

ВІДГУК

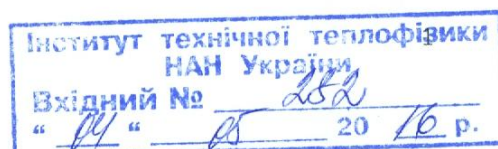
офіційного опонента на дисертаційну роботу Кучерук Петра Петровича «Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи», представлену на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.08 - перетворювання відновлюваних видів енергії.

Загальна характеристика роботи.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 155 найменувань, 5 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 164 сторінки та містить 82 рисунки та 33 таблиці.

Актуальність теми дисертації.

Викопні палива (вугілля, нафта, газ та ін.) з низькою собівартістю видобування та розташовані на економічно доцільній для транспортування від споживача відстані поступово вичерпуються, що призводить до все більшого економічного сенсу використовувати місцеві відновлювані енергоресурси, зокрема шляхом перетворення органічних речовин, наприклад, відходів сільського господарства у біогаз. Ціль приведеної дисертаційної роботи саме підвищити ефективність виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи для його використання, як палива при виробництві електроенергії, а не використання біогазу як побічного продукту утилізації органічних відходів. Відповідно, окупність проектів, які розглядає автор у роботі, формуються виключно за рахунок коштів, що надходять від продажі електричної та теплової енергії, хоча і з використанням зеленого тарифу на електроенергію, що встановлений державою на травень 2016 року на рівні 3,6168 грн/кВт*год, без ПДВ. Дисертантом обґрунтовано окупність проекту роботи біогазової установки з використанням базового зеленого тарифу на рівні 8-12 років, при терміні життєвого циклу БГУ 20 років.



Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основні результати дисертаційної роботи автором одержано при виконанні науково-дослідних робіт №31 «Дослідження та оптимізація технології сумісного зброджування гнойових відходів тварин з рослинними ко-субстратами» (№ ДР 0110U005384) та №36 «Розробка та дослідження технологій сумісного анаеробного зброджування відходів тваринництва і рослинництва України» (№ ДР 0107U008132), виконаних в рамках цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Біомаса як паливна сировина» («Біопалива»).

Короткий аналіз змісту роботи.

У **вступі** (6-13 стор., всього 8 стор.) показана актуальність роботи, сформульована мета роботи та завдання досліджень, приведено наукові положення, що розроблені дисертантом особисто, обґрунтовано наукове та практичне значення роботи, показано апробацію результатів на конференціях, семінарах та форумах в Україні та за кордоном, зокрема в м. Москва (Росія, 2008) та м. Штутгарт (Німеччина, 2007). За матеріалами та тематикою дисертації опубліковано 18 друкованих праць, з них: 10 статей – у фахових виданнях, що входять до переліку ДАК України; 1 стаття – у зарубіжному виданні, що входить до наукометричної бази даних Web of Science (ISI Tompson Reuters); 5 публікацій у збірниках та матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій; 1 національний стандарт України; 1 методику.

У **першому розділі** (14-41 стор., всього 28 стор.) проаналізовані тенденції розвитку виробництва біогазу в світі, в основному, матеріали стосуються країн ЄС, особливо відмічено досвід Німеччини, що є світовим лідером у виробництві біогазу. Показано стан та перспективи виробництва біогазу в Україні з переліком діючих біогазових установок. Розкрито основні перетворювання органічної речовини в процесі метанового бродіння та показано закономірності росту метаногенів. Проаналізовано основні моделі, що використовуються для моделювання процесу метанового бродіння, кінетичні

параметри біотехнологічного процесу та методи їх визначення. Приведені літературні характеристики гнойових відходів та силосу кукурудзи як субстратів для виробництва біогазу, проаналізовано досвід сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи.

