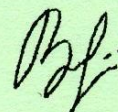


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Михайлюк Валерій Мирославович



УДК 662.74

МЕХАНІЗМ І КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ
ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ МЕТОДОМ
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПІРОЛІЗУ

Спеціальність 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2012

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології
Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Себко Вадим Вадимович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
професор кафедри хімічної техніки
та промислової екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Склабінський Всеволод Іванович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри процесів та обладнання
хімічних та нафтохімічних виробництв

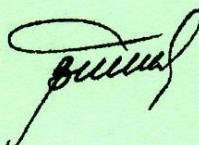
кандидат технічних наук, доцент
Лаврова Інна Олегівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
доцент кафедри технології палива та
вуглецевих матеріалів

Захист відбудеться **19 квітня 2012 р.** о **10.00** годині, на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 64.050.05 Національного технічного університету "Харківський
політехнічний інститут" за адресою: вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного
університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий 15 березня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.К. Тимченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основна тенденція вирішення проблеми твердих побутових відходів (ТПВ) у світовій практиці – це включення їх в промислову переробку, що забезпечує економію земельних ресурсів внаслідок зменшення обсягів відходів, масштабну утилізацію муніципальних відходів при вторинній переробці та вирішує екологічні проблеми сучасними науково-технічними методами. В основі даної тенденції лежить концепція комплексної переробки ТПВ, яка передбачає класифікацію відходів для виділення «хвостів сортування» та подальшого використання, в тому числі для отримання електроенергії.

Серед всіх відомих технологічних процесів переробки «хвостів» ТПВ із врахуванням економічних та екологічних показників перспективним є процес «сухого піролізу» – термічна деструкція «хвостів сортування» без доступу кисню. При цьому вважають, що найбільш ефективним є процес «сухого піролізу» за високих температур (вище 1100 °С) у відновній атмосфері в присутності парів води. За цих умов повинна протікати повна деструкція всіх складових ТПВ з утворенням високоякісного газоподібного пального, придатного для транспортування та використання в газогенераторах для отримання електроенергії.

Створення апаратурно-технологічної схеми для реалізації процесу комплексної переробки твердих побутових відходів (ТПВ) з етапами класифікації відходів і високотемпературної обробки «хвостів сортування» потребує аналізу ряду питань, що стосуються ефективності технологічного процесу та обладнання для класифікації ТПВ із отриманням потрібних фракцій; теплофізичних характеристик «хвостів сортування» залежно від їх хімічного складу; механізму та кінетики процесу деструкції «хвостів сортування» під час високотемпературної обробки, вплив на ці параметри парів води та каталізаторів; ефективної конструкції реактору безперервної дії для здійснення процесу. Тому наукові та інженерні дослідження, направлені на вирішення перерахованого є актуальними та дозволяють створити комплексну схему переробки на основі перспективного способу утилізації твердих органічних відходів – методом високотемпературної обробки. Окрім того, відокремлення з відходів цінних компонентів для подальшого використання в промисловості дозволить створити безвідходну технологію переробки ТПВ. На вирішення цієї науково-практичної задачі спрямована дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології НТУ «ХПІ» в рамках госпдоговірної теми «Розробка концепції та нових технологій рекультивациі полігонів та переробки промислових і побутових відходів» (ОАО «Укрпромекологія», м. Харків) та договором про науково-творчу співпрацю з Українсько-Німецьким підприємством «Альтфатер» (м. Чернівці), в яких здобувач був відповідальним виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження процесів класифікації та сортування твердих побутових відходів ТПВ з виділенням і підготовкою фракції, придатної для «сухого піролізу», а також визначення механізму та кінетики сухого піролізу виділеної фракції, моделювання процесу та створення перспективної конструкції реактору піролізу.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

- обґрунтувати та обрати сортувальну лінію для класифікації ТПВ, провести відповідні дослідження на лінії, визначити вихід фракцій, придатних для піролізу «хвостів сортування» та дослідити їх фізико-хімічні властивості;
- обґрунтувати технологічні методи підготовки виділених фракцій до процесу високотемпературної обробки перед подачею їх в реактор піролізу, експериментально встановити їх доцільність;
- дослідити механізм і кінетику термічної деструкції, підготовлених до термічної обробки «хвостів сортування», встановити основні стадії процесу сухого піролізу та вплив на процес атмосфери парів води і каталізаторів;
- провести моделювання процесу сухого піролізу «хвостів сортування» ТПВ, на основі результатів досліджень і математичного моделювання розробити перспективну конструкцію реактору для проведення процесу сухого піролізу;
- провести порівняльні випробування перспективної конструкції реактора сухого піролізу з реактором, в якому відходи ТПВ піддаються окислювальному піролізу.

Об'єктом досліджень є процес комплексної переробки та утилізації ТПВ на основі високотемпературної обробки (методу «сухого піролізу»).

Предметом досліджень є класифікація ТПВ і визначення фізико-хімічних властивостей фракцій, придатних для високотемпературної обробки; термодинаміка, кінетика та механізм основних стадій процесу піролізу.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи залучали сучасні фізико-хімічні методи аналізу. Дослідження фракцій після класифікації проводилось із застосуванням дериватографічного аналізу, методів спектроскопії та електронного мікроскопа. Термодинамічний аналіз процесу піролізу проводився на основі методу Уейк-Ариса з визначенням напрямку та механізму ряду реакцій. Для створення перспективної конструкції реактору проводились кінетичний аналіз і математичне моделювання основних стадій високотемпературного піролізу. Для обробки експериментальних даних застосовували методи математичної статистики з використанням програмних пакетів MathCad і Microsoft Excel.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі представлено перспективне вирішення науково-практичної задачі – комплексної переробки ТПВ з використанням високотемпературної обробки методом «сухого піролізу» та результати апробації в промислових умовах. Підсумком вирішення поставлених завдань є отримання наступних результатів:

- досліджено процес класифікації ТПВ та встановлено, що «хвости сортування» на 80-85 % складаються з твердих органічних сполук і можуть бути використані в процесі термічної деструкції;
- науково обґрунтовано необхідність і метод попередньої підготовки «хвостів сортування» (гомогенізація, брикетування) до високотемпературної обробки з метою інтенсифікації процесу (патент України на корисну модель № 56370 «Спосіб переробки твердих побутових відходів»);
- проведено термодинамічний і кінетичний аналізи процесу піролізу в результаті якого визначено послідовність і механізми хімічних реакцій під час термічної обробки та раціональний температурний режим процесу;

- розроблено математичну модель процесу високотемпературної обробки твердих вуглецевмісних відходів та показано адекватність моделі;
- розроблено перспективну конструкцію реактора для проведення безперервної високотемпературної обробки;
- розроблено та випробувано в дослідно-промислових умовах апаратурно-технологічну схему процесу високотемпературної обробки (метод «сухого піролізу») твердих вуглецевмісних відходів.

Практичне значення одержаних результатів при переробці твердих побутових відходів полягає у розробці апаратурно-технологічної схеми процесу «сухого піролізу» для проведення комплексної переробки та визначено рівень забруднення довкілля.

Апробовано перспективні конструкції реакторів шахтного та камерного типу, виконано їх технічні проекти, розроблено методику розрахунку реакторів.

