

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Лоб Оксана Станіславівна

УДК 662.761

**Обґрунтування ефективності використання газифікації
альтернативних палив для зменшення викидів оксидів
вуглецю**

Спеціальність 101 – Екологія

**Автореферат
магістерської дисертації на здобуття
ступеня магістра**

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Науковий керівник:

кандидат технічних наук

Репін Микола Володимирович

Національний технічний університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського», доцент кафедри інженерної екології.

Рецензент:

професор, доцент

ФРОЛОВ Олександр Олександрович

Національний технічний університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря

Сікорського», доцент кафедри геоінженерії.

Захист відбудеться «24» травня 2018 р. о 14.00 на кафедрі інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: м. Київ, вул. Борщагівська 115, ауд. 201.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий «__» _____ 2018 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основним напрямком державної політики України в сфері змін клімату було обрано «низьковуглецевий розвиток», а згідно нової енергетичної стратегії частка відновлюваних джерел енергії повинна зрости з 1 до 11 % вже до 2020 р. В той же час відповідно до міжнародних зобов'язань Україна має скорочувати викиди парникових газів, найбільшу частку серед яких складає вуглекислий газ. В такому разі одним з пріоритетних завдань, які стоять перед нашою країною, являється максимальне використання власних альтернативних джерел енергії, зокрема, біомаси та твердих побутових відходів, замість вугілля та природного газу, з використанням енергоефективних і енергозберігаючих технологій, що одночасно забезпечували б скорочення викидів оксидів вуглецю. На рівні держави використання відновлюваних джерел енергії стимулюється встановленням «зеленого тарифу», а також субсидюванням застосування енергоефективного і енергозберігаючого обладнання. Проте низька енергоефективність та рентабельність альтернативних джерел енергії стримує темпи зростання рівня їх використання. Все це зумовлює гостру необхідність в детальному та уважному дослідженні потенціалу альтернативних палив, аналізі перспективності застосування кожного окремого виду, вивченні та залученні закордонного досвіду впровадження енергоефективних і енергозберігаючих розробок й використання найефективніших методів оцінки впливу цих технологій на навколишнє середовище.

Одним із способів підвищення екологічності та енергоефективності альтернативних палив є їх перетворення в газоподібне паливо в процесі газифікації з подальшим спалюванням генераторного газу у котельних установках або його використанням у когенераційних установках з двигунами внутрішнього згоряння. Вивченням газифікації деревної біомаси та бурого вугілля активно займаються такі українські вчені як Гелетуха, Железна, Клюс, Майстренко тощо. Проте проблема детального вивчення та порівняння потенціалу різних видів альтернативного палива, зокрема з прогнозом на майбутнє, все ще залишається невирішеною. Також актуальним залишається питання дослідження і порівняння екологічності різних видів альтернативного палива.

Таким чином, вивчення ефективності газифікації альтернативних палив для зменшення викидів парникових газів є **актуальною** задачею, розв'язання якої сприятиме підвищенню енергетичної ефективності використання місцевих енергетичних ресурсів та зменшення негативного впливу енергетики на навколишнє середовище.

Мета та задачі дослідження. Метою даної дисертаційної роботи є теоретичне дослідження ефективності газифікації відходів сільського господарства для зменшення викидів парникових газів.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання.

- Аналіз актуальності зменшення викидів парникових газів та аналіз потенціалу альтернативних палив в Україні;
- Аналіз існуючих схем газифікації твердого палива, математичних моделей процесу газифікації та методів оцінки викидів парникових газів;
- Теоретичне дослідження складу димових газів від спалювання генераторного газу з відходів сільського господарства, визначення екологічної доцільності та інвестиційної привабливості впровадження технології газифікації біомаси для виробництва теплової та електричної енергії.

Об'єктом дослідження є процес газифікації відходів сільського господарства та спалювання утвореного генераторного газу.

Предметом дослідження є склад генераторного газу та димових газів.

