

Відгук офіційного опонента

Гелетухи Г.Г., к.т.н., завідувача відділом теплофізичних проблем
біоенергетики

Інституту технічної теплофізики НАН України

на дисертаційну роботу **Клюса Сергія Володимировича**

на тему «ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІОМАСИ В ГОРЮЧИЙ
ГАЗ І БІОВУГІЛЛЯ В ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ЩІЛЬНОГО ШАРУ ПАЛИВА»

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії.

Дисертація Клюса С.В. є завершеною науково-дослідною роботою, яка спрямована на розробку та дослідження газогенератора щільного шару палива для енергоефективного перетворення біомаси в горючий газ і біовугілля.

Тема дисертаційної роботи, в якій основне місце займають питання розробки газогенератора щільного шару палива для енергоефективного перетворення біомаси в горючий газ і біовугілля, є безумовно **актуальною і важливою** для України, що підтверджується наступними положеннями:

- Наявністю значних ресурсів рослинної біомаси доступної для виробництва енергії в багатьох регіонів України.
- Стимулюванням енергетичного використання біомаси на державному рівні за рахунок «зеленого тарифу» на вироблення електроенергії, та різноманітних програм популяризації використання твердопаливних котлів в промисловості, комунальному секторі та населенням.
- Можливістю покращити процес газифікації в газогенераторі щільного шару палива та покращити конструкцію такого газогенератора, оптимізувавши його роботу на різних видах біомаси.
- Можливістю використання паливного (генераторного або піролізного) газу для виробництва електроенергії в когенераційних установок з двигунами внутрішнього згорання.
- Можливістю виробництва біовугілля з високими сорбційними властивостями для подальшого використання як палива або замітника активованого вугілля.

Основні положення дисертації, її висновки і рекомендації в цілому **науково обґрунтовані**, а отримані результати – **достовірні**. Результати дисертаційної роботи базуються на експериментальних фізико-хімічних

дослідженнях процесу газифікації різних видів біомаси, дослідженнях властивостей паливного газу та біовугілля та структурно-механічних дослідженнях властивостей біовугілля. Надійність отриманих експериментальних даних підтверджується використанням надійних атестованих засобів вимірювання, достатньою кількістю проведених експериментів проведених на експериментальних стендах, а також їх порівнянням з існуючими та затвердженими в технічних документах даними, хорошою відповідністю основних теоретичних положень з результатами експериментальних досліджень. Чисельні дослідження з застосуванням методики оцінки похибок вимірювання, статистичну обробку та перевірку адекватності отриманих залежностей і розроблених методик результатів експериментальних досліджень проведено на високому науково-технічному рівні.

Рекомендації і висновки дисертаційної роботи мають **наукову новизну і практичну цінність** та є суттєвими для подальшого розвитку сектору теплоенергетики України в частині застосування місцевих видів палива, таких як біомаса рослинного походження.

Наукова новизна дисертаційної роботи Клюса С.В. полягає у наступному:

- уточнено науково-практичний метод оцінки енергетичного потенціалу рослинної біомаси шляхом поширення теорії енергоефективності аграрних технологій на визначення ресурсів рослинної біомаси, доступної для енергетичного використання;
- вперше експериментально встановлено залежність виходу біовугілля при частковій газифікації біомаси від параметрів здійснення процесу – зменшення його виходу зі збільшенням витрати дуттьового повітря та збільшенням вмісту вологи у біомасі;
- вперше експериментально встановлено, що за часткової газифікації вологої березової деревини зі збільшенням питомої витрати дуттьового повітря вихід біовугілля зменшується, але при цьому його сорбційні показники зростають до величин, що відповідають промислового активованому вугіллю;
- уточнено складові енергетичного балансу часткової газифікації біомаси шляхом врахування теплоти екзотермічних реакцій

розпаду біомаси та наявності важких вуглеводнів у піролізному газі часткової газифікації.

Практичне значення дисертаційної роботи.

Створено експериментальні високотемпературні установки для дослідження процесів часткової газифікації дрібнодисперсної біомаси. Установки можуть бути використані для подальших досліджень з газифікації інших видів сировини, розробки нових технологій виробництва продуктів термохімічної переробки біомаси, створення енергетичного обладнання для промислових та побутових потреб.

Отримано експериментальні дані щодо параметрів процесу для часткової газифікації біопалив з деревини та відходів сільськогосподарських культур, які можуть використовуватися при проектуванні промислових установок.

Удосконалено технологічні основи одностадійної автотермічної технології часткової газифікації біопалива, що дало змогу отримувати піролізний газ з підвищеною теплотою згоряння. Розроблено одностадійну автотермічну технологію виробництва активованого біовугілля з вологої березової деревини.

Результати досліджень використано при створенні ДСТУ 7502:2014 «Паливо синтетичне. Терміни та визначення понять», «Атласу енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України», впроваджено на підприємстві «КІМО-БІЗНЕС» (м. Київ) та використовуються в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Практичну цінність дисертаційної роботи підтверджено актами впровадження, копії яких представлено у додатках до основної частини дисертації.

