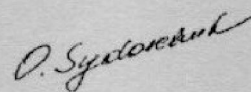


Автореф
с 34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Сидорчук Ольга Валеріївна



УДК 662.767.2.002.5:631.17

**РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ
БІОГАЗУ ІЗ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУБСТРАТІВ**

Спеціальність 03.00.20 – біотехнологія (технічні науки)

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2013

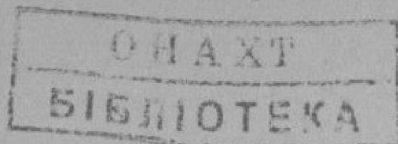
Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Кабінету Міністрів України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Голуб Геннадій Анатолійович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України Кабінету Міністрів України, директор НДІ техніки і технологій.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, доцент
Крусір Галина Всеволодівна,
Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екології харчових продуктів та виробництв;

v 018329



– доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Таширев Олександр Борисович,
Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного Національної академії наук України, завідувач відділу біології екстремофільних мікроорганізмів.

Захист дисертації відбудеться 20 грудня 2013 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.02 в Одеській національній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 65039, м. Одеса, вул.

у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України за адресою: 65039, м.

Л. Станкевич

ОНАХТ

Автореф

Розробка комплексної



v018329

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним зі шляхів доповнення і часткової заміни традиційних видів палива в сільській місцевості й агропромислового виробництва є використання біогазу, який утворюється за умов ферментації органічних субстратів в анаеробних умовах. Кількість сировини для продукування біогазу в Україні оцінюють в 2,1 млн. т умовного палива. Біотехнологія отримання біогазу дозволяє виробляти «зелену» енергію і високоякісні органічні добрива. Для технологій анаеробного зброджування в країнах Європи як вихідну сировину використовують кукурудзу, трави і їх суміші у вигляді сінажу або силосу, сільськогосподарські, харчові та комунальні відходи. Процеси, які обумовлюють взаємодію біосубстрату із зовнішнім середовищем і формують якість процесу метаногенезу, об'єднують у єдиний комплекс прийомів вирощування, підготовки та переробки біомаси в спеціалізованих реакторах. Насичення традиційних технологій екологічними елементами відкриває шлях до Cleaner Production (CP) – «чистішого виробництва» енергетичних культур. Технічне забезпечення технологій метанового зброджування також потребує істотного вдосконалення та розробки відповідного обладнання. Найвні роботи носять фрагментарний характер і не висвітлюють дані проблеми. Поряд з цим, в Україні вже сформовані передумови до створення промислових біогазових установок, що поєднують вертикальні і горизонтальні ферментери, які диференціюють параметри технологічного процесу залежно від складу субстрату та вимог мінімізації шкідливих викидів у довкілля. Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю ефективного використання потенціалу біосировини для виробництва біогазу на новітній техніко-технологічній основі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) упродовж 2004-2013 рр. у відповідності з темами НДР: «Розробка наукових основ технологічного забезпечення процесів комплексного виробництва біогазу та органічних добрив в АПК» (№ державної реєстрації 0107U004379), «Розробка комплексних енергоощадних систем виробництва і використання твердих і рідких біопалив в умовах АПК» (№ державної реєстрації 0107U002443), «Розробка технології інтегральної переробки біологічних відходів у біогазових установках нового покоління» (№ державної реєстрації 0111U003687), «Розробка обґрунтування щодо технічного оснащення та нормативного забезпечення державної лабораторії з якості дизельного біопалива» (№ державної реєстрації 0107U012056), «Розробка ДСТУ «Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору зразків для випробування» (№ державної реєстрації 0112U006773), «Оцінка біогазової продуктивності відходів птахофабрики в сумішах з рослинною біомасою» за угодою № 07/06 – 008 із ЗАТ «Енергетичний Альянс». У розробці цих тем автор як виконавець брав безпосередню участь.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є підвищення ефективності отримання біогазу із багатокомпонентних субстратів шляхом застосування ресурсоощадної технології виробництва, переробки й ферментації органічної

сировини з удосконаленням конструктивно-технологічних рішень біогазової установки.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- розробити СР-технологію і сформуванати комплекс машин для «чистішого виробництва» рослинної біомаси на енергетичні потреби;
- визначити вихідні техніко-технологічні вимоги та аналітично описати кінетику процесів отримання біогазу з різних субстратів;
- обґрунтувати комплексні конструктивно-технологічні рішення біогазової установки і визначити оптимальні параметри та режими роботи метантенків за умов зброджування різних субстратів;
- провести техніко-економічну і екологічну оцінку запропонованих конструктивно-технологічних рішень ресурсощадної технології отримання біогазу та рідких органічних добрив.

Об'єкт дослідження – технології і технічні засоби для виробництва біомаси як сировини на енергетичні потреби (на прикладі кукурудзи на силос), біотехнологічні процеси й обладнання для одержання біогазу та органічних добрив.

Предмет дослідження – залежності впливу конструктивно-технологічних і режимних параметрів біогазових реакторів на показники ефективності технологій та процесів переробки органічної сировини та утилізації відходів агропромислового виробництва за умов анаеробного зброджування багатокомпонентних субстратів.

Методи дослідження. Сформовано комплексну методичну базу для проведення досліджень з метою створення наскрізної технології, що включає основні процеси вирощування, переробки та використання кінцевої продукції (біогазу та добрив). Моделювання СР-технології виробництва енергетичної кукурудзи на силос виконано за методикою UNIDO. Математичну модель процесу ферментації в комплексній біогазовій установці розроблено на основі теорії нечіткої логіки та нечітких множин. Лабораторні дослідження складних субстратів за умов зброджування у вертикальному метантенку, порівняльну оцінку технологій ферментації субстратів і ефективності отриманих органічних добрив проведено згідно оригінальних методик з використанням розроблених стандартів. Емпіричні моделі залежностей впливу коефіцієнтів заповнення і занурення горизонтального обертового реактору на потужність його привода одержані з використанням регресивного аналізу. Результати вимірювань оброблені методами математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше розроблено СР-технологію вирощування рослинної сировини для зброджування у складі багатокомпонентних субстратів. Розроблено математичну модель процесу отримання біогазу за умов зброджування складного субстрату.

Досліджено кінетику анаеробного зброджування органічних субстратів, що поєднує ступінь розщеплення органічної маси із часом зброджування субстрату.

Визначено оптимальні параметри рівня занурення і коефіцієнта заповнення горизонтального обертового метантенку, які обумовлені аналітичними залежностями та підтверджені експериментально.

Технічну новизну розробок захищено 8-ма патентами України на винаходи.

Практичне значення одержаних результатів. У ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» уперше реалізовано СР-технологію вирощування біомаси, що дозволяє за менших витрат досягнути економії добрив, засобів захисту рослин і палива та частково усунути причини забруднення субстратів інгібіторами.

Нове конструктивно-технологічне рішення біогазової установки для переробки багатокомпонентних субстратів з оригінальною конструкцією горизонтального метантенку із виходом біогазу більшим на 20% порівняно з базовими технологіями, передано КБ заводу «ТАН» (м. Чернігів).

Результати НДР впроваджено у вигляді трьох науково-практичних рекомендацій виробництву і використано при підготовці двох стандартів (СОУ 40.21-37-560:2007 і ДСТУ ХХХХ:2013) й вихідних вимог ВОН 29.2-37-002:2013, що затверджені Міністерством аграрної політики і продовольства України, та при формуванні проекту «Євросело - ХХІ століття».

Результати дисертації знайшли відображення у навчальному процесі НУБіП України та Національного технічного університету України «КПІ» Міністерства освіти і науки України.