Другий розділ (42-102 стор., всього 61 стор.) присвячено експериментальним дослідженням показників виходу біогазу в періодичному процесі. Приведена дослідна установка, що виконана у вигляді ряду біореакторів об'ємом 2 дм³ та евідіометр з можливістю накопичення до 1,7 дм³ біогазу. У першій серії досліджувався вплив додавання різної частки сухої органічної речовини (СОР) силосу кукурудзи (СК) до гнойових відходів свиней (ГС) на показники виходу біогазу та СН₄. Утворено 4 дослідних суміші інокуляту, ГС та СК з частками СОР СК до СОР ГС рівними 15%, 30%, 50% та 75%, та окремо ГС та СК. Встановлено, що додавання силосу кукурудзи до гнойових відходів підвищує швидкість виходу СН₄ від 1,4 для 15% СОР СК до 2,0 для 75% СОР СК, причому питомий вихід біогазу на одиницю маси СОР прямо пропорційно зменшується. При монозброжуванні СК найвища питома швидкість виходу біогазу досягається через 2,5 доби, а ГС через 20,6 діб в біореакторах періодичної дії, що дозволяє підмішуванням СК до ГС зменшити період досягнення максимальної питомої швидкості виходу біогазу. Показано, що за 40-45 діб вихід біогазу сягає 95% в періодичному метановому бродінні і триваліший процес є нерациональним. У другій серії експериментальних досліджень було виявлено вплив початкової концентрації в біореакторі S₀ суміші ГС25% та СК75% в діапазоні 10,3-64,5 гСОР/л на швидкість метаногенезу. Показано, що при збільшенні початкової концентрації СОР субстратів суттєво збільшується лаг-фаза процесу, що вказує на пригнічення метаболізму бактерій продуктами розпаду початкових стадій метанового бродіння. При цьому, накопичений вихід СН₄ за період спостережень незначно знижується, що ймовірно пояснюється більш тривалим періодом адаптації бактерій. Встановлено, що при частці СОР субстратів у суміші з інокулятом більшій, ніж 85% (58,4 гСОР/л), процес метанового бродіння практично не

відбувається. У третій серії експериментальних досліджень виявлено вплив гібриду кукурудзи, внесення добрив при її вирощуванні та співвідношення C:N та C:P в органічній речовині СК на питомий вихід CH_4 та загальний потенціал виробництва CH_4 з кукурудзи, вирощеної на 1 га землі. Встановлено, що питомий вихід CH_4 на одиницю внесеної маси кукурудзи для різних гібридів склав 70-98 л_н CH_4 /кг, а на одиницю маси СОР – 233-312 л_н CH_4 /кг СОР. З урахуванням урожайності досліджених гібридів кукурудзи оцінений потенціал виробництва CH_4 з розрахунку на 1 га землі складає 3,74-5,73 тис. нм³ CH_4 /(га·рік).

У **третьому розділі** (103-126 стор., всього 24 стор.) приведена математична модель біореактора повного змішування проточного типу та проведені числові дослідження показників виходу метану при сумісному метановому бродінні гнойових відходів та силосу кукурудзи. Приведено порівняння результатів числового дослідження з результатами експериментальних досліджень та показниками промислових біогазових установок та результатами дослідження інших авторів. Зроблені рекомендації щодо раціональних технологічних режимів роботи біореактора.

У **четвертому розділі** (127-145 стор., всього 19 стор.) аналізуються техніко-економічні показники проектів біогазових станцій при сумісному зброджуванні СК та ГС у порівнянні з проектами моно-зброджування ГС. Розглянуто проект будівництва біогазової станції в умовах України з основним біореактором робочим об'ємом 5120 м³ та енергетичним використанням біогазу з виробництвом електричної та теплової енергії в когенераційній установці (КГУ), потужність якої варіюється в залежності від розрахункових показників виходу CH_4 для різних типів сумішей СК та ГС. Розраховано терміни окупності проектів виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи при різних економічних сценаріях.

Висновки (146-147 стор., всього 2 стор.) містять 8 позицій, які логічно узагальнюють матеріали приведені в чотирьох розділах дисертаційної роботи та співпадають з висновками автореферату та приведеними після кожного розділу.

Перелік використаної літератури (148-159 стор., всього 12 стор.) складається з 155 найменувань, причому кількість цитувань літератури, що вийшла за останні 5 років складає 36 найменувань (23%), на іноземних мовах (крім російської та української) 120 найменувань (77%).

Додатки (160-164 стор., всього 5 стор.) в кількості 5 одиниць містять зміну концентрацій CH_4 та CO_2 у часі для трьох серій дослідів описаних в розділі 2. Надано два акти впровадження результатів дисертаційної роботи на ТОВ «Екотенк» м.Слов'янськ, Донецької обл. та ТОВ «Глобинський біоенергетичний комплекс» м. Глобине, Полтавська обл.

Наукова новизна результатів роботи.

1. Вперше встановлено показник граничного співвідношення органічної речовини суміші гнойових відходів та силосу кукурудзи до бактеріальної маси в біореакторі, при якому припиняється виділення біогазу, і який складає $30 \text{ гСОР/г}_{\text{к.м.}}$.
2. Математичну модель розпаду споживання субстрату та росту популяції бактерій в біореакторі повного змішування проточного типу адаптовано для визначення показників виходу метану, при цьому, на відміну від аналогів, в моделі розглядається одна лімітуюча реакція ацетокластичного метаногенезу з використанням кінетичних параметрів, визначених за результатами періодичного процесу метанового бродіння.
3. Вперше отримано залежність кінетичних параметрів реакції ацетокластичного метаногенезу від співвідношення органічної речовини гнойових відходів та силосу кукурудзи.
4. Вперше досліджено потенціал виходу біогазу з вітчизняних гібридів кукурудзи на силос.