Методи дослідження. Для досягнення мети при вирішенні поставлених наукових задач у роботі використовувались: методи аналізу – для узагальнення сучасного стану газифікації альтернативних палив та методів оцінки викидів парникових газів; статистичний та порівняльний методи – аналізу потенціалу альтернативних палив в Україні та вибору найбільш економічно привабливих джерел, вибору доцільного способу газифікації обраного альтернативного палива; методи моделювання – для вибору математичної моделі фізико-хімічних процесів, що відбуваються при газифікації та теоретичного дослідження складу генераторного газу та продуктів його згорання; методи оцінки техніко-економічних показників – для оцінки інвестиційної привабливості проекту з впровадження даної технології для сільськогосподарського підприємства.

Наукова новизна одержаних результатів, що виносяться на захист, представлена науковими положеннями, в яких вперше:

- використовуючи статистичні дані визначено потенціал альтернативних палив в Україні;
- визначено та порівняно викиди парникових газів від спалювання відходів сільського господарства;
- розроблено схему системи комбінованого циклу газифікації біомаси для сільськогосподарського підприємства;
- проведено оцінку техніко-економічних показників технології виробництва енергії з генераторного газу отриманого газифікацією біомаси.

Практичне значення одержаних результатів:

- запропоновано схему виробництва теплової та електричної енергії для сільськогосподарського підприємства.

Особистий внесок здобувача у роботи, опубліковані у співавторстві, полягає у: [1] – аналізі перспектив вирощування енергетичних рослин в Україні; [2] – аналізі актуальності скорочення викидів вуглекислого газу від енергетичного сектору промисловості України.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та окремі результати роботи доповідалися та обговорювалися на: VIII Міжнародній науково-технічній конференції ІЕЕ НТУУ «КПІ» «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2016); Всеукраїнській науковій інтернет-конференції

«Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку»(Переяслав-Хмельницький, 2016).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 2 наукові праці.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів та висновку, викладених на 87 сторінках машинописного тексту, переліку використаних джерел з 75 найменувань, містить 18 рисунків, 16 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертації, викладено мету роботи і сформульовано наукові задачі дослідження для досягнення поставленої мети, визначено об'єкт та предмет дослідження.

У **першому розділі** розглянуто актуальність для енергетики України використання газифікації альтернативних палив для скорочення викидів оксидів вуглецю та проаналізовано досягнення в сфері газифікації твердих палив.

Дослідженням газифікації біомаси як одного з шляхів одночасного підвищення енергоефективності та екологічної безпеки сучасної енергетичної моделі світу з одночасним зниженням антропогенного навантаження на екосистему Землі займаються такі науковці як Воропай Н. І., Мясоедова В. В., Сергєєв В.В., Рыжков О.Ф., Майстренко А.Ю., Гелетука Г.Г., Железная Т.А. та інші вчені.

Г. Г. Гелетука, Т.А. Железная та інші дослідники займаються оцінкою потенціалу біомаси в Країні за допомогою різних підходів до прогнозування енергетичного потенціалу біомаси в майбутньому. Загалом різні вчені проводять оцінки за різними сценаріями. Один з них полягає в тому, що в даний час частина ріллі, яка не використовується, може бути спрямована на вирощування енергетичних культур. Інший сценарій полягає в тому, що збільшення кількості рослинних відходів буде відбуватися як за рахунок застосування нових, високоурожайних сортів продовольчих культур, так і за рахунок залучення до сільгоспобороту вільної ріллі, переважно після продовольчих культур. Енергетичні рослини пропонується вирощувати на малородючих, перезволожених, радіоактивно забруднених землях.

Основна увага в роботах по газифікації приділяється оптимізації процесів газифікації для підвищення продуктивності роботи газогенераторів.

Колієнко В.А. пропонує комплексний показник ефективності процесу газифікації біомаси за допомогою теплового балансу процесу. В результаті розрахунків дослідником отримано коефіцієнт корисної дії бруто, величину коефіцієнта корисної дії нетто та загальноенергетичну й економічну ефективність процесу газифікації у технологічних комплексних схемах, екологічна ж складова не розраховувалась.