Особистий внесок здобувача полягає в плануванні теми і завдань дисертації, проведенні експериментів, їх опрацюванні й інтерпретації, аналізі літератури, написанні наукових статей. Спільно з науковим керівником, доктором технічних наук, професором Г.А. Голубом, проведено вибір об'єктів, розроблено концепцію й загальний напрямок дослідження та структуру дисертаційної роботи. Дисертанткою розроблено методику створення СР-технології для вирощування біомаси енергетичного призначення, доведено доцільність і переваги застосування установки для виробництва біогазу й органічних добрив за умов зброджування багатокомпонентного субстрату, визначено ефективність органічних добрив, отриманих після анаеробного зброджування субстрату в біореакторі та запропоновано ряд нормативних документів. Викладені в дисертації висновки та положення сформульовано дисертанткою самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати досліджень доповідали на науково-технічних конференціях і семінарах Миколаївського національного аграрного університету (Миколаїв, 2005; 2006), Національного університету біоресурсів і природокористування України (Київ, 2007; 2013), Подільського державного аграрно-технічного університету (Кам'янець-Подільський, 2012), Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України (Глеваха, 2013), Університету «Angel Kanchev» (Русе, Болгарія, 2013), Інституту PIMR (Познань, Польща, 2013).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 29 наукових робіт, серед яких: 3 - міжнародні, 10 - наукові фахові, 3 - рекомендації, 8 - патенти України, 4 - праці і тези наукових конференцій та 1 - галузевий стандарт.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, огляду літератури, матеріалів і методів досліджень, експериментальної частини, списку використаних джерел, який містить 175 найменувань. Робота викладена на 170 сторінках, містить 65 рисунків, 19 таблиць та 11 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, її зв'язки із науковими темами, сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження.

Розділ 1. Аналітичний огляд літературних джерел дослідження технологій і обладнання анаеробного зброджування біомаси

Здійснено аналіз наукових праць стосовно технологій отримання і зброджування органічної сировини, використання біогазу й добрив та розробки відповідних мікробіологічних реакторів біогазових установок. Дослідженням сучасних технологій і технічних засобів ферментації органіки та метаногенезу присвячені наукові роботи Th.Amon & V.Kryvoruchko, 2003; Ю.Б.Матвеева, 2006; Г.С.Ратушняка, 2008; В.С.Таргоні, 2009; Я.Б.Блюма, І.П.Григорюка, С.П.Циганкова, 2010; F.Bauer, 2011; Г.В.Крусір, 2011; М.Д.Мельничука, 2011; О.Б.Таширева, 2011; Г.А.Голуба, 2012; В.М.Поліщука, 2013 та інших.

Показано, що технології анаеробного зброджування розвиваються у напрямку уніфікації складових виробничих процесів. Аналізом визначено тенденції зростання кількості компонентів у субстратах, диференціації мікробіологічних процесів за режимами ферментації, підвищення якості сировини та екологічної безпеки кінцевих продуктів ферментації з дотриманням санітарно-гігієнічних правил. Огляд нових технологічних і конструктивних рішень біогазових установок дозволяє дійти висновку, що біогазові реактори створюють для переробки відходів й отримання енергоносіїв, енергетичні показники виробництва яких безпосередньо залежать від якості сировини. Вдосконалення конструкцій біореакторів веде до зниження енерговитрат на переробку субстрату, а створення оптимальних умов ферментації відбувається за роздільного та послідовного зброджування біомаси.

Водночас, результатів досліджень комплексних біотехнологій із застосуванням підготовки біомаси в процесі її вирощування з роздільним метановим зброджуванням багатокомпонентних субстратів в сучасних джерелах майже немає. Тому розробка таких біотехнологічних підходів є актуальною. Зокрема, не визначено параметрів та режимів роботи горизонтального реактора як елемента технологічного обладнання.

Підсумовуючи викладене вище, нами уперше запропоновано концептуальну структурно-логічну схему комплексної технології отримання і використання біогазу та рідких органічних добрив з багатокомпонентних субстратів. Важливою особливістю даної технології є її замкненість, що дозволяє раціонально використовувати та відновлювати природні ресурси.

Розділ 2. Матеріали і методи досліджень

Викладено програму і методику експериментальних досліджень технології й технічних засобів вирощування кукурудзи на силос як сировини для енергетичних потреб, а також відповідних біотехнологічних процесів та обладнання для виробництва біогазу і органічних добрив.

Лабораторно-польові дослідження традиційної і СР-технології вирощування кукурудзи на силос нами здійснено у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» з використанням методичних рекомендацій UNIDO (А.Гжибек та ін., 2009), а моделювання нового комплексу машин і порівняльну його оцінку - за методикою (І.І.Мельник та ін., 2005).

Експериментальні лабораторні дослідження з переробки субстратів у вертикальному і горизонтальному метантенках (рис. 1), а також порівняльну оцінку технологій зброджування проведено згідно вітчизняних та європейських стандартів.

Біогазова лабораторна установка БУ-1 включає вертикальні біогазові реактори та газгольдери. Кожен з реакторів представляє собою резервуар із верхньої циліндричної та нижньої конічної частинами з робочим об'ємом 25 л. Горизонтальний обертовий реактор ГОР-1 має об'єм 60 л.

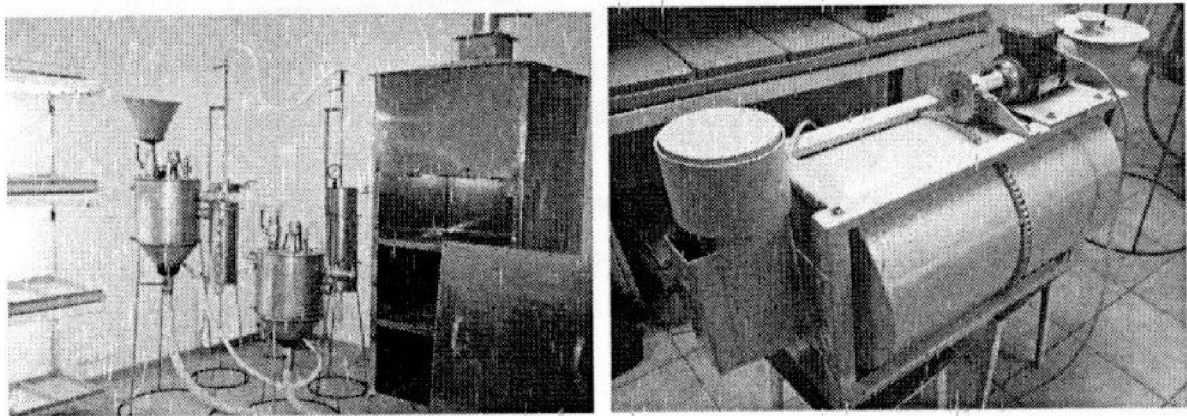


Рис. 1. Загальний вигляд лабораторних біогазових установок БУ-1 (ліворуч) і ГОР-1 (праворуч)

Оцінку біогазової продуктивності метаногенних бактерій на відходах ферми ВРХ, птахофабрики і молочного заводу в сумішах з іншими видами біомаси здійснювали за допомогою газоаналізатора Dräger 7000 з вимірюванням вмісту O_2 , CO_2 та CH_4 за стандартними методиками ЄС. При підготовці вітчизняних стандартів використано досвід роботи в лабораторії біогазових технологій університету ВОКУ (м. Відень, Австрія).

Результати експериментів оброблені методами математичної статистики з довірчою вірогідністю $P=0,95$. Емпіричні моделі побудовано на основі експериментальних даних із використанням регресивного аналізу.

Розділ 3. Обґрунтування процесів підготовки та ферментації багатокомпонентних субстратів

Складовою комплексної технології є переробка субстрату в біогазових реакторах. Для аналітичного опису цих процесів досліджено механізм анаеробної ферментації органічної сировини.

Питомий вихід біометану (V_{CH_4}) визначали за формулою:

$$V_{CH_4} = V_{БГ} \cdot k_{CH_4}, \quad (1)$$

де V_{BG} – питомий вихід біогазу із реактора за нормальних умов, M_{BG}^3 / M_{BM}^3 за добу;
 k_{CH_4} – об'ємний вміст біометану в біогазі, $M_{CH_4}^3 / M_{BG}^3$.

Встановлено, що вихід біогазу і біометану зростає пропорційно із підвищенням рівня розщеплення органічної біомаси в реакторі, а час зброджування до досягнення 30 % рівня зброджування знижується за експонентою (рис. 2).

