

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 658.567

I 66

*С.С. Рижков, д-р техн. наук, проф.; Л.М. Маркіна, канд. техн. наук, доц.;*

*М.В. Рудюк, старш. наук. співроб.*

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

## **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ З ОТРИМАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ БАГАТОКОНТУРНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ПІРОЛІЗУ**

Розроблена технологія багатоконтурного циркуляційного піролізу, яка забезпечує екологічно безпечну утилізацію всього об'єму твердих побутових відходів міста, в тому числі і медичних відходів, з одержанням цінних вихідних продуктів: рідкого палива легких фракцій та електроенергії.

Разработана технология многоконтурного циркуляционного пиролиза, которая обеспечивает экологически безопасную утилизацию всего объема твердых бытовых отходов города, в том числе и медицинских отходов, с получением ценных выходных продуктов: жидкого топлива легких фракций и электроэнергии.

The technology multicontour circulating pyrolysis, which provides environmentally safe disposal of the total volume of solid waste of the city, including medical waste, obtaining valuable output products: liquid fuel lighter fractions and electricity.

*Ключові слова:* тверді побутові відходи, високомолекулярні органічні відходи, багатоконтурний циркуляційний піроліз, альтернативне паливо.

**Постановка проблеми.** Проблема утилізації твердих побутових відходів (ТПВ) дуже гострою є для великих та малих міст України, в тому числі для Миколаєва. Критична ситуація з накопиченням міських відходів потребує прийняття обміркованих технічних та економічно обґрунтованих рішень з урахуванням фінансових можливостей. Консультанти та експерти за завданням міського керівництва підбирають та оцінюють сучасні зарубіжні технології, які зможуть забезпечити утилізацію ТПВ в екологічно безпечному режимі, а керівництво областей займається залученням інвестицій для будівництва.

Найбільш поширеною пропозицією іноземних інвесторів є будівництво сміттєспалювальних заводів, які працюють в екологічно безпечному режимі за рахунок використання надскладної схеми очисних споруд. Слід відмітити, що останнім часом законодавством багатьох держав заборонено будівництво заводів за технологією спалювання. Оскільки обладнання таких заводів виготовлялося багато років, то інвестори готові надавати вигідні кредити на закупівлю та встановлення обладнання. Слід звернути увагу на наступне: до 80 % капітальних затрат складають витрати на обладнання з очищення димових газів, яке необхідно замі-

нювати та модернізувати кожні три-п'ять років. Отже, міська влада, яка вирішить побудувати сміттєспалювальний завод, регулярно буде вишукувати фінансові резерви для підтримки забезпечення екологічної безпеки працюючого заводу, користуючись наступними кредитами, що стане великим тягарем для міського бюджету.

**Мета дослідження** – розробити екологічно безпечну технологію утилізації органічних відходів з отриманням альтернативного палива та впровадити її в містах України.

**Викладення основного матеріалу.** Створення та дослідження інноваційної технології утилізації органічних відходів з отриманням якісного альтернативного палива на основі багатоконтурного циркуляційного піролізу зводяться до вирішення наступних завдань: розроблення екологічно безпечної утилізації всього набору органічних відходів за єдиною технологією; отримання якісних вихідних продуктів, що в подальшому можуть використовуватися як альтернативне паливо.

Провідними фахівцями Національного університету кораблебудування (НУК) розробляється ряд нових екологічно безпечних технологій, в основі яких лежить багатоконтурний циркуляційний піроліз (БЦП). Інноваційна екологічно безпечна технологія представлена керівництву міста Миколаєва та області. Таким чином, Миколаїв може стати провідним містом в освоєнні новітніх технологій у галузі утилізації твердих побутових відходів.

Спеціалізованим конструкторським бюро Науково-дослідного інституту екології і енергозбереження НУК розробляється конструкторська документація на піролізний модуль для утилізації відсортованих сухих високомолекулярних відходів з одержанням альтернативного палива (потужність за відходами 10...24 т/добу) та блок газогенератора для газифікації гарячого пірокарбону в суміші з вологою частиною ТПВ (потужність 5...20 т/добу), в тому числі і харчових відходів при попередній обробці їх у газогенераторі, з одержанням безсмольного генераторного газу. Завод може формуватись із модулів на різну потужність.