Ягьяев Е. пропонує комбіновану сонячно-газогенераторна електростанцію, що працюватиме на відходах і являється доповненням до сонячної установки з параболічними концентратами і допоможе усунути такий недолік останньої як

періодичність роботи через зупинки вночі та в похмуру погоду. Коефіцієнт корисного дії та екологічність від пропонованого способу переробки відходів збільшується за рахунок замкнутості циклу, коли горючі продукти переробки відходів повертаються в газогенератор, а на виході залишаються лише зола, шлак та сажа, які за новими технологіями можуть бути використані в дорожньому будівництві та при виробництві барвників.

Рижков А. Ф. досліджує роботу газогенератора вологої біомаси ($W=30-40\%$) з оберненим процесом газифікації при низькотемпературному і високотемпературних режимах, порівняно ККД газифікації при різних температурних режимах. Ним встановлено, що при однакових витратах повітря, палива і генераторного газу ефективність високотемпературного режиму вища в 1,32 рази.

На підставі викладеного аналізу літературних джерел та попередніх досліджень сформульовані мета та завдання дослідження.

У **другому розділі** розглядаються різні схеми газифікації твердого палива. Встановлено, що модель газифікатора, в першу чергу, залежить від типу основного і допоміжного обладнання всієї системи, а також від проектної потужності установки. Дані типи газифікаторів в загальному випадку не конкурентні між собою і застосовні в різних діапазонах потужностей.

Для аналізу обрано процес газифікації під високим тиском за температури 1100 К в газогенераторі з киплячим шаром і повітряним дуттям.

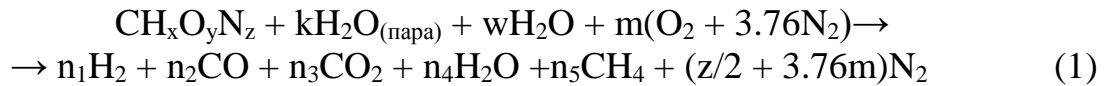
Проаналізовано існуючі методи моделювання процесу термічного розпаду біомаси. Нестехіометрична модель базується на знаходженні такого кількісного рівноважного складу генераторного газу, який відповідає мінімуму його вільної енергії Гіббса. При визначенні мінімуму вільної енергії не потрібно задавати незалежні рівняння реакцій і констант хімічної рівноваги цих реакцій, оскільки значення вільної енергії залежать тільки від концентрацій компонентів в фазах і мас фаз в системі. Єдиною термодинамічною величиною, необхідною для розрахунків, є стандартна вільна енергія компонентів генераторного газу і вихідних речовин. Стехіометрична модель будується на розрахунку констант рівноваги хімічних реакцій і аналіз дозволяє визначити продукти реакції та їх співвідношення. Вибір моделі залежить від температури процесу і газифікуючого агента.

Проаналізовано існуючі методи оцінки викидів парникових газів. Оскільки в даній роботі аналізуються викиди оксидів вуглецю при виконанні конкретного технологічного процесу (виробництва електроенергії з біомаси за допомогою системи комбінованого циклу газифікації) в визначеному секторі економіки (сільське господарство) для розрахунку викидів парникових газів була обрана аналітична модель з визначенням обсягів викидів в CO_2 екв

У зв'язку з викладеним, ціллю даного проекту є теоретичне дослідження складу генераторного газу та продуктів його згорання за допомогою стехіометричної моделі, що базується на константах рівноваг основних хімічних реакцій процесу.

У **третьому розділі** визначено склад генераторного газу за допомогою стехіометричної моделі. Вона будується на розрахунку констант рівноваги хімічних реакцій і аналіз дозволяє визначити продукти реакції та їх співвідношення. Принцип створення моделі наступний:

1. Записується загальна реакція газифікації 1 молю рослинної біомаси в k моль водяної пари і n моль повітря у вигляді:



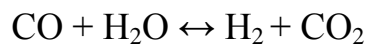
де x, y, z – відношення кількості атомів водню, кисню та азоту в паливі на кожен атом вуглецю палива відповідно;

w - кількість паливної вологи, моль;

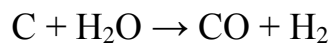
n_i - кількість моль i -го компонента в генераторному газі, моль.

2. Складається баланс маси, оскільки для законів, що відбуваються всередині газогенераторів, застосовні закони збереження маси і енергії.