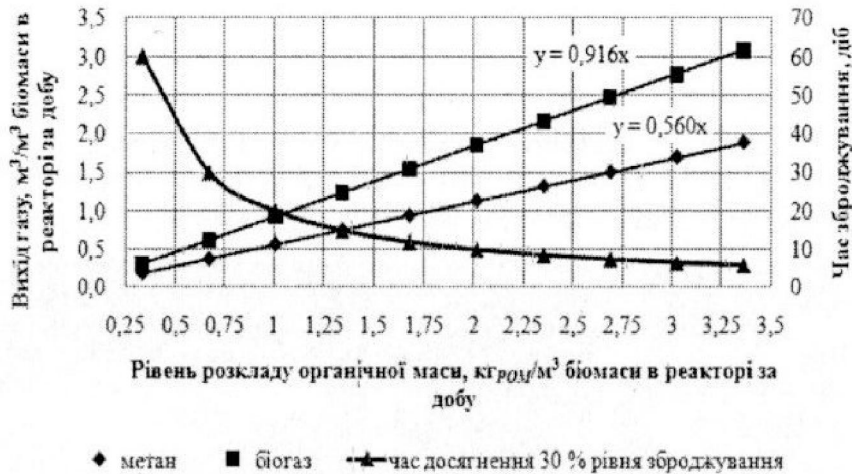


Рис. 2. Вплив інтенсивності переробки органічної речовини на вихід біогазу і біометану

Нами обгрунтовано методичні підходи щодо дослідження кінетичних характеристик ферментації рослинної біомаси. Кінетичне рівняння анаеробної ферментації органічної речовини (о.р.) в диференційній формі має вигляд:

$$\frac{dM}{d\tau} = -k(M - M^*) \quad (2)$$

де M – вміст о.р. в біомасі, що не розщеплена на поточний момент часу, кг; M^* – вміст о.р. біомаси, яка не перероблена за час ферментації, кг; k – параметр швидкості ферментації, діб⁻¹; τ – час анаеробної ферментації, діб.

Встановлено, що анаеробна ферментація кукурудзяного силосу відбувається за часом на чверть швидше, ніж зеленої маси трав. На підставі наявної інформації обгрунтовано біотехнологію ефективної роботи промислових біогазових установок і формалізовано вихідні вимоги до процесів ферментації.

Розділ 4. Дослідження процесів анаеробного зброджування

Згідно даних ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» з аналізу енергетичних та матеріальних потоків, нами побудовано вихідну структурну модель СР-технології вирощування кукурудзи на силос, як першу складову комплексного технологічного рішення. Нова технологія характеризується зменшенням кількості хімічних препаратів, мінеральних добрив і токсичних викидів на гектар й дозволяє істотно скоротити забруднення біомаси інгібіторами процесів метаногенезу (рис. 3).

Експериментальною перевіркою СР-технології вирощування кукурудзи на силос в умовах реального виробництва досягнуто зниження використання мінеральних добрив до 300 кг/га. Заміна традиційних інсектицидів на біологічні засоби захисту рослин дозволила на 38 % зменшити хімічні впливи на довкілля, а також в 2 рази скоротити витрати технологічної води.

Основний обсяг експериментальних досліджень присвячено вивченню метанової ферментації різних субстратів. Визначено режим стабілізації анаеробного зброджування біосировини у лабораторному вертикальному метантенку. Експериментально доведено, що за умов завантаження субстрату кожні 3 доби кількість виділеного біогазу є сталим показником із вмістом 55,3 % метану.

Нами здійснено порівняльну оцінку емісій пально-мастильних матеріалів (ПММ), що спричиняють забруднення біомаси інгібіторами в умовах використання конкуруючих технологій (рис. 4).

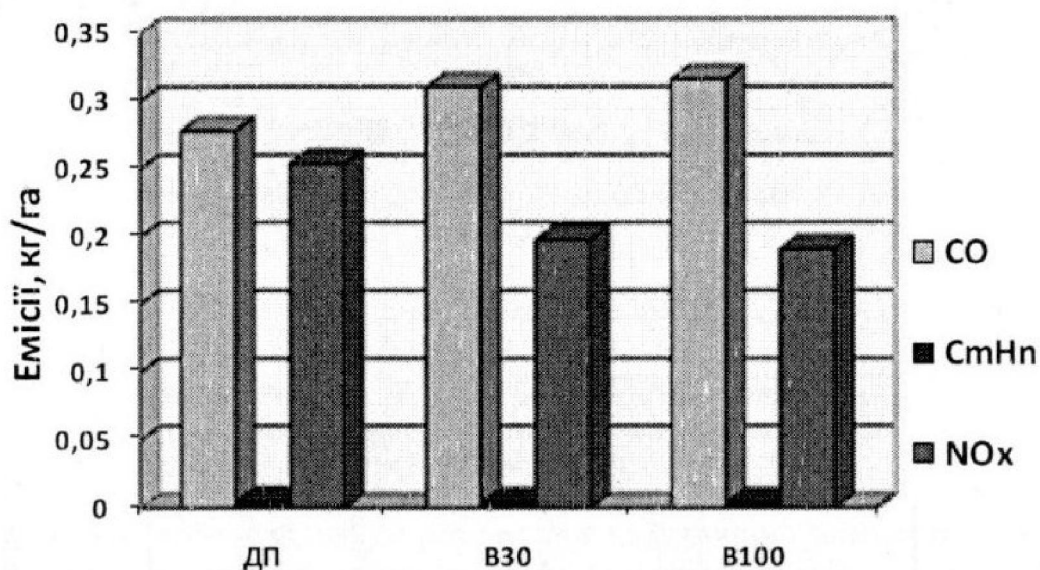


Рис. 4. Емісії паливо-мастильних матеріалів за умов вирощування кукурудзи на силос з використанням традиційного дизельного палива (ДП), сумішевого дизельного палива (В30) та біодизелю (В100)

Лабораторними експериментами проведено порівняльну оцінку одно- та двокомпонентного субстратів з використанням курячого посліду. Встановлено, що розведення курячого посліду сироваткою дозволяє підвищити кількість зброджуваної сухої речовини без зниження стабільності реалізації біотехнологічного процесу.

Вплив режиму роботи лабораторної установки БУ-1 та виду сировини на продуктивність виділення біогазу бактеріями нами визначено за допомогою однофакторних експериментів із контрольним субстратом – гноєм великої рогатої худоби (ВРХ) (рис. 5 та 6).

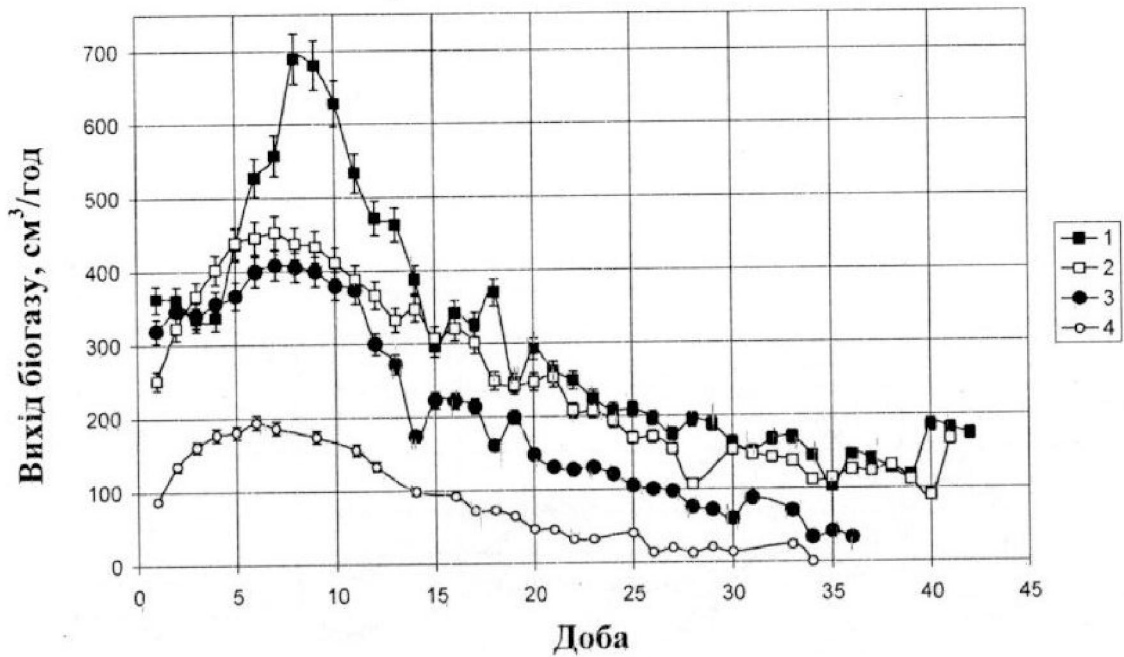


Рис. 5. Вихід біогазу з гноївки ВРХ вологістю 93 % за температури 55°C (1); 50°C (2); 45°C (3); 40°C (4)

