цьому добове виділення біогазу знаходиться на рівні (див. рис. 7) $2,5\text{ дм}^3$. За цей період було вироблено близько 200 дм^3 біогазу.

На останньому – третьому етапі за 390 днів було виділено приблизно 150 дм^3 біогазу, при добовому виході, як і в першому етапі, – $0,5\text{ дм}^3$. Цей третій етап характеризується значним спадом активності метаногенеруючих бактерій внаслідок виснаження як енергетичної цінності, так і поживності органічної сировини.

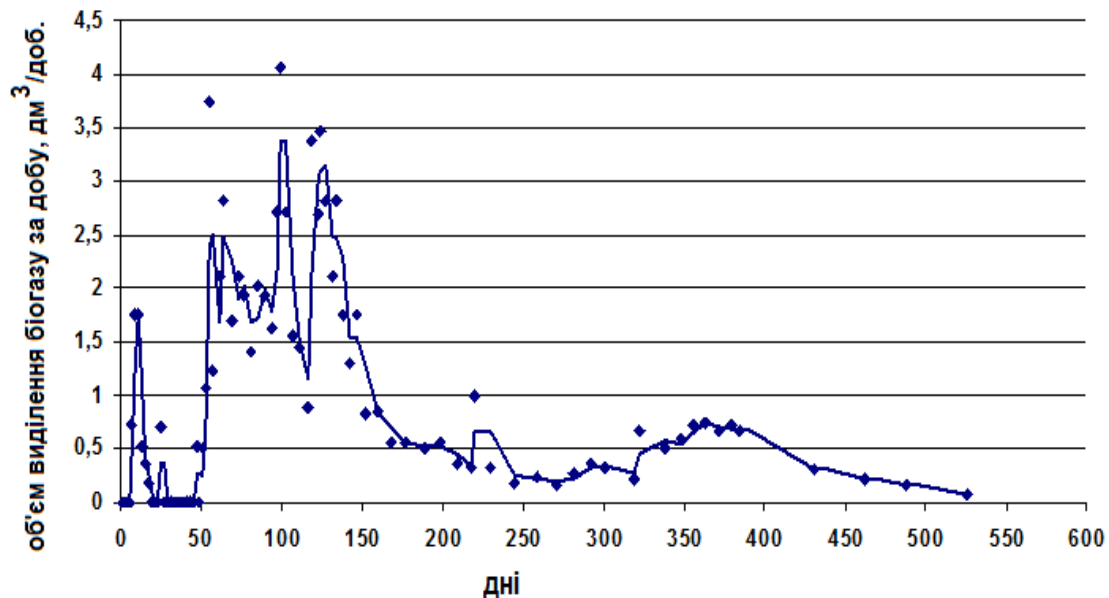


Рис. 7. Залежність об'єму виробленого біогазу за добу від часу процесу метаногенерації.

Висновки. Лабораторні дослідження процесу метаногенерації проведені з метою визначення параметрів живильного і температурного режимів середовища зростання, розвитку і ефективного функціонування метаногенеруючих бактерій, що створюється шляхом композиції в різному співвідношенні рослинної сировини, гною великої рогатої худоби і води, показали, що кращою композицією є перша при співвідношенні зеленої маси трави, гною і води – 300, 800 і 500, що забезпечило якнайкраще співвідношення вуглецю і азоту (16,74) і енергетичну цінність в $0,83\text{ МДж}$.

Література.

1. Процесс получения биогаза : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: aleks-myblog11.blogspot.com/2012/02/blog-post.html .
2. Процесс анаэробной переработки: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: www.fluid-biogas.com/?page_id=125.
3. *Белостоцкий Д. Е.* Влияние амаранта на эффективность процесса получения биогаза из органических отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.01.06 / *Белостоцкий Д.Е.* - Казань, 2012.- 20 с.
4. Процесс получения биогаза и его оптимизация, солома переработка другие технологии : [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: zarip-ovosch.ru/process-polucheniya-biogaza-i-ego-o.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СУБСТРАТА НА ВЫХОД БИОГАЗА ПРИ МЕТАНОВОМ СБРАЖИВАНИИ

Шацкий В.В., Скляр А.Г., Скляр Р.В., Солодкая Е.А.

Аннотация

Определены зависимости выхода биогаза от структуры субстрата при метановом сбраживании.

INFLUENCE OF SUBSTRAT STRUCTURE ON BIOGAS OUTPUT DURING METHANE FERMENTATION

V. Shatskiy, A. Sklyar, R. Sklyar, E. Solodkya

Summary

Dependence of biogas output on the substrat structure during methane fermentation has been determined.