3. Виділяються основні реакції газифікації при заданому газифікуючому агенті і знаходяться константи хімічної рівноваги цих реакцій. Наприклад, основними при парової газифікації будуть реакції виду:



$$K_1 = \frac{X_{\text{H}_2} X_{\text{CO}_2}}{X_{\text{H}_2\text{O}} X_{\text{CO}}} \quad (2)$$



$$K_2 = \frac{X_{\text{H}_2} X_{\text{CO}}}{X_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (3)$$

4. З рівнянь отриманих при складанні балансів маси та констант рівноваги знаходять склад газу та кількість пара та повітря переводять з молей в м^3 .

5. Складається баланс енергії процесу газифікації 1 кг палива.

Також було досліджено склад димових газів, що утворюються при спалюванні генераторного газу отриманого складу.

У **четвертому розділі** дисертації, застосовуючи методи техніко-економічного обґрунтування доцільності впровадження технології було оцінено інвестиційну привабливість проекту із встановлення системи комбінованого циклу газифікації біомаси біля сільськогосподарського підприємства. Отримані техніко-економічні показники наведено в таблиці 1. Прибуткова частина проекту обчислюється виходячи з припущення, що після встановлення системи виробництва енергії за допомогою комбінованого циклу газифікації біомаси підприємство заощаджуватиме кошти на придбання вугілля і зароблятиме кошти за рахунок продажу надлишкової енергії місцевим споживачам.

Таблиця 1 - Інвестиційні та експлуатаційні витрати для електро-газогенераторного комплексу на відходах сільського господарства

Капітальні витрати проекту (встановленої потужності 10 МВт), тис. грн	
Проекти та інженерні роботи	50,0
Електро-газогенераторний комплекс	1500,0
Роботи з монтажу і запуску установки (20% вартості комплексу)	300,0
Закупівля електротракторів	500,0
Будівельні роботи (30% вартості комплексу)	450,0
Всього капітальні затрати	2800,0
Експлуатаційні витрати, тис. грн./рік	
Заробітна плата персоналу	150,0
Планово-попереджувальні ремонти	40,0
Технічне обслуговування	35,0
Всього експлуатаційні витрати	225,0

В даному проекті найбільший вплив на показники економічної доцільності впровадження проекту з виробництва теплової енергії із біомаси є вартість вугілля, яке замінюється біомасою (в секторі сільського господарства), вид біомаси та тариф на теплову енергію. Прості та дисконтовані строки окупності знаходяться в межах 7 років, що однозначно зацікавить потенційного інвестора.

ВИСНОВКИ

В дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, поставлена і вирішена актуальна наукова задача, яка полягає у обґрунтуванні ефективності використання газифікації альтернативних палив для зменшення викидів оксидів вуглецю.

Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Основною перешкодою в збільшенні частки альтернативних палив в енергетиці України є їх низька теплотворна здатність, а отже й нерентабельність. При їх застосуванні в якості енергоносіїв доцільніше проводити їх попередню газифікація, що дозволяє підвищити їх енергоефективність. Це також може бути комплексним рішенням проблем викидів оксидів вуглецю та енергозалежності країни від імпортованих енергоносіїв.

2. Потужним джерелом альтернативного палива в Україні є біомаса, а саме відходи сільського господарства. Найбільший економічний потенціал мають відходи кукурудзи (4,31 млн. т) та соняшника (4,48 млн. т).

3. Для перетворення відходів сільського господарства в генераторний газ з подальшим його спалюванням в парогазовій турбіні доцільно застосовувати процес газифікації під високим тиском за температури 1100 К в газогенераторі з киплячим шаром і повітряним дуттям. Для дослідження такого процесу найдоцільніше застосовувати стехіометричну модель, що базується на термодинамічній рівновазі.

4. Теоретичні дослідження отриманого генераторного газу та продуктів його згоряння показали, що найменші викиди CO_2 протягом року будуть утворюватися при спалюванні генераторного газу з соломи рапсу та зернобобових – 1513 та 1891 т $\text{C}_{\text{екв}}$ відповідно. Викиди від спалювання вугілля для отримання однакової кількості енергії будуть перевищувати викиди при спалюванні синтез-газу зі стебел соняшника, соломи зернобобових та соломи вівса на 22%, 30% та 29% відповідно.

