

**Спеціалізованій вченій раді К.26.224.02
при Інституті технічної теплофізики НАН України
вул. Желябова, 2а, м. Київ, 03680**

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора **Голуба Геннадія Анатолійовича** на дисертаційну роботу Кучерука Петра Петровича "Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи", що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворення відновлюваних видів енергії

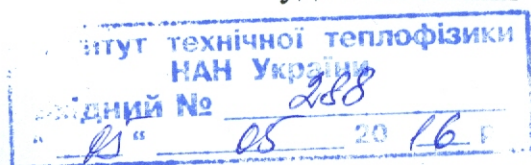
Актуальність роботи. Дисертаційна робота Кучерука П.П. присвячена вирішенню однієї з актуальних задач відновлюваної енергетики – обґрунтуванню процесу виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гноївки та силосу кукурудзи.

Необхідність заміщення імпортованих енергоносіїв та наявність значного потенціалу біомаси створює передумови для розвитку біоенергетичного сектору України. Одним з важливих секторів відновлюваних джерел енергії є виробництво та енергетичне використання біогазу. В Україні використання силосу кукурудзи для підвищення ефективності виробництва біогазу на діючих біогазових станціях досі не використовувалось. Обмеженими є також наукові та практичні дані, на основі яких можливо обґрунтовано вибирати технологічні режими роботи біогазової установки в залежності від частки силосу кукурудзи в суміші з гноївкою.

Ефективна реалізація технології сумісного метанового бродіння гноївки із силосом кукурудзи передбачає необхідність вибору раціональних технологічних режимів в залежності від частки силосу кукурудзи в суміші, а тому тема дисертаційної роботи є актуальною. Дисертантом визначена енергетична ефективність та обґрунтовано параметри сумісного метанового зброджування гноївки та силосу кукурудзи.

Дослідження за темою дисертації проведено упродовж 2009-2015 років в Інституті технічної теплофізики НАН України (м. Київ) в рамках науково-дослідних робіт: «Дослідження та оптимізація технології сумісного зброджування гнойових відходів тварин з рослинними ко-субстратами» (ДР 0110U005384) та «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»).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна. Головні положення дисертації, висновки і рекомендації достатньо обґрунтовані. Автором проведено ряд теоретичних досліджень на основі удосконалених



методик розрахунку. У достатньому обсязі представлено літературний огляд, надані пропозиції виробництву та загальні висновки щодо проведеної роботи.

Дослідження приведені в дисертаційній роботі складаються з аналізу наукових засад розвитку технологій виробництва біогазу, окреслення мети і завдань досліджень, експериментальних досліджень показників виходу біогазу в періодичному процесі, дослідженні показників виходу метану при сумісному метановому бродінні гнойових відходів та силосу кукурудзи в біореакторі повного змішування проточного типу, визначення техніко-економічних показників виробництва біогазу. Робота містить також обґрунтовані висновки. Всі дослідження ґрунтуються на об'єктивних даних, які достатньо представлені в тексті дисертаційної роботи.

Головне наукове положення дисертації полягає в тому, що на основі проведення експериментальних досліджень технології метанового бродіння виконано обґрунтування вибору технологічних параметрів роботи біореакторів для виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гноївки та силосу кукурудзи, що дозволило при збільшенні частки силосу кукурудзи в суміші з гноївкою знизити інвестиційні затрати та термін окупності проектів біогазових установок у порівнянні з моно-зброджуванням гноївки.

Висновки дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими, вони підтверджені необхідною кількістю наукових досліджень.

Перший пункт висновків констатує, що використання силосу кукурудзи для інтенсифікації процесу метанового бродіння та збільшення валового виробництва біогазу в Україні є виправданим з технологічної та енергетичної точок зору. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділі 1.5.

У другому пункті висновків автор вказує, що із збільшенням частки силосу кукурудзи в суміші з гноївкою пропорційно збільшується питомий вихід біогазу та метану на одиницю свіжої маси, разом з тим зменшується питомий вихід біогазу та метану на одиницю маси органічної речовини. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділі 2.6.1.

У третьому пункті висновків приводиться граничне значення співвідношення маси органічної речовини субстрату до клітинної маси бактерій при якому процес метаногенезу не відбувається взагалі. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділі 2.6.2.