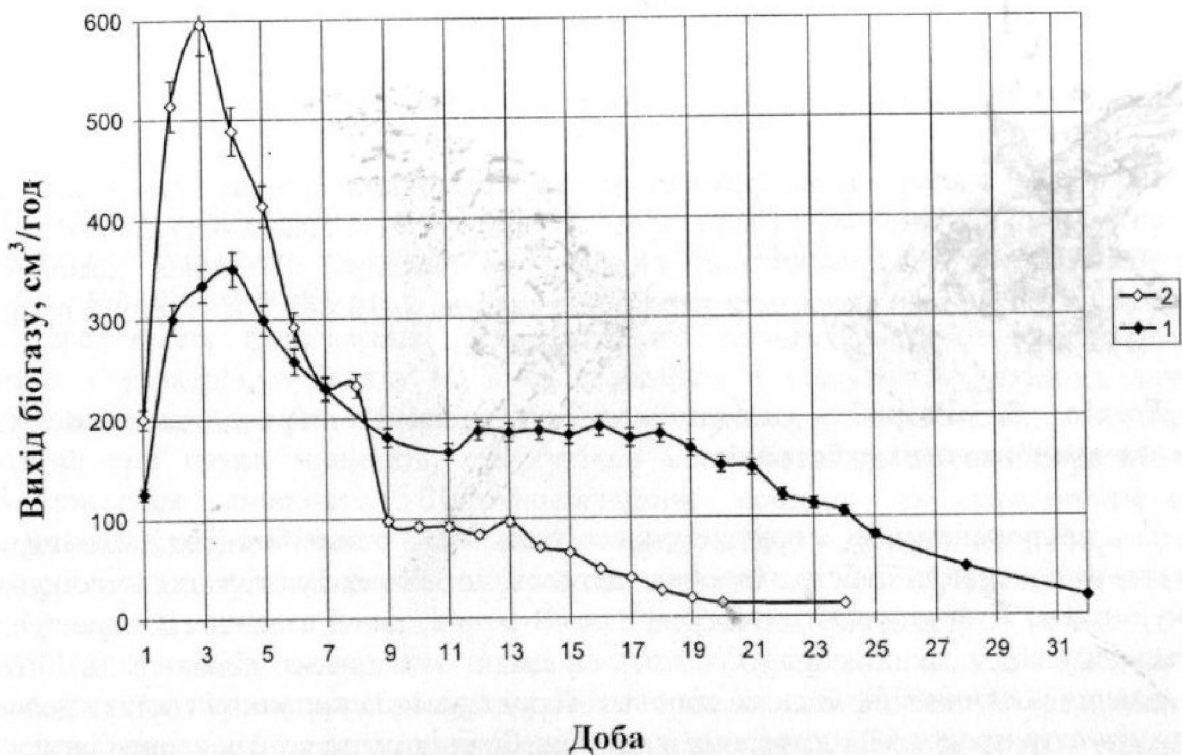


Рис. 6. Вихід біогазу за умов зброджування гною ВРХ вологістю 93 % за температури 40°C (1) та курячого посліду вологістю 73 % за температури 40 °C (2)

Водночас, нами встановлено ефективність збродження багатоконпонентних субстратів (рис. 7).

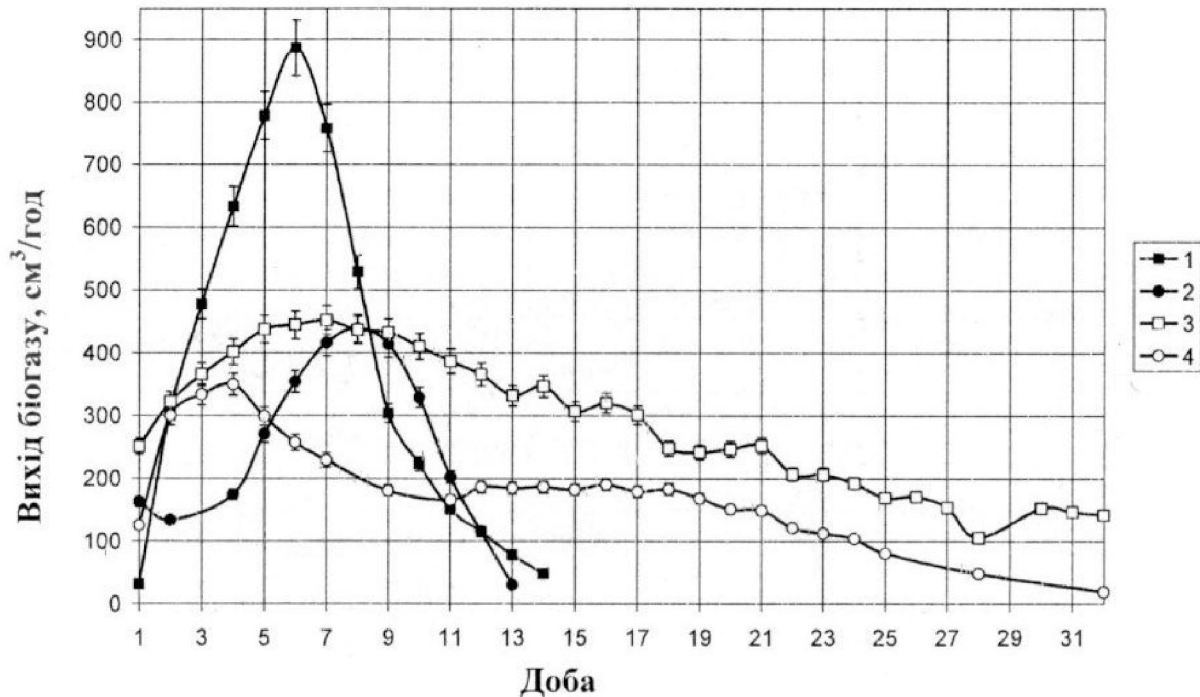


Рис. 7. Вихід біогазу з багатоконпонентних субстратів на основі гноївки ВРХ з гліцеролом за температури 50°C (1), крохмалем за температури 40°C (2); контроль за температури 50°C (3); контроль за температури 40°C (4)

Експериментально підтверджено якість органічних добрив та їх вплив на розвиток цибулі городньої (*Allium cepa L.*). Застосування рідких органічних добрив, які отримано після ферментації біомаси, як важливої складової комплексної технології, дозволило скоротити період вегетації на 7–10 діб, а її середній приріст - 3,1 см за добу.

Розділ 5. Розробка комплексної технології отримання біогазу із багатоконпонентних субстратів

У запропонованій комплексній технології виробництва біогазу із багатоконпонентних субстратів нами застосовано СР-технологію для вирощування кукурудзи із її подальшим силосуванням. В основі даної технології вирощування сільськогосподарських культур лежить принцип зменшення кількості інгібіторів. Додавання рослинної біомаси до основної зброджуваної сировини і гноївки дозволяє оптимізувати процес збродження, який є стабільнішим та контрольованішим.

Нами розроблено технологічну схему вирощування, підготовки та анаеробного збродження кукурудзяного силосу як додаткового зброджуваного субстрату (рис. 8).