Запропонована технологія є унікальною в частині того, що вона забезпечує керування глибиною термічної деструкції всієї суміші високомолекулярних токсичних компонентів, які переходять у розряд менш токсичних, при зменшенні їх молекулярної маси, що не потребує глибокого очищення димових газів, при цьому одержані вихідні продукти задовольняють усі екологічні вимоги. Дана технологія при найглибшому ступені розкладання не передбачає використання проміжних каталізаторів, чим істотно відрізняється від інших аналогічних технологій, а капітальні витрати на будівництво заводу в десятки разів менші від зарубіжних аналогів, при цьому експлуатаційні витрати в сотні разів менші, оскільки відсутні дорогі каталізатори для очищення димових газів [1–4].

Технологія багатоконтурного циркуляційного піролізу у сполученні з газогенерацією забезпечує [4]:

екологічну безпеку за рахунок глибокого термічного розкладання небезпечних високомолекулярних компонентів ТПВ без доступу кисню повітря;

безвідхідне виробництво при утилізації ТПВ за технологією БЦП разом з газогенерацією вологих відходів, за яким отримуються: рідке паливо легких фракцій,

піролізний газ, технічний вуглець, безсмольний генераторний газ, утилізаційне тепло та металобрухт;

мінімальні енерговитрати за рахунок безпосереднього контакту відходів з теплоносієм – синтез-газом при нагріванні холодних відходів ТПВ у процесі піролізу, а також використання власного піролізного газу для підтримки теплового режиму реактора піролізу;

універсальність технології, яка дозволяє утилізувати всю суміш високомолекулярних органічних відходів у єдиному потоці;

селективне керування глибиною розкладання високомолекулярних органічних відходів у єдиному потоці з одержанням на виході рідкого палива заданої фракції, що не вимагає наступного розгону. Крім того, БЦП дозволяє оперативно керувати глибиною розкладання, що дозволяє на виході одержувати рідке паливо із заданими характеристиками, наприклад дизельне паливо;

одержання на виході цінних кінцевих продуктів, що забезпечує комерціалізацію даного проекту, наприклад з однієї тонни полімерних відходів можна одержати до 80...93 % рідкого палива легких фракцій;

вирішення актуального як для України, так і для будь-якої іншої країни, питання зниження забруднення навколишнього середовища.

Переваги інноваційної технології екологічно безпечної утилізації відходів БЦП у порівнянні з технологією "TERMOSELECT" наведено в таблиці.

Структурна побудова "Блока термічного розкладання органічних твердих побутових відходів" (Блока) забезпечує наступні функціональні завдання:

1. Безперервний процес подачі органічних ТПВ та їх безвідхідне термічне розкладання з одержанням на виході товарної продукції у вигляді рідкого палива, синтез-газу і технічного вуглецю.

2. Максимальний ККД у процесі нагрівання органічних ТПВ у Блоці піролізу при безпосередньому контакті теплоносія з холодними відходами. Як теплоносієм використовується гарячий синтез-газ, одержуваний на додатковому газогенераторному блоці зворотної дії, що працює на сировині у вигляді порізаних на шматки зношених автомобільних шин.

3. Глибоке термічне розкладання важких фракцій рідких компонентів синтез-газу з використанням циклонної циркуляційної системи з одержанням на виході піролізного блоку рідкого палива легких фракцій, порівнянного за характеристиками з дизельним паливом.

4. Збагачення в піролізному блоці синтез-газу, який виходить з газогенераторного блоку, у частині збільшення його теплотворної здатності в суміші з піролізним газом.

5. Глибоке термічне розкладання в піролізному блоці органічних відходів, що перетворюються в парогазову суміш, яка містить високомолекулярні компоненти, з використанням багатоконтурної циркуляційної системи піролізу, з одержанням на виході рідкого палива легких фракцій, порівнянного за характеристиками з дизельним паливом.

6. Замкнутий цикл повного розкладання вихідного з піролізного блоку пірокарбону разом з автошинами в газогенераторному блоці.