У четвертому пункті висновків констатується вплив на вихід метану виду гібриду кукурудзи, величини доз внесених добрив, стадії стиглості кукурудзи при зборі урожаю, а також те, що збільшення співвідношення C:N в органічній речовині силосу кукурудзи призводить до зниження питомого виходу метану. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділі 2.6.3.

У п'ятому пункті висновків констатується розробка методики чисельного дослідження показників виходу метану для біореактора повного змішування проточного типу, з використанням кінетичних параметрів реакції ацетокластичного метаногенезу. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у розділі 3.

Шостий пункт висновків констатує можливість вибору показників виходу метану в залежності від величини органічного та гідравлічного навантаження реактора. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділах 3.3 та 3.4.

Сьомий пункт висновків вказує, що при збільшенні частки силосу кукурудзи в суміші з гноївкою знижуються питомі інвестиційні затрати на 1 кВт встановленої електричної потужності когенераційної установки на біогазі. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділі 4.1.3.

Восьмий пункт висновків зазначає, що за умови реалізації електричної енергії з біогазу за діючим «зеленим» тарифом додавання силосу кукурудзи у встановлених межах дозволяє знизити термін окупності проектів біогазових установок у порівнянні з моно-зброджуванням гноївки. Висновок зроблено на основі матеріалів, приведених у підрозділі 4.1.6.

Усі пункти висновків впливають із результатів досліджень, проведених автором у дисертаційній роботі.

Зауваженням до висновків є те, що перший висновок не несе наукової та практичної новизни, а п'ятий та шостий висновки є декларативними та не відображають суті теоретичних взаємозв'язків.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані в результаті досліджень, є достовірними. Це досягається коректним застосуванням експериментальних методик та теоретичних методів досліджень. При обробці експериментальних даних використовувались методи математичної статистики та регресійного аналізу. Для аналізу параметрів метаногенезу використано кінетичну модель розпаду органічної речовини першого порядку. Для чисельного дослідження впливу величин органічного та гідравлічного навантаження на показники виходу метану використано математичну модель споживання субстрату та росту популяції бактерій в біореакторі повного змішування проточного типу. Результати дисертаційного дослідження виконано на засадах системного підходу, а тому висновки у дисертації слід визнати достовірними.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в адаптації математичної моделі розпаду субстрату та росту популяції бактерій в біореакторі повного змішування проточного типу для визначення показників виходу метану, отриманні залежності кінетичних параметрів реакції ацетокластичного метаногенезу від співвідношення органічної речовини гноївки та силосу кукурудзи, встановленні показника граничного співвідношення органічної речовини суміші гноївки та силосу кукурудзи до бактеріальної маси в біореакторі, при якому припиняється виділення біогазу.

Зміст автореферату у повній мірі відображає результати дисертаційної роботи, висновки у дисертації та авторефераті ідентичні.

Апробація і повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях. Основні положення та результати роботи доповідались та обговорювались: на XI, X, IX, VIII, VII, VI, V, IV, та III Міжнародних конференціях "Енергія з біомаси" (м. Київ, вересень 2015, 2014, 2013, 2012, 2011, 2010, 2009, 2008, 2006 р.р.); семінарі «Розвиток біоенергетичних і

біогазових технологій в Україні» (Київ, жовтень 2015 р.); семінарі «Практичні аспекти отримання енергії з біомаси» (Київ, жовтень 2014р.); науковій конференції «Біологічні ресурси і новітні біотехнології виробництва біопалив» (Київ, вересень 2014 р.); семінарі «Практичні аспекти отримання та використання біогазу в Україні. Німецько-український діалог з питань біогазу» (Київ, вересень 2013 р.); VIII Міжнародній конференції «GreenEnergy» (Київ, червень 2013 р.); IV та III Українському біопаливному форумі (Київ, квітень 2012, 2011 р.р.); VII Міжнародній конференції «Сотрудничество для решения проблем отходов» (Харків, квітень 2010 р.); Міжнародній конференції «Біомаса» (Київ, листопад 2009 р.); Міжнародному конгресі «Біогаз-2008» (Москва, листопад 2008 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (Москва, травень 2008 р.); Міжнародній конференції “Progress in Biogas – Biogas production from agricultural biomass and organic residues” (Штутгарт, вересень 2007 р.); V Міжнародній конференції “Проблемы промышленной теплотехники” (Київ, травень 2007 р.).

Основний зміст дисертації достатньо повно висвітлений у 18 друкованих працях, 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.