Надано практичні рекомендації щодо промислового використання апаратурно-технологічної схеми безвідходної переробки ТПВ, що поступають на полігони, які прийнято до впровадження в навчальний процес по підготовці фахівців за напрямками машинобудування та екологія по кафедрі «Хімічної техніки та промислової екології», а також підприємством «Альтфатер», на що є відповідні актит.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: проведення експериментальних досліджень процесу видалення продуктивних фракцій з відходів та термічної деструкції «хвостів сортування», визначення кінетичних закономірностей, теоретичного обґрунтування стадій високотемпературного піролізу, розробка математичної моделі процесу, впровадженні результатів роботи у виробництво та навчальний процес. Постановка задач досліджень, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації обговорювались і отримали позитивні відгуки на: Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані технології та енергозабезпечення» (Харків 2011р.); наукових семінарах кафедри ХТПЕ в НТУ «ХПІ» (2008 – 2011), на наукових семінарах кафедри ХТПЕ в НТУ «ХПІ» (2008 – 2011), на науково-технічній раді фірми «Альтфатер» (м. Чернівці).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 5 наукових робіт, в тому числі 3 статті у наукових фахових виданнях України, 2 патенти України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків. Повний обсяг дисертації складає 159 сторінок, з яких 25 рисунків по тексту, 20 таблиць по тексту, 129 найменувань використаних літературних джерел на 14 сторінках, додатки на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У розділі 1 проведено аналіз науково-технічних публікацій, в яких містяться дані щодо класифікації твердих побутових відходів (ТПВ), методів та технологій їх утилізації, визначено нові підходи до знешкодження. Показані перспективи використання «хвостів сортування» та осадів стічних вод для виробництва газоподібного палива. Доведено, що тільки комплексна переробка ТПВ, яка передбачає їх попередню класифікацію і сортування з видаленням продуктивної вторинної сировини для різних галузей, а також видалення «хвостів сортування» в якості фракції для термічної обробки дозволить створити безвідходну технологію утилізації твердих побутових відходів. Визначено, що серед відомих технологічних процесів переробки хвостів сортування ТПВ із врахуванням економічної доцільності та екологічної безпеки найбільш перспективним є процес «сухого піролізу», тобто процес термічної деструкції хвостів сортування без доступу кисню. Визначені параметри відомих технологічних рішень.

У розділі 2 розглянуто основні об'єкти, методику та інструментарій досліджень, фізико-хімічну характеристику твердих побутових відходів та методи фізико-хімічного аналізу їх визначення на базі дослідного відділу фірми «Альфатер» (м.Чернівці). Наведено принципові схеми установок, на яких визначались особливості класифікації і сортування ТПВ, а також досліджувались механізм і кінетика процесу «сухого піролізу»; наведено схеми реакторної установки, на якій вивчались особливості практичної реалізації процесу «сухого піролізу». Розглянуто методики термодинамічного аналізу процесу та його моделювання, які базуються на відомих фундаментальних підходах.

В розділі 3 наведено результати дослідження ефективності первинного сортування ТПВ як підготовчої операції процесу комплексної переробки, які показали, що за даними аналізу морфологічного складу основна частина відходів, що утворюються у населення та різних сферах споживання в регіонах України, припадає на клас із фракцією 150 мм (близько 95 % від маси ТПВ). У відходах такого класу концентрується близько 80-85 % чорного металу, 80 % луженої тари, більше 95 % брухту алюмінію, більше 60 % паперу, близько 100 % харчових відходів.

Після сортування фракції менше 150 мм видаляється фракція менше 50 мм, яка в основному складається з харчових відходів, дрібного текстилю та паперу. Ця фракція містить також дрібний склобій, відсів (в яких близько 1/3 органічної речовини), кількість фракції менше 50 мм складає близько 60 %. В процентному відношенні фракція менше 50 мм має наступний склад: харчові відходи + садово-паркове сміття + текстиль + папір + пластичні маси + дрібні фрагменти деревини + 1/3 органічних відсівів – 80,4 %; фрагменти металу – 0,16 %; будівельне сміття + відсів без вмісту органіки + скло бій – 18,2 %.

За результатами досліджень виявлено, що відомі механізовані лінії сортування не дозволяють повністю видалити чисті фракції для використання їх як вторинної сировини. ТПВ, які мають фракційний склад в інтервалі між 150 мм і 50 мм, неможливо розділити на відповідні продукційні фракції ні на сортувальних барабанах, ні на вібросортувальних пристроях. Це пов'язано з високими вологістю і адгезійною здатністю, а також із тим, що при використанні таких методів маса ТПВ ущільнюється в єдиний шар. Для застосування технології повітряної класифікації їх необхідно попередньо подрібнювати та сушити, що економічно недоцільно,

окрім того коефіцієнт селективного видалення не перевищує 50 %. Тому для видалення чистих продукційних фракцій вторинної сировини в роботі запропоновано застосовувати сміттесортувальну напівавтоматизовану лінію ручного та механічного сортування.

Результати досліджень технологічного процесу сортування ТПВ на дослідній лінії при продуктивності 3 т/год. шляхом аналізу матеріальних балансів дозволили встановити наступне.

На сортувальній лінії в якості продуктивних фракцій відбираються чорні та кольорові метали, значна частина текстилю, паперу та картону, пластичних мас, деревини та крупного будівельного сміття (каміння). Це складає в середньому 45 % від загальної маси відходів. Фракція менше 100 мм в основному складається з харчових відходів, текстилю, паперу. Також в ній міститься дрібний склобій, пластмаси, кістки, дрібне каміння та вуличне сміття, дрібні фрагменти чорних металів. Кількість фракції менше 100 мм близько 55 % від всієї маси відходів. В процентному відношенні фракція менше 100 мм має наступний склад: харчові відходи, текстиль, папір, пластичні маси, мілкі фрагменти деревини в сумі – 88,35 %; фрагменти металу – 0,19 %; будівельне, вуличне сміття, кістки – 5 %, дрібний склобій – 6,4 %.

Таким чином, «хвости сортування» (тобто маса, що не утилізується як продуктивна фракція) на 88 % складається з органічних компонентів, при цьому вологість фракції складає 50 %. Такий склад дозволяє вважати їх перспективною сировиною для отримання теплової енергії або біогазу.

Методами диференційно-термічного аналізу (ДТА), ІЧ спектроскопічного аналізу, а також мікроскопічного аналізу встановлено, що органічна складова «хвостів» і волога, що утримується в них, не є простою сумішшю компонентів. Оскільки харчові відходи мають найбільшу надлишкову поверхневу енергію, навколо них утворюються сольватні оболонки певної товщини. Як наслідок, формуються вторинні складні структури, які представляють собою фізичні асоціати та хімічні комплекси, між якими знаходяться неструктуровані вуглеводні колоїдних розмірів. При організації та оптимізації технологічних процесів подальшої переробки або підготовки до депонування необхідний цілеспрямований вплив на структуру «хвостів сортування» для їх гомогенізації і зміни фізико-хімічних властивостей.

Для руйнування структури «хвостів сортування» застосовано механо-хімічні методи.

Відомо, що хіміко-механічний процес обробки целюлози при інтенсивному перетиранні за високих механічних контактних тисків до 20 МПа і гомогенізації в принципі дозволяє змінити структуру целюлози. При цьому вивільняється лігнін, геміцелюлоза та утворюються нанокристали целюлози, які легко піддаються біорозкладу. Аналіз конструкції апаратів змішування, подрібнення та шнекових екструдерів довів, що хіміко-механічна обробка може бути реалізована в апаратах – двохшнекових реакторно-змішувальних машинах одностороннього обертання із зачепленими шнеками. В цих машинах окрім процесів змішування, диспергування, хімічної деструкції, теплообміну проходить формування та гранулювання оброблюваного матеріалу. В роботі використані типові реакторно-змішувальні установки типу СН (СН-100 і СН-400).