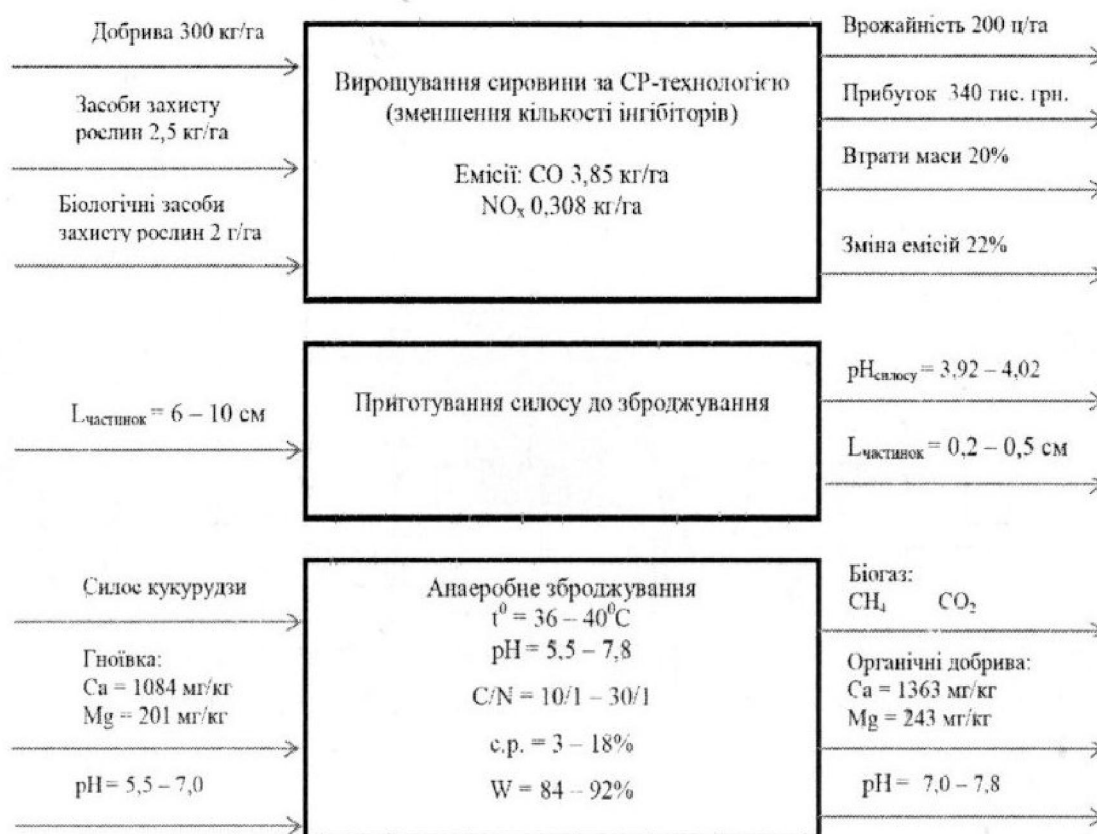


Рис. 8. Технологічна схема вирощування кукурудзи на силос із подальшим її зброджуванням у біогазовій установці

Здійснено структурне моделювання відповідного технічного забезпечення комплексної біогазової установки для умов ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (рис. 9).

З врахування формалізації технологічного процесу метанової ферментації біомаси у реакторі, з огляду на його складність і відсутність вихідних даних, моделювання проведено з використанням теорії нечіткої логіки та нечітких множин. Виділено три групи чинників, що суттєво впливають на процес ферментації: характеристики сировини, біотехнологічного процесу та конструктивного виконання мікробіологічного реактора. Поверхню відгуку впливів типу біореактора і ступенів інтенсифікації ферментації на показники його конструкції зображено на рис. 10, а на характеристики конструктивного виконання біореактора – на рис. 11.

Отримані нами аналітичні залежності і розроблені моделі дозволяють формалізувати параметри і режими роботи комплексної біогазової установки та провести подальші експериментальні дослідження СР-технології, процесів ферментації різних за складом субстратів та визначити ефективність вироблених органічних добрив.

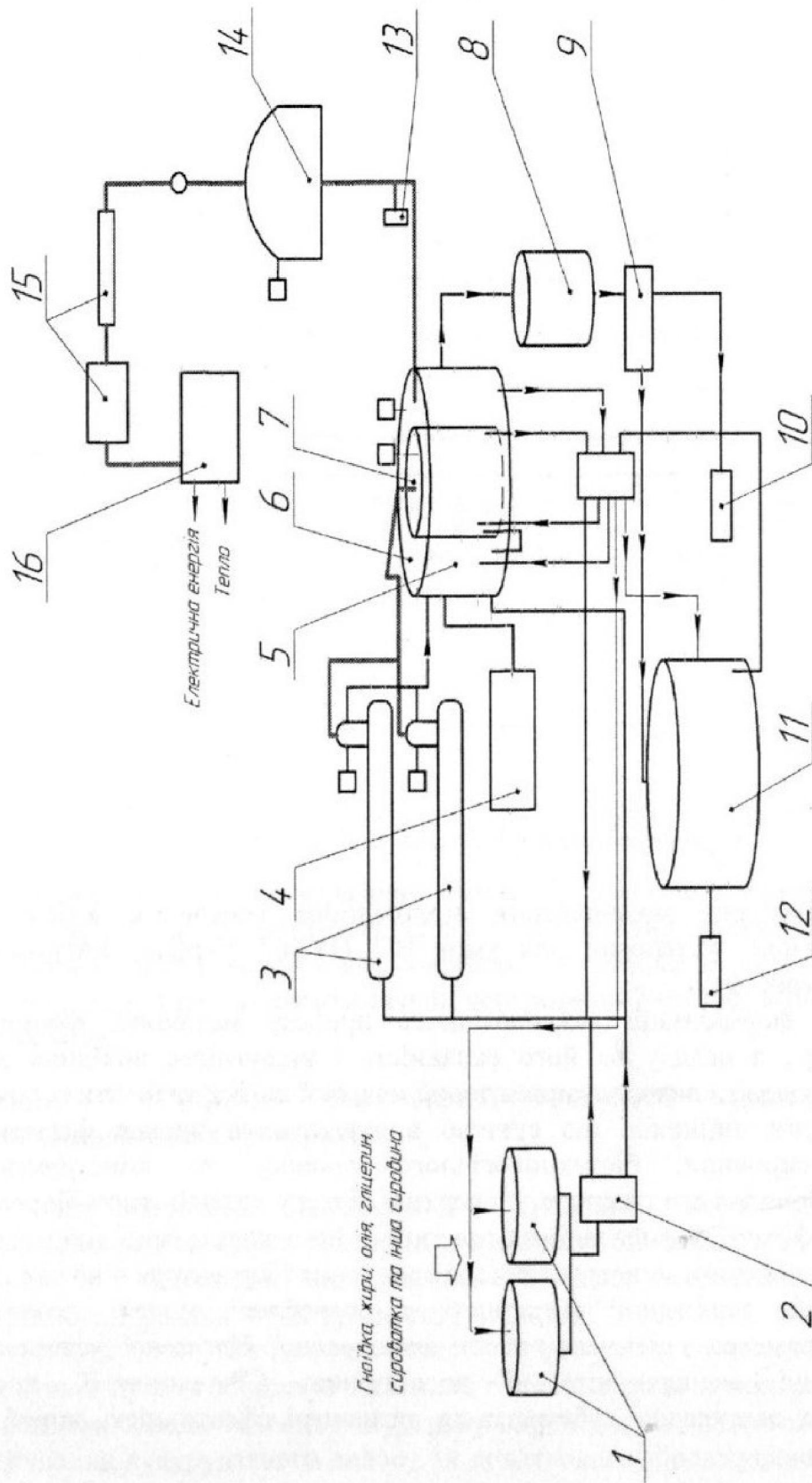


Рис. 9. Структурна схема комплексної біогазової установки:

1 - місткості сировини, 2 - насос, 3 - горизонтальні ферментери, 4 - бункер біомаси, 5 - вертикальний ферментер з кільцевим (6) та вторинним (7) реакторами, 8 - місткість знезаражування, 9 - сепаратор добрив, 10 - компостний майданчик, 11 - сховище добрив, 12 - відвантаження добрив, 13 - факел, 14 - газгольдер, 15 - апарати видалення H₂S та H₂O, 16 - теплотехнічне обладнання

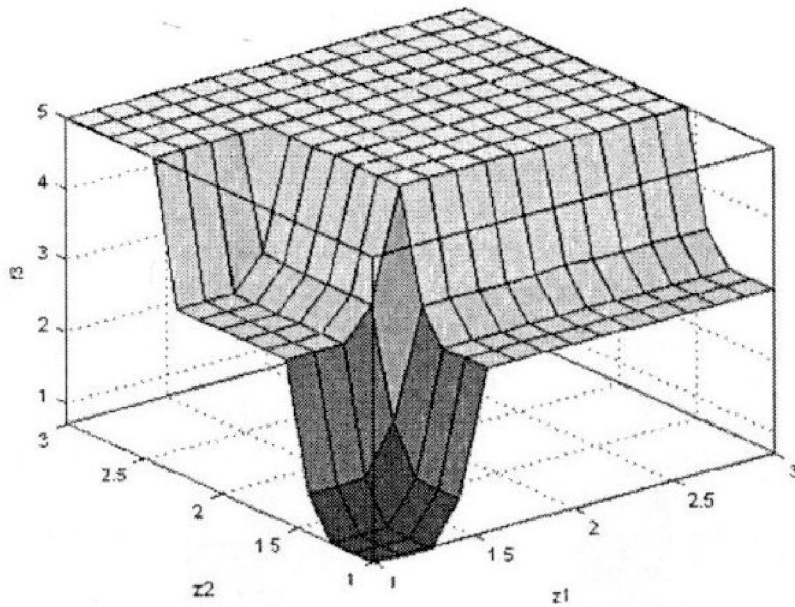


Рис. 10. Поверхня відгуку впливів типу реактора (z_1) і ступеня інтенсифікації ферментації (z_2) на показники його конструктивного виконання (f_3)