**Порівняльна характеристика технологій термічної утилізації твердих побутових відходів методами "БЦП + ГГ" і "TERMOSELECT"**

Найменування параметрів	БЦП	БЦП + ГГ (газифікація)	TERMOSELECT (піроліз, поєднаний з газогенерацією)
1. Відходи, які утилізуються	Відсортовані сухі органічні відходи (полімери всіх видів, гума, папір, картон, текстиль та ін.)	Вологі органічні відходи (харчові відходи)	Несортовані тверді побутові відходи
2. Потужність за обсягом відходів, які утилізуються	1) Модуль 24 т/добу 2) Заводи 100 т/добу 3) Заводи 300 т/добу (160 т/добу на БЦП і 140 т/добу на ГГ)	1) Модуль 10 т/добу 2) Блок модулів 140 т/добу	Модуль 274 т/добу
3. Займана площа	1) 1,5 га 2) 2,5 га 3) 3 га (без лінії сортування)		3 га
4. Габарити модуля (без транспортера подачі сировини)	Довжина 10,5 м Ширина 5,5 м Висота 7 м	Довжина 2 м Ширина 2 м Висота 4 м	–
5. Вихідні продукти	60...75 % – рідке паливо (дизельне паливо); 10...20 % – конденсат води; 15...20 % – піролізний газ (використовується для власних потреб з метою підтримання робочої температури реактора)	1) 20000 м <sup>3</sup> – безсмольний генераторний газ; 2) 600000 м <sup>3</sup> – безсмольний генераторний газ	синтез-газ; силікатні гранули; гранули чорного металу; сірка; технічна сода; цинкова паста
6. Відходи виробництва	10...20 % – конденсат води; 2...15 % – пірокарбон з температурою 450...550 °С, який надходить до газогенератора	15...25 % – зола, яка використовується в будівельній промисловості	40 % – зола, шлаки та токсичні фільтрати
7. Вартість заводу (продуктивність 100000 т/рік)	45 млн ум. од. (без вартості сортувальної лінії)		91 млн ум. од.
8. Експлуатаційні витрати	1,2 млн ум. од.		10,8 млн ум. од. з урахуванням очисних споруд
9. Строк окупності	1,5–2,5 роки		5–8 років
10. Екологічна безпека	Відповідає європейським стандартам		

До сучасних технологічних процесів термічної утилізації органічної частини побутових відходів ставляться тверді вимоги щодо забезпечення екологічної безпеки. Відомо, що токсичні речовини в основному складаються з високомолекулярних компонентів і чим вищою є токсичність, тим більша молекулярна маса складових компонентів даної речовини. Використання технології БЦП забезпечує глибоке розкладання високомолекулярних компонентів ТПВ, відповідно зі зниженням молекулярної маси складових компонентів токсичність вихідних продуктів і викидів різко знижується.

Крім того, будь-який термічний процес знищення органічних відходів (спалювання або піроліз без доступу кисню) у більшій або меншій мірі супроводжується утворенням небезпечних для здоров'я людини й навколишнього середовища діоксинів і фуранів. Однак з урахуванням того, що БЦП відбувається в герметичному реакторі без доступу кисню повітря, зазначених небезпечних речовин утвориться мінімальна кількість. А з огляду на те, що діоксини й фурани розкладаються при температурі 800 °С, даний принцип зниження токсичності використаний у пропонуваній технології, яка передбачає допалювання піролізного газу в газоспалювальному блоці при температурі 1100...1200 °С, що виключає викиди діоксинів і фуранів у навколишнє середовище. Тепло димових газів від газоспалювального блока використовується для підтримки температурного режиму реактора піролізу.