Важливість отриманих автором результатів для науки й народного господарства, а також рекомендації щодо їхнього використання. Автором запропоновано метод визначення виходу метану для біореактора повного змішування проточного типу, визначено граничні та оптимальні технологічні режими роботи біореактора повного змішування проточного типу при сумісному метановому бродінні гноївки та силосу кукурудзи. 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. Методику експериментальних досліджень показників виходу біогазу та визначення кінетичних параметрів використано при проведенні наукового дослідження для діючої біогазової станції ТОВ «Глобинський біоенергетичний комплекс». Визначено економічні умови, за яких проекти біогазових установок, в залежності від частки силосу кукурудзи в суміші з гноєвими відходами, можуть бути рентабельними в умовах України.

Загальна оцінка змісту дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 155 найменувань, у тому числі 119 іноземною мовою та 5 додатків. Повний обсяг роботи складає 164 сторінок, в тому числі 82 рисунки та 33 таблиці.

У вступі автором розкрито сутність і стан досліджень обраного наукового напрямку, а також викладено її наукову новизну і практичну значущість.

Перший розділ присвячено огляду та аналізу літератури щодо сучасних тенденцій розвитку виробництва біогазу в світі, діючих біогазових установок,

передумов та перспектив розвитку виробництва біогазу в Україні. Розглянуто сучасні наукові положення про механізми перетворення органічної речовини в процесі метанового бродіння. Проаналізовано гнойові відходи та силос кукурудзи з точки зору ефективності їх використання як субстратів для виробництва біогазу, а також існуючі результати досліджень їх сумісного зброджування. Сформульовано робочу гіпотезу дослідження, яка полягає в тому, що додавання силосу кукурудзи до гнойових відходів оптимізує фізико-хімічний склад суміші та збільшує таким чином ефективність виробництва біогазу, а відтак ефективність використання об'єму біореактора та загальну енергетичну ефективність біогазової установки

У другому розділі наведено опис методів експериментальних досліджень, описано конструкцію експериментального стенду з дослідження періодичного метанового бродіння та принципу його дії, приладів та методів вимірювання досліджуваних величин, характеристик використаних субстратів та інокуляту, приведено програму та результати досліджень.

У першій серії дослідів аналізувався вплив додавання різної частки сухої органічної речовини силосу кукурудзи до гноївки свиней на показники виходу біогазу та метану. У другій серії експериментальних досліджень було виявлено вплив початкової концентрації сухої органічної речовини в біореакторі суміші гноївки (25%) та силосу кукурудзи (75%) в діапазоні від 10,3 до 64,5 г сухої органічної речовини на один літр біомаси на швидкість метаногенезу. У третій серії дослідів виявлено вплив гібриду кукурудзи, внесення добрив при її вирощуванні та співвідношення C:N та C:P в органічній речовині силосу кукурудзи на питомий вихід метану та загальний потенціал виробництва метану з кукурудзи, вирощеної на одному гектарі землі.

У розділі приведено також результати досліджень згідно трьох серій дослідів.

У третьому розділі наводяться опис числової моделі та результати чисельного дослідження показників роботи біореактора повного змішування проточного типу, а також рекомендації щодо його оптимальних технологічних режимів роботи. Наведено адекватність отриманих результатів числового моделювання, яка встановлювалася шляхом їх співставлення з проектними даними при зброджуванні аналогів сумішей з часткою сухої органічної сировини силосу кукурудзи 75 та 56%, запропонованими однією з провідних німецьких компаній (Envitec Biogas AG), що спеціалізується на технології зброджування силосу кукурудзи.

Четвертий розділ присвячено аналізу економічних показників проектів біогазових станцій при сумісному зброджуванні силосу кукурудзи та гноївки у порівнянні з проектами моно-зброджування гноївки. При аналізі використано показники виходу біогазу та інші параметри, отримані за результатами проведених досліджень.

Матеріали дисертації достатньо проілюстровані схемами, рисунками, графіками і таблицями. Загальні висновки і рекомендації у дисертації випливають з проведених досліджень та відображають основні результати роботи. Текст дисертаційної роботи викладений чітко та в логічній

послідовності. Мова і стиль викладення змісту, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам, які ставляться до кандидатських робіт.