Ступінь обґрунтування наукових положень та їх достовірність.

Наукові положення, що приведені в дисертаційній роботі, отримані автором експериментально та співставленні з результатами математичної

моделі. Достовірність результатів досліджень забезпечено коректною постановкою мети та задач досліджень та використанням сучасного вимірювального обладнання. Результати підтверджені шляхом використання на діючих біогазових станціях.

Практична цінність результатів роботи.

1. Запропоновано метод чисельного дослідження показників виходу CH_4 для біореактора повного змішування проточного типу, з використанням кінетичних параметрів реакції ацетокластичного метаногенезу, які визначаються за результатами дослідження показників виходу CH_4 в періодичному процесі метанового бродіння.
2. На основі результатів чисельного дослідження показників виходу CH_4 , визначено граничні та оптимальні технологічні режими роботи біореактора повного змішування проточного типу при сумісному метановому бродінні гнойових відходів та силосу кукурудзи.
3. Результати досліджень використано при відпрацюванні робочих режимів та демонстрації дієздатності дослідно-промислової біогазової установки ТОВ «Екотенк», розташованої на базі свиноферми ПП Батура В.Н. в м. Слов'янськ, Донецької обл. Зокрема, було запропоновано оптимальне органічне навантаження при використанні суміші гнойових відходів з силосом кукурудзи. Результат впровадження підтверджено актом.
4. Методику експериментальних досліджень показників виходу біогазу та визначення кінетичних параметрів використано при проведенні наукового дослідження для діючої біогазової станції ТОВ «Глобинський біоенергетичний комплекс». Результат впровадження підтверджено актом.
5. Визначено економічні умови, за яких проекти біогазових установок, в залежності від частки силосу кукурудзи в суміші з гнойовими відходами, можуть бути рентабельними в умовах України.

Особистий вклад здобувача.

Дисертант, приймав участь у постановці задач досліджень, розробці методики оцінки потенціалу виробництва біогазу з силосу кукурудзи та обґрунтуванні величини “зеленого” тарифу на електричну енергію з біогазу. Розроблено принципову схему дослідної установки та методику досліджень, проведено аналіз та узагальнення даних експериментальних досліджень, адаптовано метод визначення кінетичних параметрів реакції ацетокластичного метаногенезу на основі даних про вихід CH_4 в періодичному процесі метанового бродіння, виконано числові дослідження показників виходу CH_4 при роботі біореактора повного змішування проточного типу, визначено та проаналізовано техніко-економічні показники проектів виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи.

Критичні зауваження до роботи.

1. Біогаз в роботі розглядається як суміш CH_4 , CO_2 та водяних парів, хоча він містить, як мінімум, домішки таких газів як H_2S та N_2 .
2. На с.141 в формулі (4.6) загальна річна тривалість роботи КГУ прийнята $T_{\text{КГУ}}=7850$ годин, не зрозуміло обґрунтування цієї величини.
3. З роботи не ясно якого типу КГУ вибрав автор, на базі газового двигуна-генератора чи це газодизель-генератор.
4. Не всі умовні позначення винесені до «списку переліку умовних позначень та скорочень», хоча вони і розшифровуються в тексті, наприклад: P_{CH_4} , R_{VS} , Q_{CH_4} та ін.
5. В роботі зустрічаються деякі друкарські помилки, наприклад, с.47, с.137-138.

Загальні висновки по роботі.

Зроблені зауваження мають дискусійний характер і не можуть вплинути на достатньо високий науковий рівень дисертаційної роботи, як закінченого науково-технічного дослідження.

Враховуючи значну актуальність теми, рівень виконання досліджень, достовірність, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, **вважаю**, що дисертаційна робота Кучерука Петра Петровича «Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи» відповідає вимогам Постанови КМУ «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.08 - перетворювання відновлюваних видів енергії.

Офіційний опонент, к.т.н., с.н.с.,
Відділ захисту атмосферного повітря
від забруднення
Інститут газу НАН України

 А.В. Сміхула

Підпис ЗАСВІДЧУЮ,
к.т.н., учений секретар Інституту газу НАН України

 Б.К. Ільєнко
М.П.