### Технічні показники піролізного модуля (рис. 1)

Продуктивність Модуля МЦПВ-24 за сировиною (ТПВ)	10...24 т/добу
Вологість вхідних ТПВ	12...35 %
Кількість вихідних продуктів для 24 т/добу:	
рідкого палива	8...15 %
піролізного газу	15...35 %
пірокарбону	25...46 %
конденсату	12...35 %
Робоча температура реактора	600 °С
Робочий тиск у реакторі	не менше 0,1 кг/см <sup>2</sup>
Максимальний тиск у реакторі	не більше 0,5 кг/см <sup>2</sup>
Випробний тиск герметичного устаткування	1,25 кг/см <sup>2</sup>
Робочий тиск газу в газгольдері	не більше 18 кг/см <sup>2</sup>
Режим роботи Модуля МЦПВ-24	безперервний
Установлена електрична потужність	150...200 кВт
Теплова потужність газових пальників	400...1000 кВт
Кількість споживаного піролізного газу одним газовим пальником	35...60 м <sup>3</sup> /год
Кількість контурів БЦП	3 од.
Охолодження:	
1-го контуру	повітряне
температура контуру	350±50 °С
2-го контуру	повітряне
температура контуру	250±50 °С
3-го контуру	водяне
температура контуру	150±50 °С

максимальна температура води на виході	80 °С
охладження вихідного конденсатора	водяне
охладження вхідного патрубку завантаження	водяне
охладження виступних валів шнеків	водяне
охладження компресора (1ГТ6, 3-5/5-18СУ2)	
піролізного газу	водяне
Кількість оборотної води	10...25 м <sup>3</sup> /год
Температура охолоджувальної води:	
на вході	не більше 35 °С
на виході системи охолодження оборотної води	не більше 50 °С
Автоматизоване керування та контроль	із центрального пульта керування
Оперативне керування окремими блоками	із пультів керування безпосередньо на блоках
Габаритні розміри Модуля МЦПВ-24 (варіант 1):	
довжина	18 м
ширина	6 м
висота	13 м
Габаритні розміри Модуля МЦПВ-24 (варіант 2):	
довжина	11 м
ширина	5,5 м
висота	7 м
Маса	65 т
Продуктивність газогенератора ГГ-20 за вхідною сировиною (при вологості сировини 40...65 %)	830 кг/год
Кількість вихідних продуктів ГГ:	
генераторного газу	35...60 %
твердого залишку	14...30 %
Режим роботи ГГ	безперервний
Установлена електрична потужність ГГ	25 кВт
Характеристика сировини	
для ГГ:	порізані автошини (розмір шматків 100×100×50 мм) дроблена деревина (розмір шматочків 10×10×5 мм) подрібнені відходи сільського господарства лігнін відходи свинарства та харчові відходи
Габаритні розміри ГГ:	
довжина	4,7 м
ширина	2,5 м
висота	3,8 м
Маса ГГ	5 т

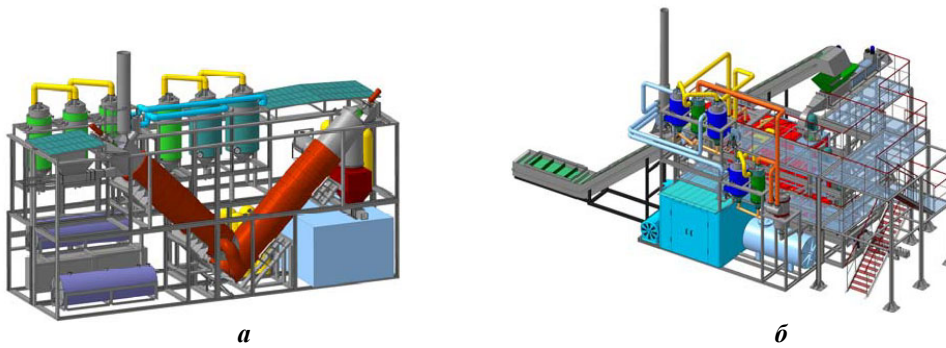


Рис. 1. Комплекс утилізації твердих побутових відходів за технологією БЦП з одержанням рідкого палива:  
*a* – варіант 1; *б* – варіант 2

До останнього часу не існувало ефективної технології утилізації вологої частини твердих побутових відходів. Конструкторським бюро розроблено спеціальну технологію газифікації вологих побутових відходів разом з гарячим твердим залишком (пірокарбоном), який видаляється з піролізного Модуля. Розробляється нова конструкція двозонного газогенератора, в якій вологі відходи будуть піддаватися попередній вогневій обробці, що інтенсивно зменшує їх вологість при обвуглюванні, це сприяє стабільному загорянню відходів по всій площі газогенератора і відповідно утворенню безсмольного генераторного газу, який може використовуватися в дизельних або газотурбінних електростанціях.