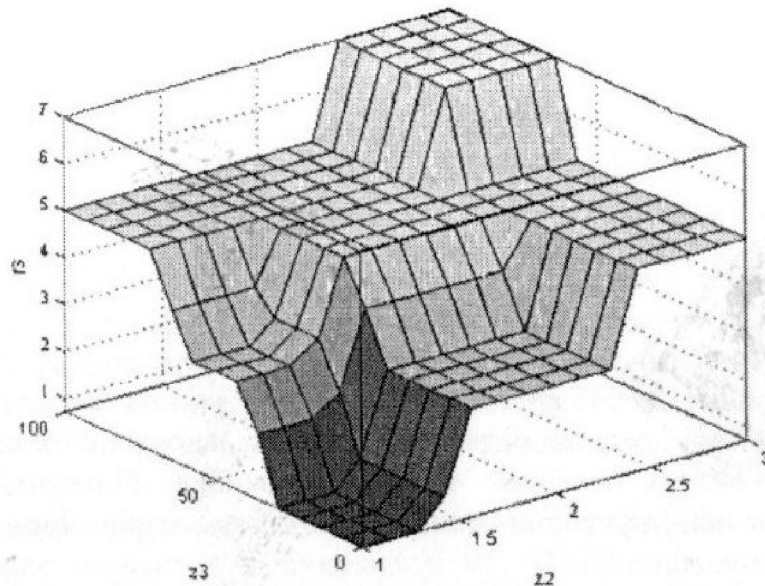


Рис. 11. Поверхня відгуку впливу і ступеня інтенсифікації процесу (z_2) та якості біореактору (z_3) на характеристики конструктивного виконання біореактора (f_3)

Аналіз розробленої нами моделі технологічного процесу виробництва біогазу в реакторі свідчить, що на його вихід суттєво впливає конструкція реактора. За однакових характеристик сировини і технологічного процесу аналітично встановлено, що вихід біогазу найбільший у реакторі витіснення і складає $1,70 \text{ м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{добу}$. Порівняно із проточним реактором він більший на 3% і на 11% - ніж у реакторі із періодичним завантаженням субстрату.

Визначено екологічну ефективність СР-технології в умовах використання сумішевого В30 дизельного палива (рис. 12).

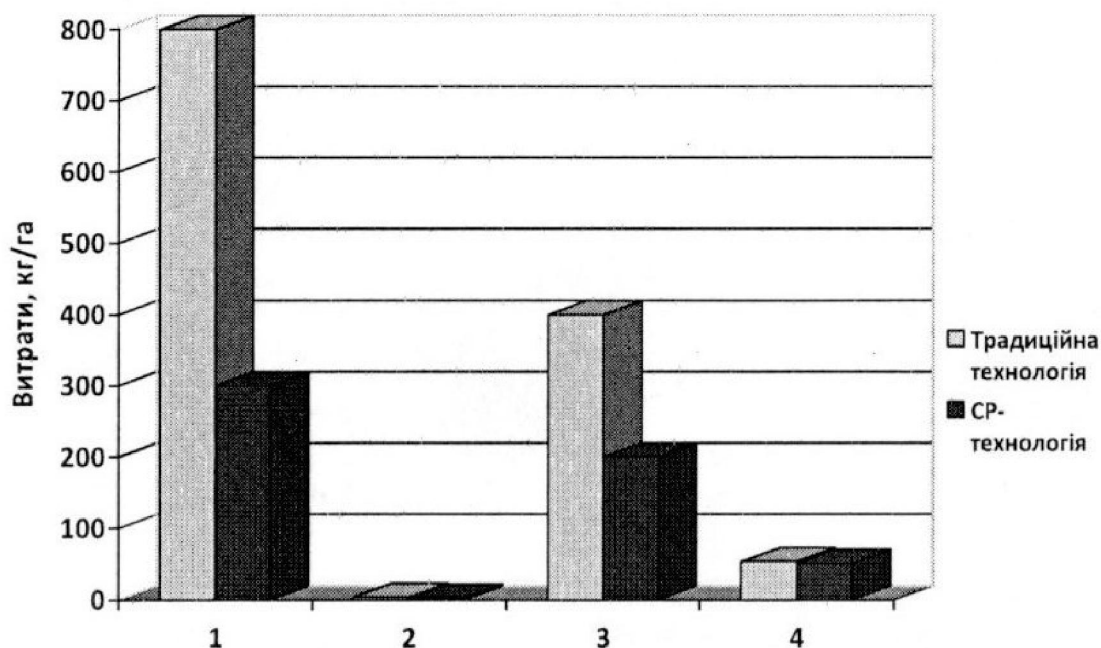


Рис. 12. Екологічна ефективність СР-технології в умовах використання сумішевого В30 дизельного палива: 1 – мінеральні добрива; 2 – хімічні засоби захисту рослин; 3 – технічна вода; 4 – паливо-мастильні матеріали

Аналіз техніко-економічних показників засвідчив високу ефективність розробленої СР-технології, рівень рентабельності якої склав 93,4 %. Отримано прибуток 2345 грн./га, що на 2010 грн./га більше, ніж при використанні традиційної технології вирощування кукурудзи на силос.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі здійснено обґрунтування і подано нове розв'язання науково-технічної задачі підвищення ефективності метанового зброджування багатокомпонентних сумішей шляхом розробки біотехнології та визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів промислової комплексної біогазової установки.

1. Для ефективного зброджування багатокомпонентних сумішей створено комплексну біотехнологію із зменшеним надходженням з рослинною біомасою інгібіторів метанового зброджування, роздільним попереднім зброджуванням окремих субстратів і подальшою їх суміщеною ферментацією з отриманням до 20% більше кількості біогазу та реалізовано її за певних параметрів та режимів роботи інтегрованого комплексу обладнання.

2. З розробленої моделі процесу ферментації багатокомпонентного субстрату в комплексній біогазовій установці на основі теорії нечіткої логіки і нечітких множин показано, що найбільший вихід біогазу досягається у мікробіологічному реакторі

витіснення, порівняно з проточним на 3 і 11 % - реактором періодичного завантаження.

3. Отримано аналітичні залежності визначення рівня занурення горизонтального обертового метантенка в рідину і розрахунковий коефіцієнт його заповнення залежно від конструктивно-технологічних параметрів реактора.

4. Встановлено технологічну доцільність:

- коферментації гноївки ВРХ і пташиного посліду з іншими субстратами;
- застосування горизонтальних метантенків для зменшення енергетичних витрат на підтримання мезофільного процесу;
- використання маточних біогазових установок низької потужності періодичної дії з підігріванням субстратів;
- визначення раціональних пропорцій складників багатокomпонентних субстратів;
- диференціації режимів роботи біогазових реакторів з різними видами сировини.

5. За умов анаеробного зброджування субстратів у біогазовому реакторі експериментально доведено, що:

- найпродуктивнішими для генерації біогазу є експонентна фаза метанового зброджування (3-5 діб) і частина фази уповільнення зростання, загальний період якої становить від 7 до 15 діб;
- за умов зброджування гноївки ВРХ із збільшенням температурного режиму час зброджування скорочується з 14-15 діб за температури 40 °С і до 11 діб за температури 55 °С;
- використання перемішування субстрату під час метанового зброджування збільшує вихід біогазу в 1,3 рази, а годівля ВРХ кормами, що містять значну кількість целюлози і геміцелюлози, зменшують його вихід в 1,7 рази;
- застосування коферменторів, зокрема гліцерилу, побічного продукту виробництва біодизелю, збільшує вихід біогазу. Вміст метану в біогазі з гноївки ВРХ із додаванням гліцеролу складає 56 % за теплоти згорання 19 МДж/кг.

6. Рідкі органічні добрива з біогазових установок скорочують час вегетації овочів на 10-15 %.

7. Техніко-економічний аналіз СР-технології виробництва енергетичної кукурудзи на силос порівняно з базовою у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» дав можливість отримати додатковий прибуток 2010 грн./га, а також реальне заощадження ресурсів, а саме: 500 кг/га мінеральних добрив, 1,5 кг/га хімічних засобів захисту рослин, 200 л/га технічної води та 6,18 л/га дизельного палива.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Результати досліджень передано КБ заводу «ТАН» для проектування промислової біогазової установки з горизонтальним реактором обертового типу.