При роботі машини технологічні операції по довжині шнеків проходять в наступній послідовності. В першому модулі машини хвости ущільнюються і одночасно, за рахунок вільної води в агрегатах хвостів, в результаті вивільненої енергії, викликаной в'язким тертям, відбувається паророзрихлення із вивільненням кристалізаційної води. В наступному модулі відбувається подрібнення і пластичне руйнування структури целюлози на мікро- і макрорівнях.

При цьому перепад тиску на цих ділянках всередині машини досягає 8-10 МПа. В третьому модулі оброблюваний матеріал пластифікується, перепад тиску досягає 10-12 МПа. В четвертому модулі проходить гомогенізація матеріалу, за необхідності в цей модуль вводять домішки чи каталізатор. Час перебування порції матеріалу в машині складає 420 с. На виході з установки отримували брикети (гранули) розміром від 0,025 до 0,06 м в діаметрі та довжиною від 0,03 до 0,07 м, середня вологість брикетів складала 25-30 %. Вироблялись також брикети із домішкою K_2CO_3 до 10 % ваг., які згідно літературних даних є каталізаторами процесу піролізу, та з домішкою дисперсного CaO , який зв'язує важкі метали в шлаках піролізу.

Отримані брикети досліджувались на міцність таблеток за відомою методикою на злам. Результати випробувань показали, що при вільній вологості 25-30 % критичне зусилля на злам $P_{зл}$ складало 1,27-1,57 МПа. Введення каталізатору або домішок CaO підвищило значення $P_{зл}$ на 20-30 %.

Таким чином, проведені виміри значення $P_{зл}$ свідчать про достатньо високу міцність грануляту, що забезпечує можливість його дозування і термічної обробки в шахтному реакторі. Визначено універсальні показники, що характеризують той чи інший вид твердого палива, а саме: зольність (A^0), вологість (W), вихід летких речовин (V) та теплоту згорання (Q). Встановлено, що при вологості $W=25$ %, зольності $A^0=20-25$ %, виході летких речовин $V=65-66$ %, теплоті згорання $Q=8-10$ Дж/кг на суху масу і 7-14 Дж/кг на горючу масу. Показники по A , V , W відповідають даним дериватографічного аналізу (ДТА, ДТГ, ТГ).

Економічно доцільним є виробляти з органічних відходів теплову енергію, якщо тепловий ефект реакції вуглеводовмісних компонентів у відходах не є нульовим. При цьому мінімальна концентрація вуглеводнів, що відповідає вищезазначеному положенню, повинна становити 11,5-11,8 %.

Отже, склад «хвостів сортування» та їх теплота згорання Q свідчать про те, що отриманий гранулят може бути використаний як ефективне паливо. Мікроскопічний аналіз показав, що брикети представляють собою повністю гомогенізовану масу, яка складається з однорідних частинок розміром 5×10^{-5} м (~50 мкм).

Як показав аналіз ІЧ спектрів грануляту, смуги в області $3500-3400$ cm^{-1} – це вільна вода, яка видаляється стандартним сушінням при $105^\circ C$; широка смуга 3000 cm^{-1} – це слабко зв'язана вода, тобто вода, що видаляється при більш тривалому процесі сушки при $120^\circ C$; смуги в області $3200-2700$ cm^{-1} належать до валентних коливань С-Н в алканах, смуги $1640-1700$ cm^{-1} характерні для коливань карбонільної групи С=О. Аналіз кривих ДТА, ДТГ, ТГ показав, що процес термічної деструкції грануляту супроводжується як ендотермічними, так і екзотермічними реакціями. Отже, можна зробити висновок про те, що є три температурних інтервали, на котрих відбувається основна втрата маси зразків грануляту.

В інтервалі $100-120^\circ C$ втрата маси складає близько 20-25 %, видаляється вільна і слабко зв'язана вода. В інтервалі $300-520^\circ C$ проходить сублімація та деструкція органічної складової хвостів (втрата маси близько 60-65 %). Встановлено, що вищезазначені процеси не залежать від складу газової атмосфери, їх інтенсивність визначається температурним режимом. Останній інтервал температур $700-900^\circ C$ характерний для конверсії коксового залишку. Окрім того, при температурах $650-720^\circ C$ спостерігається ефект, характерний для плавлення (пом'якшення) залишку з утворенням так званого метапласту. Літературні джерела свідчать, що інтенсивність

процесу конверсії коксового залишку може залежати від газової атмосфери, особливо від водяної пари.

Таким чином, відзначимо, що ТПВ можуть бути включені в комплексну переробку після попередньої класифікації з видаленням фракції більше ніж 0,10 м як вторинної сировини. Фракція менше 0,10 м – «хвости сортування» повинна піддаватись подрібненню та гомогенізації. Важливим науковим фактом є також те, що деструкція «хвостів сортування» проходить поетапно: спочатку втрата води, потім втрата летких компонентів, з утворенням коксового залишку і на останній стадії деструкція коксового залишку. Це дозволяє створити наукове підґрунтя для вибору типу реактору та моделювання відповідних процесів на кожній стадії. Також можна стверджувати, що у «хвостах сортування» вуглець сумарно складається з легкого та основного, тобто зі сполук, що видаляються сублімацією із коксового залишку.

В розділі 4 наведено результати моделювання процесу піролізу на кожній стадії, та результати експериментальних досліджень процесу високотемпературного піролізу хвостів ТПВ.

Як впливає з попередніх розділів в реакторах піролізу всі процеси повинні проходити поетапно: підсушування шару відходів, возгонка летучих та декомпозиція коксового залишку.

Як на першому, так і на всіх наступних етапах при нагріванні матеріалу можна спостерігати теплообмін між граничним шаром та компонентом, що видаляється з поверхні твердого тіла. Схематично це можна представити у вигляді схеми (рис. 1)

За межами граничного шару параметри газу – густина суміші ρ_0 , тангенціальна швидкість $\omega_x = \omega_0$, концентрації компонентів суміші m_{i0} – постійні. Будемо вважати, що число Прандтля газового потоку рівне одиниці, а відповідно і коефіцієнт відновлення також рівний 1.

Молекулярний теплообмін здійснюється тільки концентраційною дифузією, при умові стаціонарності процесу. Тоді рівняння теплового балансу для поверхні розділу газ – тверде тіло

(рис. 1) запишеться у вигляді:

$$q_{c(\tau)} = q_{c(\tau)} + (\rho\omega_y)_c h_{E(\tau),c} - (\rho\omega_y)_c h_c, \quad (1)$$

де $q_{c(\tau)}$ – густина теплового потоку на границі розділу фаз; $q_{c(\tau)}$ – те саме, тільки в газі; $(\rho\omega_y)_c$ – густина потоку маси суміші на границі розділу фаз; h_c – ентальпія газової суміші на границі розділу фаз; $h_{E(\tau),c}$ – те саме, тільки для матеріалу поверхні (твердої фази).