Розробки новітньої екологічно безпечної технології та обладнання для термічної утилізації інфікованих медичних шприців, які будуть впроваджуватись Національним університетом кораблебудування разом з Інститутом геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України є перспективними та актуальними для медичних установ України.

Екологічно чиста утилізація інфікованих шприців на місцях їх накопичення зменшить вірогідність розповсюдження таких інфекційних захворювань, як гепатит, СНІД та ін.

Розробка та впровадження технології утилізації відпрацьованих шприців і виділення фінансування для даної тематики є актуальними і своєчасними. У перспективі необхідно забезпечити постійну фінансову підтримку даних робіт.

Універсальна піролізна установка медичних відходів УПУ/МІО-130 "PIONEER" спроектована для утилізації медичних відходів класів А, Б, В. Вона працює за принципом термічного розкладання високомолекулярних органічних відходів, у тому числі інфікованих шприців, при температурі 600 °С. При цьому багатоконтурна циркуляційна система забезпечує глибоке термічне розкладання високомолекулярних токсичних компонентів з одержанням на виході безпечних низькомолекулярних вихідних продуктів (піролізного газу, рідкого палива та твердого залишку – пірокарбону). Піролізний газ та рідке паливо спалюються в пальниках установки при температурі 1000...1200 °С, а одержане тепло використовується для підтримки робочої температури в реакторі установки. Твердий зали-

шок складається із технічного вуглецю та залізних голок від шприців, які пройшли термічну обробку, є безпечними та можуть утилізуватися за традиційними схемами.

Процес БЦП забезпечує нейтралізацію токсичних хімічних речовин і патогенних бактерій та вірусів за рахунок багаторазової циркуляції високомолекулярних компонентів парогазової суміші (від одного до ста й більше циклів) між реактором з температурою 600 °С та контурами при періодичному їхньому нагріванні й охолодженні до повного переходу в розряд безпечних низькомолекулярних компонентів.

### Технічні параметри установки "PIONEER"

Об'єм реактора*	130 дм <sup>3</sup>
Кількість відходів, що переробляються*	до 15 кг/год
Режим завантаження	циклічний
Час розігріву до робочої температури*	не більше 60 хв
Первинне джерело теплової енергії	зовнішнє паливо
Витрата палива на один пальник для запуску установки (за- лежно від властивостей відходів):	
дизельне	2,6...5,2 кг/год
природний газ	2,4...6,0 м <sup>3</sup> /год
Витрата електроенергії	не більше 1,5 кВт-год
Напруга	380 В
Вага установки (без тари)	1500 кг
Габаритні розміри орієнтовно*	1,3×1,0×2,2 м
Рівень шуму	не більше 70 дБ
Робочий тиск у реакторі	не більше 0,2 кг/см <sup>2</sup>
Обслуговуючий персонал, оператор	1 чол. на зміну
Відсоток виходу рідкого палива з корпусів шприців	0,70...0,85
Кількість хлоровмісних компонентів у відходах за масою	не більше 2 %

\* Розрахункові параметри свідомо взяті із запасом і будуть уточнені в процесі попередніх випробувань установки.

Установка конструктивно оформлена в прямокутному корпусі з подвійними дверима, розташованими в передній частині та з правого боку (рис. 2). Реактор піролізний, виконаний з жаростійкої сталі у вигляді циліндра, що розташований усередині корпусу, з герметично встановленою на ньому кришкою, яка закріплена відкидними болтами й гайками з баранчиками для зручності закручування. Навколо реактора сформований димохід із зигзагоподібним рухом димових газів і виходом їх у задній частині установки, реактор та димохід оснащені високотемпературною теплоізоляцією. У нижній частині реактора знаходиться топковий пристрій з рідинним пальником, який працює на рідкому паливі, та пальником для спалювання піролізного газу. Із правої сторони реактора виконано два фланцевих приєднання для герметичної установки багатоконтурної циркуляційної системи. Вивантаження реактора виконується при знятій кришці з наступним підйомом з реак-



тора кошика із твердими залишками після розкладання органічних відходів або голок, які пройшли термообробку.