2. Рекомендації виробництву та «Вихідні вимоги на техніко-технологічну операцію метанового зброджування біомаси в сільськогосподарських біогазових установках ВОТ 29.2-37-002:2013» затверджено Міністерством аграрної політики і продовольства України.

3. Розроблений стандарт організації України СОУ 40.21-37-560:2007. «Біогази для промислового та побутового використання. Вимоги та методи оцінки» введено в дію.

4. Результати досліджень увійшли до матеріалів міжнародного проекту «Євросело – XXI століття».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Рубан Б.О. Основні проблеми створення біогазових установок [Текст] / Б.О. Рубан, Г.А. Голуб, С.В. Драгнев, О.В. Дубровіна* // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2004. – Вип. 73, Ч.1. – С. 195–201. *(Здобувачем проведено аналіз літературних джерел та сформовано концептуальні підходи до вирішення проблем зброджування різноманітних субстратів).*

2. Корчемний М.О. Метанова ферментація та її вплив на вегетацію сільськогосподарських культур [Текст] / М.О. Корчемний, В.С. Таргоня, В.С. Міщенко, О.В. Дубровіна, С.В. Драгнев // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2004. – Вип. 73, Ч.2. – С. 238–242. *(Здобувач брав участь в дослідженнях).*

3. Голуб Г.А. Біоконверсія органічної сировини агроценозів у штучних умовах із виробництвом біогазу та печериць / Г.А. Голуб, Р.В. Горобець, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К., 2005. – Вип. 80. – С. 218–222. *(Здобувач розробив схему досліджень, узагальнив їх результати).*

4. Дубровіна О.В. Стандартизація оцінки технічного рівня сільськогосподарських машин [Текст] / О.В. Дубровіна, І.Л. Роговський // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2012. – Вип. 170, Ч.1. – С. 236–245. *(Здобувачем проведено літературний пошук, розроблена програма й методики досліджень, а також їх виконання, проведено обробку та аналіз отриманих експериментальних даних).*

5. Голуб Г.А. Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнту заповнення біомасою обертового метантенка [Текст] / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2012. – Вип. 170, Ч.2. – С. 55–61. *(Здобувач розробив схему досліджень, приймав участь у лабораторних дослідженнях з визначення рівня занурення обертового метантенку).*

6. Голуб Г.А. Технічне забезпечення виробництва біогазу [Текст] / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, Б.О. Рубан, В.О. Войтенко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – С. 17–19. *(Здобувач брав участь в дослідженнях, узагальнив отримані результати).*

7. Дубровін В.О. Комплексні агробіоінженерні системи виробництва та використання біопалив [Текст] / В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, С.В. Драгнев, О.В. Дубровіна // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – Вінниця, 2012. – Вип. 10. – С. 39–43. *(Здобувач розробив схему досліджень, забезпечив їх виконання).*

8. Голуб Г.А. Експериментальне визначення питомої потужності перемішування біомаси в обертовому реакторі [Текст] / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, В.В. Чуба, М.Ю. Павленко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – Вип. 185, Ч.1. – С. 269–274. *(Здобувач приймав участь у лабораторних дослідженнях по визначенню питомої потужності в обертовому метантенку).*

* Дубровіна О.В. – дівоче прізвище Сидорчук О.В.

9. *Поліщук В.М.* Біотехнологічні основи виробництва біогазу [Текст] / В.М. Поліщук, М.М. Лободко, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – Вип. 185, Ч.2. – С. 289–294. (Здобувачем проведені експериментальні дослідження та їх узагальнення).

10. *Голуб Г.А.* Кінетика анаеробної ферментації рослинної біомаси [Текст] / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2013. – Вип. 185, Ч.2. – С. 295–299. (Здобувачем проведені експериментальні дослідження та їх узагальнення).

Міжнародні публікації:

11. *Дубровіна О.В.* Результати досліджень метанової ферментації багатокомпонентного субстрату [Текст] / О.В. Дубровіна // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture – 2013, Vol.15, No.3. – P. 180–187.

12. *Поліщук В.* Влияние режимов метанового сбраживания на эффективность производства биогаза [Текст] / В. Полищук, Н. Лободко, О. Дубровина // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, No.3. – P. 208–220. (Здобувачем проведено дослідження ефективності виробництва біогазу).

13. *Дубровіна О.* Выращивание кукурузы для энергетических целей с использованием CP-технологии [Текст] / О. Дубровина // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, No.3. – P. 236–243.

Науково-методичні рекомендації:

14. *Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад.* Науково-методичні рекомендації щодо впровадження передового досвіду аграрних підприємств Польщі, Литви та України зі створення новітніх об'єктів біоенергетики, ефективного виробництва і використання біопалив [Текст] / В.О. Дубровін, А. Гжибек, В.М. Любарський, О.В. Дубровіна та ін. – Каунас: IAE LUA, 2009. – 120 с. (Здобувач приймав участь у підготовці розділу, що стосується біогазових технологій).

15. *Застосування обладнання для виробництва біогазу та рідких органічних добрив* [Текст] / В. Дубровін, М. Мельничук, О. Дубровіна та ін. : Науково-методичні рекомендації. – К.: НУБіП України, 2010. – 45 с. (Здобувач приймав участь у підготовці матеріалів, що стосуються характеристик анаеробного зброджування).

16. *Науково-методичні рекомендації «Комплексні технологічні та природоохоронні заходи при реалізації чистого виробництва біопалив для АПК»* [Текст] / В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, О.В. Дубровіна та ін. – К.: НУБіП України, 2011. – 38 с. (Здобувач узагальнив досвід застосування використання біогазових технологій та запропонував власні розробки).

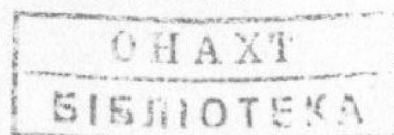
Матеріали і тези конференцій:

17. *Dubrovina O.* CP-technology of corn growing for energy purposes [Text] / O. Dubrovina, G. Golub, O. Marus // Proceedings of the Union of Scientists. – 5th Conference on energy efficiency agricultural engineering. – Ruse, 2013. – P. 315–321.

18. *Golub G.* Technical means for production of biogas [Text] / G. Golub, M. Linnik, O. Dubrovina // Proceedings of the 5th Research and Development Conference of Central – and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering. – Kiev: National Agricultural University of Ukraine, 2007. – part 1. – 2007 p. – P. 131–136.

19. *Голуб Г.А.* Аналіз метаноутворення в біогазових установках [Текст] / Г.А. Голуб, О.В. Дубровіна, В.О. Войтенко, В.В. Гох // Зб. наук. пр. Подільського державного аграрно-технічного університету. – Кам'янець-Подільський, 2012. – Спеціальний випуск до VII науково-практичної конференції. – С. 141–145.

V 01832B



20. *Golub G. Biomethane formation in biogas installations [Text] / G. Golub, O. Dubrovina // Proceedings of the 8th International Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering, – Poznan, Puszczykowo, 2013. – P. 55–59.*

Патенти:

21. *Патент України на винахід № 74718, МПК C02F 11/04. Метантенк [Текст] / Г.А. Голуб, Б.О. Рубан, О.В. Дубровіна; заявл. 12.05.2004; опубл. 16.01.2006, Бюл. 1, 2006 р.*

22. *Патент України на винахід № 81154, МПК C02F 11/04. Метантенк [Текст] / М.К. Лінник, М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, Г.А. Голуб, В.С. Таргоня, Б.О. Рубан, О.В. Дубровіна; заявл. 25.11.2005; опубл. 10.12.2007.*

23. *Патент України на винахід № 89305, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Метантенк [Текст] / Г.А. Голуб, Б.О. Рубан, О.В. Дубровіна; заявл. 13.06.2008; опубл. 11.01.2010, Бюл. 1, 2010 р.*

24. *Патент України на корисну модель № 48730, МПК C02F 11/04. Спосіб виробництва біогазу й органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату [Текст] / М.Д. Мельничук, Ф. Бауер, В.О. Дубровін, О.В. Дубровіна; заявл. 19.11.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. 6, 2010 р.*

25. *Патент України на корисну модель № 48731, МПК C02F 11/04. Установка для виробництва біогазу й органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату [Текст] / М.Д. Мельничук, Ф. Бауер, В.О. Дубровін, О.В. Дубровіна; заявл. 19.11.2009; опубл. 25.03.2010, Бюл. 6, 2010 р.*