Публікації. За матеріалами та темою дисертаційної роботи автором було опубліковано 17 друкованих праць, а саме: 8 статей у фахових наукових виданнях, що входять до переліку МОН України, 1 стаття у міжнародному науково-технічному виданні, 4 наукових праці у вигляді тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, одержано 2 патенти на корисну модель, розроблено 1 ДСТУ, 1 атлас.

Дисертація і автореферат оформлені відповідно до вимог ВАК України. Текст дисертаційної роботи є стилістично коректним. В роботі використана сучасна науково-технічна термінологія, результати приведені в міжнародній системі одиниць. Виконання роботи було пов'язано з науково-дослідними

роботами Інституту відновлюваної енергетики НАН України. Опубліковані праці здобувача в достатній мірі відображають основні наукові положення і висновки дисертаційної роботи. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації.

Апробація дисертаційної роботи. Одержані здобувачем результати досліджень оголошувались на 9 міжнародних форумах, наукових і науково-практичних конференціях.

Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії.

Зміст автореферату розкриває основні положення дисертації, у достатній мірі відтворює структуру і обсяг роботи. **Дисертація та автореферат оформлено у відповідності до вимог " Положення ВАК України".**

Зауваження до дисертаційної роботи. При загальній позитивній оцінці одержаних в роботі результатів і зроблених дисертантом висновків слід зробити такі зауваження:

1. При оцінці енергетичного потенціалу соломи всі розрахунки щодо кількості соломи, що використовується як добриво, базуються на рекомендаціях фактично однієї роботи [89] і оцінюються як 1 т соломи на 1 га посівів. Відповідно, доля соломи, що повинна використовуватися як добрива складає 21-38% для розрахунків автора, приведених у табл. 2.3. При цьому робиться висновок, що після 2008 р. для соломи пшениці, ячменю і жита в цілому по Україні розрахункове значення коефіцієнту енергетичного використання соломи $K_{ен} \geq 0,5$, і навіть $K_{ен} = 1,0$ для стебел кукурудзи і соняшника. Тоді, потенціал енергетичного використання буде складати понад **50%** технічно доступного потенціалу соломи і **100%** стебел кукурудзи і соняшника. Така оцінка потенціалу поживних залишок, доступних для енергетичного використання, видається перебільшеною. Наприклад, в аналітичній записці N7 Біоенергетичної асоціації України (<http://uabio.org/activity/uabio-analytics/1549-uabio-position-paper-7>) наведено огляд значно більшої кількості досліджень з цього питання, включаючи значну частину авторів з країн ЄС та США. Їх приведені рекомендації щодо цього

показника переважно знаходяться в діапазоні **15-50%**. Авторами аналітичної записки робиться більш консервативний висновок, щодо потенціалу енергетичного використання соломи і інших пожнивних залишків для енергетичного використання:

«Питання про частку соломи та інших пожнивних решток, що можуть бути використані для виробництва енергії або біопалива, необхідно вирішувати індивідуально для кожного господарства. При цьому мають бути враховані всі важливі агроекономічні фактори. Для України в цілому можна запропонувати лише загальні рекомендації щодо частки соломи та інших рослинних залишків, доступних для використання в якості палива, з урахуванням власних потреб сільського господарства:

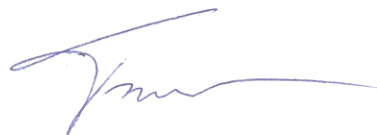
використовувати до 30% теоретичного потенціалу соломи зернових культур й до 40% теоретичного потенціалу відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника».

2. В роботі отримано висновок, що значення коефіцієнтів корисної дії для технологій часткової газифікації становлять біля **90%**, що вище ніж для повної класичної газифікації біомаси, для яких $\eta_{\text{газ}}=0,70\dots0,82$. Проте не наводиться фізична інтерпретація та причина отриманого результату.
3. Технологія часткової газифікації, що описана в роботі, досліджена для періодичного завантаження палива. Не обґрунтована можливість її застосування чи розвитку для безперервної подачі палива.
4. Заява автора про те, що вперше була визначена можливість газифікації вологої деревини, з вологістю до 47,5%, видається перебільшенням, адже у списку використаних джерел до даної дисертаційної роботи, автор посилається на ряд наукових праць, статей та підручників, де представлені та проаналізовані можливості та способи газифікації вологої деревини.
5. Нажаль в роботі не наведені результати техніко-економічного обґрунтування запропонованої автором технології, що в нинішніх ринкових умовах ставить під сумнів зроблений висновок про те, що «наведений аналіз ... технологій газифікації твердого біопалива свідчить, що на цей час найбільш перспективною є технологія

часткової газифікації». Відсутність такого ТЕО не дозволяє зробити висновок щодо комерційної привабливості технології.

Зроблені зауваження не знижують високий науковий рівень роботи. Дисертаційна робота **Клюса С.В.** на тему «ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІОМАСИ В ГОРЮЧИЙ ГАЗ І БІОВУГІЛЛЯ В ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ ЩІЛЬНОГО ШАРУ ПАЛИВА» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук відповідає спеціальності 05.14.08 "Перетворювання відновлюваних видів енергії " і вимогам ВАК України до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук.

Завідувач відділом
теплофізичних проблем біоенергетики
ІТТФ НАН України,
кандидат технічних наук



Гелетуша Г.Г.

27.01.2017