Як відомо $q_{c(\tau)} = \frac{\alpha}{c_p} (h_0 - h_c)$, та з врахуванням

випаровування $h_{E(\tau)} = h_{E(\tau)} + r_s$, отримана залежність:

$$q_{c(\tau)} = \frac{\alpha}{c_p} [(h_0 - h_c) - Br_s - Br_c + Bh_{E(\tau),c}], \quad (2)$$

де r_s – питома теплота випаровування матеріалу з поверхні твердого матеріалу E; $B = \frac{c_p(\rho\omega_y)_c}{\alpha} = 1/St$, St –

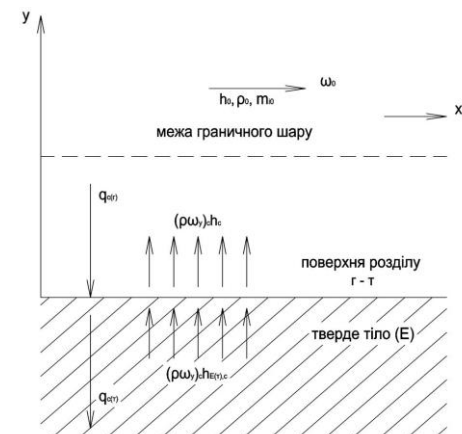


Рисунок 1 – Схема теплообміну між реагуючим газовим шаром та тим, що випаровується з поверхні компонента

критерій Стантона.

Таким чином, розрахунок теплового потоку, який переходить у тверде тіло, зводиться до визначення параметрів газової суміші на границі розділу фаз і на деякій відстані від неї. Фізична природа самого процесу переміщення вологи легкого компоненту визначається

структурою твердого тіла. В колоїдному тілі це буде дифузія, а в капілярно-пористому тілі – рух по капілярах. В тілах з структурою змішаного типу, до яких відносяться гранульовані чи гомогенізовані хвости, мають місце обидва види переміщення летких компонентів.

Приблизний розрахунок процесу сушки чи видалення летких компонентів можна виконати, досліджуючи залежність між середніми значеннями температури і вологовмісту (вмісту летких компонентів) тіла. Ці величини зв'язані рівнянням, що випливає із закону збереження енергії

$$\rho_0 [c_0 + c_\varepsilon u(\tau)] \frac{dT}{d\tau} = (q_{c(\tau)}) - \beta [T(t) - T_{\text{ноч.}}] + \rho c_0 \frac{du}{dt}, \quad (3)$$

де ρ_0 – густина сухої речовини; коксового залишку; c_0 та c_ε – питома теплоємність сухої речовини та вологи; коксового залишку та летких компонентів; ρ – питома теплота пароутворення; питома теплота сублімації летких компонентів; $\beta = \alpha S/V$ – приведений коефіцієнт тепловіддачі; α – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні тіла; S та V – відповідно величини поверхні та об'єму тіла; $u(\tau)$ – вологовміст, вміст летких компонентів.

Густина джерела тепла $q_{c(\tau)}$ являється функцією часу, і її слід розглядати як основну впливову величину.

Для розглянутого випадку

$$h = \sum_{i=1}^{i=n} m_i h_i$$

отже

$$h_0 - h = \sum m_{i0} h_{i0} - \sum m_{i,c} h_{i,c} = \sum (m_{i0} h_{i0} - m_{i,c} h_{i,c}) = \sum (m_{i0} h_{i0} - h_{i,c}) + h_{i,c} (m_{i0} - m_{i,c}), \quad (4)$$

де $m = \rho_i / \rho_c$ – відносна масова концентрація i -го компоненту газу; ρ_i – масова концентрація i -го компоненту суміші, кг/м³; ρ_c – густина суміші, кг/м³

В даному випадку залежність (2) записується у вигляді

$$q_{c(m)} = \frac{\alpha}{c_p} \left[\sum_{i=E}^{i=n} m_{i0} (h_{i0} - h_{i,c}) - B \tau_\xi + \sum_{i=E}^{i=n} h_{i,c} (m_{i0} - m_{i,c} - m_{i,c} B) + h_{E(\tau),c} (B - B m_{E,c} - m_{E,c}) \right] \quad (5)$$

Враховуючи прийняті раніше припущення при опису схеми (1), коефіцієнт B може бути представлений у вигляді

$$B = \frac{1}{St} = \frac{Nu}{Re Pr} = \frac{Nu}{Re}. \quad (6)$$

При $Pr = 1$

$$Nu = 0,0296 Re_x^{0,18}. \quad (7)$$

Як відомо, гідродинамічна теорія теплообміну достатньо добре описує тепловіддачу газів, оскільки у газів величина критерію Прандтля близька до одиниці або рівна їй.

Таким чином, у випадку реалізації високошвидкісного піролізу в реакторах з фільтруючим рухомим шаром розрахунок умов нагрівання шару до необхідної температури і умов протікання процесу визначається достатньо простим співвідношенням. Головним аспектом являється те, що при розрахунку $q_{c(\tau)}$ використовується відмінність ентальпій, а не температур. При цьому облік повноти переносу до твердого тіла теплоти хімічної реакції враховується при визначенні коефіцієнта тепловіддачі.

Після першого етапу гранули піддаються сублімації та деструкції з утворенням газоподібних продуктів, а також золи, коксу та смолистих речовин, які утворюються в гранулі.

Загальна початкова концентрація вуглецю C_a^0 дорівнює сумі леткого C_l^0 і основного C_g^0 . Тоді конверсія вуглецю буде описуватись рівнянням

$$x = \frac{C_a^0 - C_B^0}{C_B^0}. \quad (8)$$

Оскільки конверсія протікає в практично безкисневій атмосфері, втрата ваги буде зумовлена не тільки процесами газифікації, але й виділенням не вуглецевих компонентів, таких як азот, водень, сполуки сірки. Із врахуванням цього для визначення (x) можна застосувати наступне співвідношення

$$x = \frac{(\Delta G / \Delta G_0) - V}{1 - V - A}, \quad (9)$$

де ΔG – загальна втрата ваги зразка; ΔG_0 – початкова вага зразка; V – вміст летких компонентів; A – вміст золи.

Декомпозиція на цьому етапі з утворенням газоподібних продуктів і твердого залишку (коксу) моделюється одномолекулярною реакцією декомпозиції першого порядку

$$\frac{dG_r}{d\tau} = k_i(G_0 - G_k), \quad (10)$$

де k_i – константа швидкості реакції; G_r – кількість газоподібного продукту; G_0 – початкова вага зразка; G_k – кількість твердого залишку.

Швидкість декомпозиції твердого залишку G_k на наступному етапі із врахуванням (9) виражена співвідношенням

$$\frac{dx}{d\tau} = k(1-x)^{2/3} \exp(-ax^2), \quad (11)$$

де член $(1-x)^{2/3}$ пропорційний ефективності твердого компоненту, який декомпонується; τ – час; $\exp(-ax^2)$ – відображає відносну реакційну здатність ефективної поверхні, що зменшується зі збільшенням перетворення при позитивному значенні параметру a , який залежить від температури та складу атмосфери. Параметр a може змінюватись від 0 до 1. Згідно результатів досліджень, наведених вище, та аналізу рівняння (11) при декомпозиції твердого залишку гранули пом'якшуються і руйнуються. Це є наслідком того, що залишок реагує з діоксидом вуглецю, протікає екзотермічна реакція між вуглецем і воднем, а також гомогенні екзотермічні реакції в граничному шарі та об'ємі гранули між оксидом вуглецю і парами води, монооксидом вуглецю та киснем тощо.

Виходячи з вищенаведеного, швидкість руйнування гранули можна представити у вигляді функції від ступеню конверсії

$$\frac{\partial k}{\partial \tau} = -\frac{M_C}{\rho_0 W_B} \sum_{i=1}^{N_G} \nu_{C_i} R_i, \quad (12)$$

де N_G – загальна кількість реакцій між твердим компонентом і газом; ρ_0 – густина гранули в початковий момент часу; ν_{C_i} – стехіометричний коефіцієнт i -того компоненту i -тої реакції; W_B – початковий вміст вуглецю в залишку (гранулі); R_i – швидкість i -тої реакції.