Багатоконтурна циркуляційна система виконана із комбінованого охолоджувача з повітряно-водяним охолодженням, який виконує функції трьохконтурного охолоджувача, що забезпечує його мінімальні габарити. Верхня частина комбінованого охолоджувача з'єднана з вихідним конденсатором, охолоджуваним водою, який забезпечує розділення рідкого палива та піролізного газу. Вихідний конденсатор є проміжною ємністю для рідкого палива і піролізного газу, що подається на пальник спалювання через вентиль на конденсаторі, полум'ягасник та вентиль на топковому пристрої. При заповненні конденсатора рідким паливом до рівня 3/4 від його висоти паливо необхідно злити або відкачати насосом у додатковий резервуар.

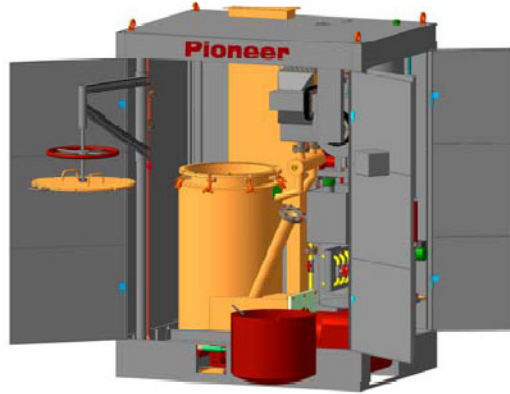


Рис. 2. Установка  
УПУ/МІО-130 "PIONEER"

Піролізний газ спалюється в пальнику при температурі 1000...1200 °С. Нагріте повітря від вентилятора повітряного охолодження комбінованого охолоджувача надходить у димохід через ежекторний насос, що забезпечує необхідну тягу димових газів.

Завантаження сировини в реактор забезпечується при знятій кришці реактора за допомогою установаження в реактор кошика, заповненого медичними відходами. Оскільки висота кошика не дозволяє повністю заповнити реактор, то надалі необхідно довантажити реактор безпосередньо зверху кошика.

Система захисту від перевищення тиску в реакторі забезпечується підривним клапаном, установленим на вихідному конденсаторі з відрегульованим тиском спрацьовування 0,45 кг/см<sup>2</sup>. Зверху клапана повинен бути встановлений зонтик, який забезпечує видалення забрудненого повітря після спрацьовування клапана та відведення його в топковий пристрій для спалювання.

**Висновок.** Розроблена технологія БЦП може забезпечити екологічно безпечну утилізацію всього об'єму ТПВ міста, в тому числі і медичних відходів, з одержанням цінних вихідних продуктів: рідкого палива легких фракцій та електроенергії. Згідно з техніко-економічними розрахунками, термін окупності заводу потужністю 100 тис. т/рік буде складати 1,5–2,5 роки в залежності від енергетичних показників ТПВ.

**Список використаної літератури.** 1. Маркіна Л.М. Моделювання й розрахунок елементів технології багатоконтурного циркуляційного піролізу високомолекулярних органічних відходів // Екотехнології і ресурсозбереження. – 2006. – № 4. – С. 71–76. 2. Маркіна Л.М. Модельні дослідження переробки органічних відходів методом багатоконтурного піролізу з отриманням альтернативного палива // Зб. наук. праць НУК. – 2008. – № 4. – С. 101–109. 3. Патент на корисну модель № 50430 Кл. F23G5/027C10G1/00. Установа для безперервної утилізації полімерних відходів / Л.М. Маркіна, С.С. Рижков, М.В. Рудюк, Ю.І. Гіржєв. – 2010. – Бюл. № 11. – 5 с. 4. Рижков С.С., Маркіна Л.М. Експериментальні дослідження утилізації органічних відходів методом багатоконтурного циркуляційного піролізу // Зб. наук. праць НУК. – 2007. – № 5. – С. 100–106.

Надійшла до редколегії 30.03.10

Статтю рекомендує до друку д-р техн. наук,  
проф. А.П. Шевцов