5. Аналіз техніко-економічного обґрунтування доцільності впровадження системи комбінованого циклу газифікації біомаси для заміни обладнання на спалюванні вугілля для отримання енергії показав, що даний інвестиційний проект може бути привабливим для потенційних інвесторів, адже строк окупності для всіх культур знаходиться в межах 7 років.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

1. Пушкін С.П. Перспективи використання малородючих земель України для вирощування «енергетичних лісів» / С. П. Пушкін, О. С. Лоб // Тези доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина», НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Київ. – 2016. – С. 43.
2. Лоб О. С. Перспективи впровадження технологій вловлювання вуглекислого газу при спалюванні вугілля на електростанціях України / Лоб О. С., Гребенюк Т. В. // Збірник наукових статей Всеукраїнської наукової інтернет-конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку». – Переяслав-Хмельницький: (Вип. 42) – Київ, 2016.

АНОТАЦІЯ

Лоб О. С. Обґрунтування ефективності використання газифікації альтернативних палив для зменшення викидів оксидів вуглецю. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня магістра за спеціальністю 101 – Екологія. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, Київ, 2018.

Робота присвячена оцінці викидам парникових газів при спалюванні генераторного газу отриманого газифікацією біомаси.

Проаналізовано потенціал альтернативних палив в Україні та встановлено, що найбільший економічний потенціал серед відходів сільського господарства мають відходи кукурудзи та соняшника. Порівняно викиди від спалювання генераторного газу із різних сільськогосподарських культур та вугілля.

Проведено техніко-економічну оцінку доцільності впровадження системи комбінованого циклу газифікації біомаси для заміни обладнання на спалюванні вугілля для отримання енергії, що показала, що даний інвестиційний проект може бути привабливим для потенційних інвесторів.

Ключові слова: альтернативне паливо, газифікація, парникові гази, біомаса, генераторний газ, константа рівноваги.

АННОТАЦИЯ

Лоб А. С. Обоснование эффективности использования газификации альтернативных топлив для уменьшения выбросов оксидов углерода. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание степени магистра по специальности 101 - Экология. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины, Киев, 2018.

Работа посвящена оценке выбросов парниковых газов при сжигании генераторного газа, полученного газификацией биомассы.

Проанализированы потенциал альтернативных топлив в Украине и установлено, что наибольший экономический потенциал среди отходов сельского хозяйства имеют отходы кукурузы и подсолнечника. По сравнению выбросы от сжигания генераторного газа из разных сельскохозяйственных культур и угля.

Проведено технико-экономическую оценку целесообразности внедрения системы комбинированного цикла газификации биомассы для замены оборудования на сжигании угля для получения энергии, показала, что данный инвестиционный проект может быть привлекательным для потенциальных инвесторов.

Ключевые слова: альтернативное топливо, газификация, парниковые газы, биомасса, генераторный газ, константа равновесия.

ABSTRACT

Lob O. S. Justification of the effectiveness of alternative fuel gasification for the reduction of carbon monoxide emissions. - On the rights of the manuscript.

Thesis for a Master's degree by specialty 101 - Ecology. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2018.

The work is devoted to the estimation of greenhouse gas emissions when combustion of the generator gas obtained by biomass gasification.

The potential of alternative fuels in Ukraine is analyzed and it is established that the largest economic potential among the agricultural waste is corn and sunflower waste. Comparative emissions from the combustion of generator gas from various crops and coal.

A feasibility study on the feasibility of introducing a biomass combined cycle gasification system for replacing equipment for combustion of coal for energy reception has been carried out, which has shown that this investment project can be attractive to potential investors.

Key words: alternative fuel, gasification, greenhouse gases, biomass, generator gas, equilibrium constant.

Лоб Оксана Станіславівна

Обґрунтування ефективності використання газифікації альтернативних палив для зменшення викидів оксидів вуглецю

101 – Екологія

Автореферат
магістерської дисертації на здобуття
ступеня магістра