Граничні умови до рівняння (12) враховують зміну радіусу гранули (r). Припускається, що гранула зменшується в розмірах за рахунок зникнення її структури при певних ступенях конверсії.

Отже, $r=const$ до тих пір, доки ступінь перетворення на поверхні не досягне певного значення x^* , ця умова задається як

$$\left(\frac{\partial x}{\partial r}\right) = 0 \text{ при } r=a, \text{ якщо } x=x^* \quad (13)$$

Як видно з рівнянь (12, 13) швидкість витрати гранули залежить від швидкості реакції, що проходить між твердим залишком після видалення легких компонентів і газоподібної фази.

Відомо, що в процесі газифікації коксового залишку в присутності водяної пари можливими є декілька варіантів: варіант, коли цільовим продуктом є водень, та варіант, коли завданням оптимізації стає максимізація виходу метану в зоні газифікації. Для визначення N_G загальні кількості можливих реакцій між твердим компонентом і газом, а також визначення типу реакцій в роботі було використано метод Р. Ариса. Суть методу полягає в тому, що для числа реагентів N будується траєкторія можливих реакцій, під якою розуміють множину складів, що виникають внаслідок сукупності хімічних реакцій. Ця траєкторія є функцією часу. Відповідно до другого закону термодинаміки для цих умов необхідно, щоб виконувалась нерівність

$$\sum_{i=1}^R \Delta \xi_i \sum_{j=1}^N V_{ji} \mu_j \leq 0 \quad (14)$$

де μ_j – молярний хімічний потенціал для компонента A_j . Якщо реакції є кінетично незалежними, то умова (14) повинна виконуватись для кожної реакції окремо

$$\Delta \xi_i \sum_{j=1}^N V_{ji} \mu_j \leq 0 \quad (15)$$

де $\Delta \xi_i$ – відносна величина конверсії (ступеня завершеності та реакції); R – число хімічних реакцій.

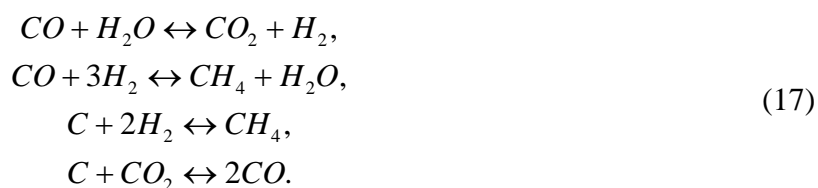
Нерівність (15) є проектним формулюванням того, що кожна реакція протікає окремо в напрямку зменшення вільної енергії. Для опису динаміки багатокомпонентної системи необхідно визначити таку множину реакцій, яка б задовольняла умові

$$\sum_{j=1}^N v_{ij} A_j = 0; \quad (i=1 \dots R) \quad (16)$$

Наступним кроком розрахунків є підгонка виразу, що описує швидкості реакцій до траєкторії експериментальних спостережень.

Згідно вище встановленого, в дослідженій системі при температурах 600-1000°C і тиску парогазової суміші проходить повний розклад всієї органічної маси на насичені та ненасичені вуглеводні, а в діапазоні більше 1000 і до 1600°C розкладається залишок (кокс) при паровій газифікації. При цьому можна вважати, що при паровій газифікації лімітуючою є стадія піролізу вуглецю. Тому на останній стадії аналізується газифікація вуглецю в присутності парів води. Досліджувана система складається з шести компонентів, їй відповідають три елементарних баланси та три незалежні стехіометричні реакції. Згідно аналізу шляхом запису різних наборів траєкторій і відповідних розрахунків було встановлено, що газифікація вуглецю

в присутності водяної пари здійснюється при температурах нижче 1100°C. Процес відповідає механізму:



Цей механізм дозволяє досягти максимального виходу метану в умовах низького сумарного теплового ефекту реакції. Весь процес проходить зі зменшенням вільної енергії, таким чином, уникають перешкод, пов'язаних із досягненням рівноваги.

Таким чином, отримано кінетичні рівняння, які описують інтенсивність процесу на кожному етапі, визначено найбільш доцільний механізм конверсії вуглецю (коксу) та температурні інтервали процесу. Далі в розділі наведено результати експериментальних досліджень процесу в лабораторному реакторі.

Для першого етапу (сушки) було визначено, що загальний коефіцієнт теплообміну для шару гранул може досягати 10-15 Вт/м²·К. Час втрати вологи гранулами до ступеня 98,5 % складає в середньому 1500-1800 с (25-30 хв.). Після сушки гранули мають статичну міцність ~2,0 МПа та бімодальний розподіл пор за розмірами: макропори ($G_p < 6 \times 10^{-4}$ мкм), мезопори ($6 \times 10^{-4} < G_p < 1,5 \times 10^{-2}$ мкм) і мікропори ($1,5 \times 10^{-1} < G_p < 2$ мкм). Система пор слугує транспортними каналами для початкових компонентів і продуктів реакцій. Система мікропор утворює практично всю основну поверхню.

На рисунку 2 наведено залежність конверсії леткого вуглецю від часу при температурах (400, 500, 600) °С під впливом атмосфери різного складу.

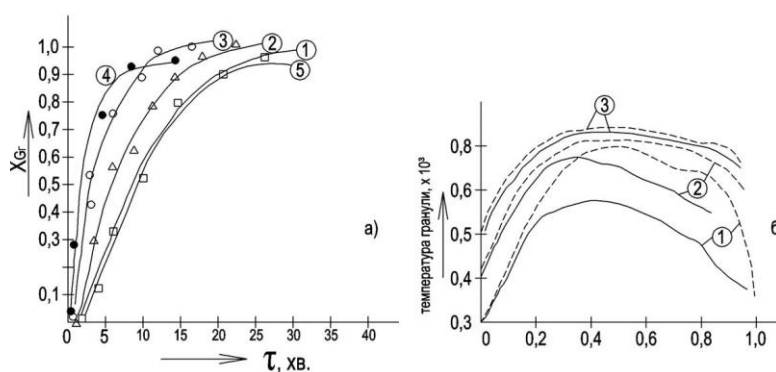


Рисунок 2 – Залежність конверсії «леткого» вуглецю від часу при температурах 400 – (1), 500 – (2), 600 – (3)°С. Тиск – 0,7 МПа, склад газової фази (1-3) – 40,6 % H₂O, 27,4 % H₂, 19 % CO, 13 % CO₂; (4) – вакуум – $1,33 \cdot 10^{-3}$ МПа; (5) – атмосфера азоту, P – 0,1 МПа, T=400°С

а) – криві конверсії; б) – криві зміни температури на поверхні та в центрі брикету:
(---) – температура на поверхні, (—) – температура в центрі.

Отримані експериментальні дані свідчать про те, що швидкість виділення леткого вуглецю практично не залежить від складу газової фази та тиску. Швидкість процесу зростає зі збільшенням температури. При цьому не встановлено вплив домішок K₂CO₃, CaO та розміру гранул (брикетів) на швидкість виділення леткого вуглецю. Обробка кривих конверсії на рисунку 2 дозволила отримати значення загальної константи швидкості конверсії k_i .

При температурах (400, 500, 600)°С k_i відповідно визначали як: $2,4 \times 10^{-3}$; $1,8 \times 10^{-3}$; $1,2 \times 10^{-3}$ 1/хв. Загальний час повного видалення леткого вуглецю складає близько 1800 с (30 хв.).