В цілому дисертаційна робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.14.08 – "Перетворювання відновлюваних видів енергії" і містить науково обґрунтовані результати досліджень, що направлені на підвищення ефективності використання твердого біопалива для виробництва теплової енергії на основі визначення енергетичної ефективності та потенціалу скорочення викидів парникових газів.

Зауваження по роботі. До дисертаційної роботи та її автореферату маються наступні зауваження:

1. На мою думку, назва роботи мала би бути дещо скороченою та мати, наприклад, наступний вигляд "Обґрунтування сумісного метанового бродіння гноївки та силосу кукурудзи".

2. У роботі використовується такий термін, як "гнойові відходи". Стосовно цього, хотілося б зазначити, що сільське господарство є безвідходним виробництвом, оскільки базуються на природних циклах малого біологічного кругообігу, а тому замість терміну "гнойові відходи" слід було б вживати термін "гнойові стоки" або "гноївка".

3. Предмет досліджень на мою думку доцільно було б сформулювати, як "взаємозв'язок між виходом метану та параметрами суміші гноївки із силосом кукурудзи за показниками вмісту органічної сировини".

4. Вступ дисертаційної роботи та автореферату не в повній мірі ідентичні. Так, вступ дисертаційної роботи у порівнянні із вступом автореферату містить не властиві підрозділи, а саме "Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються", "Наукове та практичне значення роботи", "Використання результатів роботи", а також "Повнота викладення результатів дисертації в публікаціях", а також не містить виділених підрозділів як "Публікації" та "Структура та обсяг дисертації".

5. Після аналізу проведених досліджень у першому розділі, його доцільно було б завершити метою та завданнями досліджень, які витікають із проведеного аналізу.

6. При теоретичних дослідженнях прийнято за основу однопараметричне рівняння з постійним параметром, який характеризує швидкість зміни процесу. У той же час експериментально встановлено, що швидкість зміни процесу є величиною змінною, яка спочатку зростає від нульового до максимального значення прямо пропорційно часу, а потім падає за логарифмічною залежністю. Це потребує або ж ускладнення теоретичної моделі, або узагальнення експериментальних даних.

7. У роботі вказується, що при додаванні 15 і 30% силосу кукурудзи до гною концентрація метану в біогазі збільшується на 1,9 та 0,5%. При цьому наголошується, що збільшення частки силосу кукурудзи до 30% збільшує концентрацію метану в біогазі. У той же час, похибка при усередненні концентрації метану в біогазі по двох реакторах становила від 3,9 до 6,2%, що

не дозволяє робити однозначний висновок про збільшення концентрації метану в біогазі при додаванні силосу кукурудзи.

8. У роботі вживається терміни "ефективність розпаду COP" та "ефективність виходу CH₄", які доцільно було б розкрити та пояснити, що під цими узагальненими термінами розуміється.

9. На графіках рис. 3.19 та 3.20 представлено співставлення результатів моделювання (теоретичні графічні залежності) та по одній експериментальній точці, що дозволяє зробити висновки про співпадіння у відсотках теоретичних та експериментальних досліджень лише у одній точці. Мова про адекватність та кореляцію у роботі не ведеться.

10. До роботи мається також ряд редакційних зауважень. Наприклад, посилання на формули не повинно робитися до приведення самої формули в тексті. Не сприяє розумінню роботи також те, що інколи кількість індексів у позначеннях фізичних величин досягає десяти, серед них коми, крапки, дужки. Замість слова "протягом" слід вживати "упродовж". Позначення співвідношення COP субстрату та інокулянту по всьому тексту мало би бути $\frac{COP_c}{COP_{in}}$, а не лише в одному місці.

Зазначені зауваження суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок

Представлена дисертаційна робота є завершеною науковою працею, у якій отримано вищезазначені обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують конкретну наукову і практичну задачу – обґрунтування сумісного метанового бродіння гною та силосу кукурудзи. Автореферат дисертації та опубліковані праці автора ідентичні за змістом основним положенням дисертації та в достатній мірі опубліковані у фахових наукових виданнях України. У цілому дисертаційна робота Кучерука Петра Петровича на тему "Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи" відповідає вимогам ДАК Міністерства освіти, молоді та спорту України до кандидатських дисертацій щодо присудження наукових ступенів, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворення відновлюваних видів енергії.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри механізації
тваринництва Національного університету
біоресурсів і природокористування
України



ПІС ЗАСВІДЧУЮ
дальник відділу кадрів
М.В. Михайліченко
2016р.

Голуб Г. А.