26. *Патент України на винахід № 93788, МПК C02F 11/04, C02F 3/00, C02F 7/00, C02F 9/00, C02F 1/00. Установка для виробництва біогазу та органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату [Текст] / М.Д. Мельничук, Ф. Бауер, В.О. Дубровін, О.В. Дубровіна; заявл. 19.11.2009; опубл. 10.03.2011, Бюл. 5, 2011 р.*

27. *Патент України на винахід № 93789, МПК C02F 11/04, C02F 3/00, C02F 7/00, C02F 9/00, C02F 1/00, C02F 5/00. Спосіб виробництва біогазу та органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату [Текст] / М.Д. Мельничук, Ф. Бауер, В.О. Дубровін, О.В. Дубровіна; заявл. 19.11.2009; опубл. 10.03.2011, Бюл. 5, 2011 р.*

28. *Патент України на винахід № 97995, МПК C02F 11/04, C02F 3/28, C02F 3/06, C02F 5/00. Метантенк [Текст] / Г.А. Голуб, Б.О. Рубан, О.В. Дубровіна; заявл. 25.02.2010; опубл. 10.04.2012, Бюл. 7, 2012 р.*

Стандарт організації України:

29. *Біогази для промислового та побутового використання. Вимоги та методи оцінки [Текст]: СОУ 40.21-37-560:2007 / В. Дубровін, М. Мельничук, І. Масло, М. Лінник, С. Мельничук, В. Мироненко, Г. Голуб, В. Шацький, В. Павличенко, В. Поліщук, Г. Мовсесов, В. Таргоня, В. Криворучко, В. Міщенко, В. Бабій, В. Кашковський, М. Даценко, В. Дробот, Ю. Хоменко, Б. Кочірко, С. Драгнев, О. Грищенко, О. Дубровіна, В. Погорілий // К.: Мінагрополітика України, 2007. – 8 с.*

АНОТАЦІЯ

Сидорчук О.В. Розробка комплексної технології отримання біогазу із багатокомпонентних субстратів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 03.00.20 – біотехнологія. – Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2013.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності метанового зброджування багатокомпонентних сумішей шляхом розробки комплексної біотехнології та відповідних конструктивно-технологічних параметрів промислової комплексної біогазової установки.

Наведено аналіз тенденцій розвитку біотехнологій анаеробного зброджування органічних речовин і визнано доцільним створення й реалізацію комплексної біотехнології метанового зброджування. Обґрунтовані СР-технології вирощування енергетичної кукурудзи на силос для подальшого зброджування у складі багатокомпонентних субстратів, які забезпечують скорочення використання ресурсів, зменшення антропогенного навантаження на довкілля та частково усувають причини забруднення субстрату інгібіторами процесу зброджування.

Найбільший вихід біогазу виявлено за умов застосування біореактора витіснення при більшому на 3 % виході біогазу порівняно з проточним і на 11% порівняно з реактором періодичного завантаження субстрату.

Уперше отримано аналітичні залежності для визначення характеристик горизонтального обертового метантенку, зокрема: рівнів занурення його в рідину, коефіцієнта його заповнення, відстані від його центра до рівня біомаси. Встановлено технологічну доцільність зброджування багатокомпонентних субстратів, застосування горизонтальних метантенків і використання маточних біогазових установок малої потужності. Визначено раціональні параметри і режими роботи комплексної біогазової установки й обґрунтовано ефективність рідких органічних добрив, що скорочують тривалість вегетації на 10-15 %.

Результати досліджень впроваджено при розробці «Вихідних вимог на техніко-технологічну операцію метанового зброджування біомаси в сільськогосподарських біогазових установках», стандартів України, рекомендацій і формуванні міжнародного проекту «Євросело – XXI століття»

Ключові слова: СР-технологія, анаеробна ферментація, мікробіологічний реактор, багатокомпонентний субстрат, кінетика метанового зброджування.

АННОТАЦИЯ

Сидорчук О.В. Разработка комплексной технологии получения биогаза из многокомпонентных субстратов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 03.00.20 – биотехнология. – Одесская национальная академия пищевых технологий Министерства образования и науки Украины, Одесса, 2013.

Актуальность темы заключается в поиске способов повышения эффективности метанового сбраживания многокомпонентных субстратов путем разработки комплексной биотехнологии и соответствующих конструктивно-технологических параметров промышленной биогазовой установки.

Технологии анаэробного сбраживания развиваются в направлении унификации составных производственных процессов. Энергетические показатели производства энергоносителей находятся в непосредственной зависимости от качества сырья. Усовершенствование конструкций биореакторов ведет к оптимизации жизнедеятельности метаногенных бактерий и снижению энергозатрат на переработку субстрата.

В работе представлен анализ тенденций развития биотехнологий анаэробной ферментации органических веществ, обоснована целесообразность создания и реализации комплексной биотехнологии метанового сбраживания.

В работе рассмотрены подходы и предложена методика разработки технологии более чистого производства энергетической кукурузы на силос для дальнейшего сбраживания в составе многокомпонентных субстратов, которая обеспечивает сокращение использования ресурсов, снижение антропогенного влияния на окружающую среду и частично решают проблему загрязнения субстрата ингибиторами процесса анаэробной ферментации.

Разработана технологическая схема выращивания кукурузы на силос по СР-технологии с ее последующим сбраживанием в биогазовой установке.

Установлена технологическая целесообразность коферментации навоза КРС и куриного помета с другими субстратами, применения горизонтальных метантенков для уменьшения энергетических издержек на поддержание мезофильного процесса, использования маточных биогазовых установок низкой мощности периодического действия с подогревом субстратов, определения рациональных пропорций составляющих многокомпонентных субстратов, дифференциации режимов работы биогазовых реакторов с разными видами сырья.

Определены рациональные параметры и режимы работы комплексной биогазовой установки. Обоснована эффективность жидких органических удобрений, которые сокращают продолжительность вегетации на 10-15 %.

Разработана нормативная документация и проведена промышленная апробация разработанной комплексной технологии получения биогаза из многокомпонентных субстратов.

Результаты исследований внедрены при разработке «Исходных требований на технико-технологическую операцию метанового сбраживания биомассы в сельскохозяйственных биогазовых установках», стандартов Украины, рекомендаций и формирования международного проекта «Евро село - XXI века».

При использовании биогазовой установки вытеснения получен наибольший выход биогаза, который на 3 % по сравнению с проточным, и на 11 % - реактором с периодической загрузкой сбраживаемого субстрата.

Получены аналитические зависимости для определения характеристик горизонтального оборотного метантенка, а именно: уровня его погружения в жидкость, коэффициента его заполнения, расстояния от его центра до уровня биомассы.

В работе представлено технико-экономическое обоснование целесообразности применения СР-технологии выращивания энергетической кукурузы на силос с последующим ее сбраживанием в биогазовой установке.

Ключевые слова: СР-технология, анаэробная ферментация, микробиологический реактор, многокомпонентный субстрат, кинетика метанового сбраживания.

SUMMARY

Sydorchuk O.V. Complex technology of biogas production from multi component substrates. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Technical Sciences on specialty 03.00.20 - Biotechnology. – Odessa National Academy of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2013.

Dissertation is dedicated to increasing of fermentation effectiveness of multicomponent substrates due to development of an integrated biotechnology and related construction and technological parameters of complex industrial biogas plant.

Trends of organic substrates anaerobic digestion were analyzed and featured the necessity of integrated biotechnology for methane fermentation development and implementation. CP-technologies of energy corn growing for silage with following digestion in multicomponent substrates provide reduction of resources usage, anthropogenic impact on the environment and partially eliminate substrates pollution by inhibitors of fermentation process.

The highest biogas yield were marked by bioreactor of substitution type giving 3 % more biogas in comparison with flow-type reactor and 11 % more against batch reactor.

Analytical dependences for determination of horizontal revolvable reactor were received, including its submersion level into the liquid, filling ratio, distance from the center to the biomass level. There were established the technological feasibility of multicomponent substrates digestion, horizontal reactors and mother biogas plants of low capacity. Rational parameters and operation modes of integrated biogas plant were determined and effectiveness of liquid organic fertilizers was confirmed by shortening the growing season up to 10-15 %.

Research results have been implemented by preparation of “Initial claims for technical and technological operation of biomass methane digestion in agricultural biogas plants”, Standards of Ukraine, guidelines, formation and development of international project “Eurofarm of XXI century”.

Keywords: CP-technology, anaerobic fermentation, microbiological reactor, multicomponent substrate, kinetics of methane digestion.