На рисунку 3 показано залежність конверсії основного вуглецю від часу при $T=1300\text{ K}$, тиску $0,7\text{ МПа}$. Наведені експериментальні криві (рис. 3) свідчать про вплив складу газової атмосфери на конверсію основного вуглецю та каталітичний вплив води на процес.

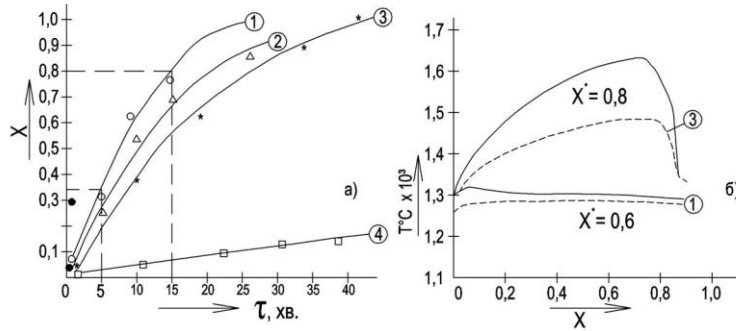


Рисунок 3 – Залежність конверсії основного вуглецю від часу при $T=1300^{\circ}\text{C}$, тиску $0,7\text{ МПа}$ при різних газових атмосферах:

1 – $50\% \text{ H}_2\text{O}, 50\% \text{ N}_2$; 2 – $50\% \text{ H}_2\text{O}, 30\% \text{ H}_2, 11,4\% \text{ CO}, 8,1\% \text{ CO}_2$; 3 – $40\% \text{ H}_2\text{O}, 27,4\% \text{ H}_2, 19\% \text{ CO}, 13\% \text{ CO}_2$; x^* - критичне значення степені конверсії при якій границя руйнується; (---) – поверхня границі; (—) – центр

також

процес з кінетичної у дифузійну область. При цьому різниця температур між гранулою і навколишнім середовищем знижується, що приводить до зниження швидкості процесу. Встановлено також, що введення каталізатору K_2CO_3 інтенсифікує швидкість ендотермічної реакції між вуглецем і парами води у 1,2-1,3 рази, що дає можливість знизити температуру процесу.

На рисунку 4 наведено експериментальні дані рис. 3, перетворені відповідно до рівняння 11. При апроксимації експериментальних точок, отриманих в атмосфері водяної пари, лінійна залежність утворювалась при розрахунках із $a=0,0$ (ліва вісь ординат), а в атмосфері синтез-газу, що утворюється на другому етапі має місце при $a=1,0$. Для останнього виразу спостерігається індукційний період 600-720 с (10-12 хв.).

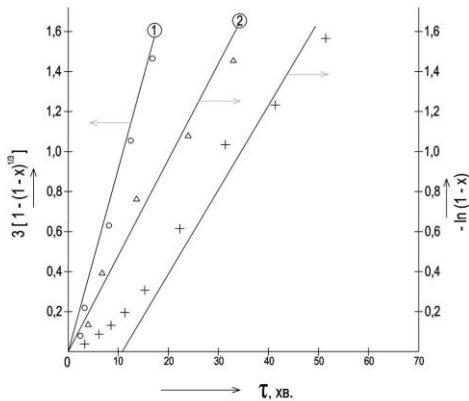


Рисунок 4 – Оцінка константи швидкості процесу при температурі 1300°C в різних середовищах:

1 – $50\% \text{ H}_2\text{O}, 50\% \text{ N}_2$; 2 – $50\% \text{ H}_2\text{O}, 30\% \text{ H}_2, 11,4\% \text{ CO}, 8,1\% \text{ CO}_2$; 3 – $40\% \text{ H}_2\text{O}, 27,4\% \text{ H}_2, 19\% \text{ CO}, 13\% \text{ CO}_2$

Також, при проведенні експериментів досліджувався вплив загального тиску на швидкість процесу при температурах 1300°C і 1500°C . При обробці експериментальних даних визначено, що в інтервалі тисків від $0,39$ до $1,58\text{ МПа}$ лінійні залежності рівняння 11 спостерігаються при $(a)=1$, а значення константи швидкості при 1300°C дорівнює $1,6 \times 10^{-3}\text{ 1/хв.}$ Відхилення значення константи від наведеного в інтервалі $0,39-1,58\text{ МПа}$ не перевищувало 5% . Аналогічний результат спостерігали при температурі 1500°C , константа дорівнює $2,2 \times 10^{-3}\text{ 1/хв.}$ з відхиленням від цього значення 4% . Таким чином, швидкість процесу в досліджуваних умовах залежить від значення температури, складу газової фази та присутності каталізатору.

Результати досліджень підтвердили

адекватність рівнянь моделі процесу та дозволили визначити час перебування шару в кожній зоні реактору, який забезпечує повне завершення кожної стадії.

В розділі 5 подано обґрунтування та вибір конструкції реактору для реалізації процесу високотемпературного піролізу ТПВ, тепловий та матеріальний баланси процесу. Для досліджень, враховуючи відомі з літературних джерел дані, було вибрано дві конструкції реакторів: реактор фільтруючого шару, принципова схема котрого представлена на рис. 5 та камерний реактор з пасом для переміщення шару ТПВ, рис. 6.

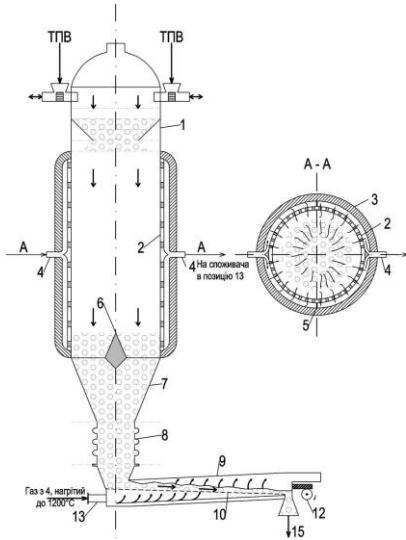


Рисунок 5 Схема реактору з потоком газу, що рухається в протилежному напрямку руху шару гранул та після реактору псевдозрідженим шаром на лотку.

1 – циліндричний корпус реактору з перфорацією у вигляді шпальтового сита – 2; 3 – зовнішній корпус реактору в зоні перфорації; 4 – штуцери впускання-випускання газу; 5 – перегородка, яка розділяє вхід та вихід газу; 6 – конус для запобігання утворення мостиків на виході маси гранул; 7 – конусна частина реактору; 8 – компенсатор; 9 – лоток; 10 – перфороване дно всередині лотка; 11 – вузол завантаження грануляту; 12 – кулачковий механізм; 13, 14 – штуцери впускання-випускання газу в лоток; 15 – вихід вуглецю та золи (кінцевий залишок).

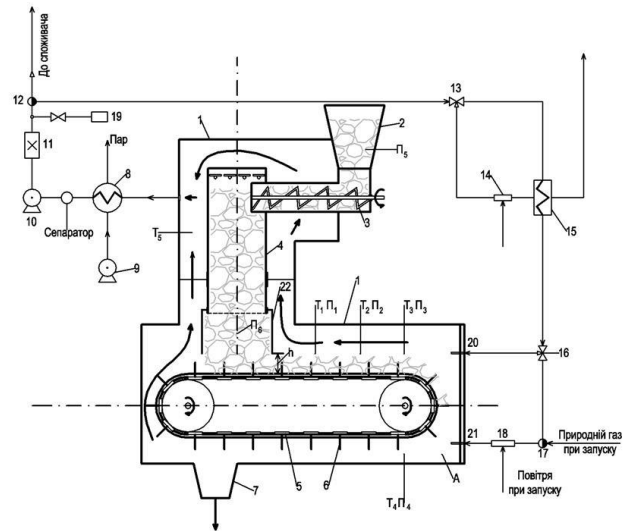


Рисунок 6 Установа для піролізу ТПВ

1 – корпус реактору, теплоізолюваний, 2 – бункер подрібнених відходів, 3 – дозувальний шнек з перемінним кроком гвинта, 4 – камера для подачі відходів на пластинчатий конвеєр, 5 – нескінченний пас з пластинами, 6 – пружні скребки, 7 – горловина для вивантаження золи, 8 – теплообмінник, 9 – водяний насос, 10 – газодувка, 11 – хроматограф, 12 – розподільчий вентиль, 13, 16 – трьохходовий вентиль, 14, 18 – змішувач газів піролізу та повітря, 15 – трубочний підігрівач газів піролізу до $T = 1200-1300^{\circ}\text{C}$ (нагрів пальником безпламеневого спалювання газу), 19 – ІЧ-газоаналізатор, 20, 21 – трубопроводи подачі піролізного газу, 22 – пристрій для регулювання h , T_{1-2} – місця вимірювання температури, Π_{1-6} – місця відбору проби матеріалу, А – площина нижньої частини камери.

Перший тип реактору потребує живлення гранульованим матеріалом, другий – ТПВ, з яких видалені фракції більше 0,10 м, тобто подрібнених «хвостів сортування» (фракції менші 0,10 м).

В розділі, з точки зору сучасних поглядів, проаналізовано моделі руху шару матеріалу та газової фази в реакторі, і вплив цих факторів на продуктивність та час перебування у відповідних зонах реакторів.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що конструктивні розміри реактору фільтруючого шару, його гідродинамічні характеристики та умови переносу тепла в шарі матеріалу визначаються розмірами гранул початкового матеріалу, які поступають в реактор. Встановлено, що для кожного розміру гранул з відхиленням не більшим 20% від зафіксованого існують мінімально допустимі співвідношення між їх розміром і розмірами перерізу шахтної частини реактору. При заданих швидкості нагріву гранул (V_n) до необхідної температури (T) та температури газу, що фільтрується через гранульований шар, (T_r) розміри гранул будуть визначати витрату реакційного газу (V_c), швидкість його фільтрування через шар (ω), опір шару (ΔP), величину тиску в реакторі. Все це обмежує продуктивність реактору.

Процес в реакторі другого типу практично не залежить від розміру часток хвостів ТПВ, що дозволяє надати їй перевагу.

Проведені дослідження процесу піролізу в представлених установках довели, що кінетичні залежності та механізми процесу в обох типах реакторів ідентичні. Відмінним є те, що в кінетичних рівняннях замість розміру гранул (r) фігурує висота шару (h) на пасі, яка впливає тільки на час, при якому руйнується структура шару. Цей параметр практично не впливає на обмеження, які визначені для реактору шахтного типу.

В розділі описано операції запуску реакторів та їх експлуатації. Наведено показники щодо експлуатації дослідних газифікаторів. Результати порівнювались з відомими показниками прототипів окислювального піролізу. Доведено, що ККД газифікації в дослідному зразку складає 92 % проти 69 % у прототипі, також доведено інші переваги процесу та конструкції. В розділі представлено розрахунок економічного ефекту від отримання електроенергії з горючого піролізного газу. Який показує, що в результаті вирішення актуальної екологічної проблеми можливе отримання значних фінансових засобів (приблизно 1,91 млн. грн), що робить даний метод переробки ТПВ ще більш привабливим.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі представлено перспективне рішення науково-технічної задачі комплексної переробки твердих побутових відходів (ТПВ) із використанням високотемпературної обробки та результати апробації рішення в промислових умовах.

Основні наукові та практичні результати роботи:

1. На основі проведеного аналітичного огляду наукової і патентної літератури виявлено основні напрямки та технології комплексної переробки ТПВ, а також обладнання для їх комплексної переробки. Із врахуванням економічних показників проведено аналіз відомих технологічних процесів. В результаті аналізу було встановлено, що найбільш перспективна технологія комплексної переробки ТПВ повинна базуватись на процесі класифікації ТПВ з метою виділення органічних (вуглецевмісних) фракцій (хвостів сортування) та подальшою деструкцією цих фракцій шляхом високотемпературної обробки - метод «сухого піролізу».

2. В результаті дослідження процесу класифікації ТПВ встановлено, що фракції більше 100 мм представляють вторинні матеріальні ресурси, які є сировиною для виробництва товарів народного споживання; фракції менше 100 мм представляють «хвости сортування» із 80-85 % вмістом органічних сполук. Експериментально встановлено, що вихід фракції менше 100 мм складає 50-55 % від всієї маси ТПВ.

3. Проведено спектроскопічні та термографічні дослідження «хвостів сортування», встановлено їх хімічний склад, визначено кількості летких компонентів, зольність, теплоту згорання, встановлено неоднорідність складу «хвостів сортування» та необхідність їх гомогенізації і брикетування перед подачею в реактор.

4. Рекомендоване обладнання для процесу гомогенізації і брикетування «хвостів сортування». Експериментально встановлено, що двошнековий реактор-змішувач дозволяє одночасно гомогенізувати суміш і отримувати брикети необхідних розмірів, які легко дозуються в реактор піролізу; встановлено, що при гомогенізації в реакторі-змішувачі такі компоненти як целюлоза, шкіра, текстиль активуються, в результаті їх деструкція спостерігається при температурах значно нижчих, ніж до процесу гомогенізації.

5. На основі термодинамічного аналізу та виявлених кінетичних закономірностей процесу високотемпературної обробки «хвостів сортування» ТПВ вперше встановлено механізм і основні послідовності хімічних реакцій; доведено, що для отримання газу заданого складу процес високотемпературної обробки необхідно проводити в неізотермічному реакторі в три стадії, послідовно підвищуючи температуру від 150°C до 600°C, а потім до 1700°C.

6. Розроблено математичну модель процесу піролізу, адекватність якої підтверджено експериментальними результатами.

7. Науково обґрунтовано і розроблено конструкцію реактора високотемпературного піролізу гранульованих та не гранульованих «хвостів» ТПВ у відновлювальній атмосфері в присутності парів води та каталізатора, що дозволяє створити безвідходну апаратурно-технологічну схему переробки відходів ТПВ із отриманням газу, придатного для використання в газогенераторах. Результати роботи прийнято до впровадження підприємством «Альтфатер» (м. Чернівці) та використовується в навчальному процесі по кафедрі «Хімічної техніки та промислової екології» НТУ «ХПІ».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Михайлюк В.М. О возможности переработки органических твёрдых отходов методом высокоскоростного пролиза / Михайлюк В.М., Себко В.В., Шапоров В.П. // Східно-європейський журнал передових технологій – Харків: Технологічний центр, 2010. №6/6(48). – С 27-32.

Здобувачем розроблено математичну модель для визначення характеру зміни температури в шарі матеріалу, тривалості процесу і величин теплових потоків, які необхідно підвести до матеріалу, що обробляється.

2. Михайлюк В.М. Принципиальная схема реакторной установки для пиролиза твердых бытовых отходов в подвижном слое и экспериментально установленные особенности процесса / Шапоров В.П., Себко В.В., Михайлюк В.М. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. №2. – С 45-54.

Здобувачем виконано експериментальні дослідження і проведено аналіз результатів експерименту.

3. Михайлюк В.М. Одна из возможных конструкций реактора для реализации процесса высокотемпературного пиролиза органических отходов и реакторная схема на его основе / Михайлюк В.М., Себко В.В. Шапоров В.П. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011 №12. – С 138-145.

Здобувачем виконаний кількісний аналіз впливу розміру гранул (брикетів) матеріалу, що поступає в реактор, на умови теплопередачі та продуктивність реактору. Встановлено емпіричні співвідношення між параметрами, що визначають вказані характеристики.

4. Пат. України №53597 МПК С09F 9/00 Спосіб одержання комплексного органічно-мінерального добрива / Харченко А.М., Шапорев В.П., Зінченко М.Г., Михайлюк В.М. № у 201004628; заяв. 19.04.2010. Опубл. 11.10.2010 Б№19.

Здобувачем запропоновано технологічну схему підготовки твердих побутових відходів та осадів стічних вод перед введенням їх в процес отримання добрива, суть якого визначається в необхідності їх подрібнення та механічної активації, а також запропонував для виконання цієї операції двошнекові реактори-змішувачі.

5. Пат. №56370 Україна МПК А01С 3/02 Спосіб переробки твердих побутових відходів / Данилов Ю.Б., Шапорев В.П., Михайлюк В.М. - № у 201008352, заяв. 05.07.2010. Опубл. 10.11.2011 Б№1.

Здобувачем запропоновано «хвости сортування» твердих побутових відходів перед депонуванням на полігоні піддавати механічній активації.

Анотації

Михайлюк В.М. Механізм і кінетичні закономірності процесу переробки твердих органічних відходів методом високотемпературного піролізу . – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2011.

В роботі досліджено процеси класифікації та сортування твердих побутових відходів (ТПВ) з виділенням і підготовкою фракції, придатної для «сухого піролізу», а також механізм та кінетику процесу високотемпературної обробки виділеної фракції, моделювання процесу та створення на цій основі перспективної конструкції реактору піролізу. Доведено, що «хвости сортування» (тобто маса, що не утилізується як продуктивна фракція) на 88 % складаються з органічних компонентів, при цьому вологість фракції складає 50 %. Такий склад фракції дозволяє вважати її перспективною сировиною для отримання теплової енергії або біогазу. Склад «хвостів сортування» та їх теплота згорання Q свідчать про те, що отриманий після хіміко-механічної обробки гранулят може бути використаний як ефективне паливо. Мікроскопічний аналіз довів, що брикети представляють собою повністю гомогенізовану масу, яка складається з однорідних часток розміром 5×10^{-5} м (~50 мкм). В процесі хімічної обробки отриманий гранулят проходить три послідовні стадії: видалення води (сушки), видалення (сублімації) летких вуглеводневих сполук і термічної деструкції коксового залишку. Це дозволило науково обґрунтувати вибір типу реактору та моделювання відповідних процесів на кожній стадії. Адекватність розробленої математичної моделі високотемпературної обробки при послідовній термічній деструкції підтверджено експериментальними результатами.

На основі проведених досліджень розроблено конструкцію реактора шахтного типу для термічної деструкції гранульованих «хвостів» ТПВ у відновній атмосфері в присутності парів води та каталізатора, що дозволяє створити безвідходну апаратурно-технологічну схему переробки відходів ТПВ із отриманням газу, придатного для використання в газогенераторах.

Проведено дослідно-промислові випробування перспективної конструкції відповідного реактора та підтверджено їх проектні показники.

Ключові слова: переробка твердих вуглецевмісних відходів, високотемпературний піроліз, кінетика, тепло- та масообмін, реактор шахтного типу.

Михайлюк В.М. Механизм и кинетические закономерности процесса переработки органических отходов методом высокотемпературного пиролиза. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2011.

В работе исследованы процессы классификации и сортировки твердых бытовых отходов (ТБО) с выделением и подготовкой фракции, пригодной для «сухого пиролиза», а также механизм и кинетика процесса высокотемпературной обработки выделенной фракции, моделирование процесса и создание на этой основе перспективной конструкции реактора. Доказано, что «хвосты сортировки» (то есть масса, не утилизируемая как продуктивная фракция) на 88 % состоят из органических компонентов, при этом влажность фракции составляет 50 %. Такой состав фракции позволяет считать её перспективным сырьем для получения тепловой энергии или биогаза. Микроскопический анализ показал, что гранулят представляет собой полностью гомогенизированную массу, состоящую из однородных частиц размером 5×10^{-5} м (~50 мкм). В процессе химической обработки полученный гранулят проходит три последовательные стадии: извлечения воды (сушки), извлечения (сублимации) летучих углеродсодержащих соединений и термической деструкции коксового остатка. Это дало возможность научно обосновать выбор типа реактора и моделированию соответствующих процессов на каждой стадии. Адекватность разработанной математической модели процесса высокотемпературной обработки методом «сухого пиролиза» при последовательной деструкции подтверждена экспериментальными результатами.

На основе проведённых исследований разработана конструкция реактора шахтного типа для высокотемпературной обработки гранулированных «хвостов» ТБО в восстановительной атмосфере в присутствии паров воды и катализатора, что позволило создать безотходную аппаратно-технологическую схему переработки отходов ТБО с получением газа, пригодного для использования в газогенераторах. Проведены исследовательско-промышленные испытания перспективной конструкции реактора и подтверждены их проектные показатели.

Ключевые слова: переработка твёрдых углеродсодержащих отходов, высокотемпературный пиролиз, кинетика, тепло- и массообмен, реактор шахтного типа.

Mykhailiuk V.M. Mechanism and kinetic regularities of the process of solid organic waste by high temperature pyrolysis. – Manuscript.

Dissertation on the competition of scientific degree of candidate of engineering's sciences on speciality 05.17.08. – are processes and equipment of chemical technology. – National technical university the "Kharkov polytechnic institute", Kharkov, 2011.

At the work are researched processes of classification and sorting of communal solid wastes for extraction and preparing the fraction, useful for decomposing by high temperature utilization "dry pyrolysis", also the mechanism and kinetics of the process and working out the mathematics model for creating a perspective construction of "dry pyrolysis" reactor. Well-proven, that tails of sorting (unutilized fraction) includes 88 % of organic components and humidity of fraction is 50 %. It makes

possibility to use wastes as material for receive thermal energy or biogas. Consisting of “tails of sorting” and it’s term of burning improve, that granulate may be use as an effective fuel. Microscopic analyses improved, that granulate is full homogeneous mass and consists of homogeneous fraction 5×10^{-5} m. Granulate, that receives in a process of chemical treatment by three consistent stages: excretion of water, excretion of volatile hydrocarbon connections and thermal destruction of coke remain. It makes possibility to choose type of reactor and model processes according to every stage. Adequate of worked out mathematical model of high temperature process during the consistent stage destruction is well-proven by experimental results.

On a base of held researches it’s created construction of high temperature reactor for pirolysis of granulated tails of sorting in presence of water stream and catalyst, which makes possibility to create waste less apparatus-technology plane of solid wastes utilization and receive gas for use as effective fuel. It’s held research-industrial testing’s of perspective construction of high temperature process reactor and well-proven the project indexes.

Key words: solid coke wastes utilization, high temperature process, kinetic, term- and mass processes, mine type of reactor.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'B. J.' with a stylized flourish at the end.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.9. Тир. 100 прим. Зам. № 092-12.
Підписано до друку 13.03.12. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у СПД ФО Бровін О.В.
61022, м. Харків, майдан Свободи, 7, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК № 3587 від 23.09.09 р.



СТИЛЬ·
ИЗДАТ
ТИПОГРАФІЯ