

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Промислове та цивільне будівництво

(назва факультету)

Хімії та інженерної екології

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

Бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Аналіз термічних методів переробки побутових відходів_____

за освітньою програмою «Екологія»_____

зі спеціальності: 101 Екологія

(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ЕО 1811

Керівник:

(підпис студента)

/ Віктор ЯРОШЕНКО /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

/
/к.т.н., доцент Лідія ТАРАСОВА
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Вибір оптимальної технології
термічної переробки ТПВ

(назва розділу)

(підпис)

/ д.т.н., професор
Юлія ЗЕЛЕНЬКО /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(назва розділу)

(підпис)

/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2022

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Industrial and civil construction

(faculty)

Chemistry and Engineering Ecology

(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis
Bachelor

(higher education degree)

on the topic: Analysis of thermal recycling methods for municipal waste _____

according to educational curriculum__ "Ecology" _____

in the Speciality: 101 "Ecology"

(speciality and its code)

Done by the student of the group: EO 1811 / Viktor Yaroshenko /
 (name, surname)

Scientific Supervisor: / Associate Professor
 Lidiya Tarasova/
 (position, name, surname)

Normative controller : / /
 (position, name, surname)

Supervisors

Selection of the optimal
 technology of thermal processing
 of solid waste

(Chapter title heading)

/ Professor Yuliia Zelenko /
 (position, name, surname)

(Chapter title heading)

/ /
 (position, name, surname)

(Chapter title heading)

/ /
 (position, name, surname)

(Chapter title heading)

/ /
 (position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Промислове та цивільне будівництво»

Кафедра: «Хімія та інженерна екологія»

Рівень вищої освіти: Бакалавр

Освітня програма: «Екологія»

Спеціальність: 101«Екологія»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Хімія та
інженерна екологія»

д-р техн. наук. професор

_____ **Юлія ЗЕЛЕНЬКО**
 (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

Бакалавр

(ступінь вищої освіти)

студенту Ярошенко Віктору Олександровичу

(Прізвище Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: «Аналіз термічних методів переробки побутових відходів»

Керівник роботи: доц. Тарасова Лідія Демидівна

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"16" 12 2021 р.

№ 93-ст

2. Строк подання студентом роботи: 15.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні. Методичні матеріали, літературні джерела за напрямком дослідження. Природоохоронна нормативно-правова база України та Європи. Результати наукових досліджень у сфері захисту навколишнього середовища.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Аналіз сучасного стану проблеми поводження з ТПВ; аналітичний огляд сучасного стану енергетичного використання твердих побутових відходів; вибір оптимальної технології термічної переробки ТПВ; розробка методів екологізації запропонованої технології термічної утилізації ТПВ; техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Графічна частина відсутня. Підготовка мультимедійної презентації обсягом до 15 слайдів які повною мірою відображають мету завдання

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Вибір оптимальної технології термічної переробки ТПВ	Зеленько Ю.В., зав. Кафедрою Хімії та інженерної екології	14.03.22	14.03.22

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення літературних джерел, що стосуються існуючих рішень теми, що розробляється, відпрацювання методик дослідження.	01.05.22	
2	Аналіз сучасного стану проблеми поводження з ТПВ.	10.05.22	
3	Аналітичний огляд сучасного стану енергетичного використання твердих побутових відходів	15.05.22	
4	Вибір оптимальної технології термічної переробки ТПВ	25.05.22	
5	Висновки, вступ	30.05.22	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	01.06.22	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	23.06.22	

Студент

(підпис)

Віктор ЯРОШЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Лідія ТАРАСОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Реферат

Дипломна робота виконана на 63 сторінках, містить 4 формули, 17 ілюстрацій, 9 таблиць, 56 використаних джерел.

Графічна частина відсутня.

Об'єкт дослідження – техніко-екологічні аспекти інноваційних методів термічної утилізації ТПВ.

Мета роботи – порівняння методів термічної утилізації ТПВ, визначення найраціональнішого з економічної та екологічної точки зору.

Методологія та методи дослідження - аналіз світового досвіду термічної утилізації ТПВ, визначення основних негативних факторів процесів спалювання ТПВ згідно з довідниками.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, УТИЛІЗАЦІЯ, РЕЦИКЛІНГ, СПАЛЮВАННЯ, ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДЕННЯ, ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ, МАРКЕТИНГОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

ЗМІСТ

	стор
СКОРОЧЕННЯ І ВИЗНАЧЕННЯ	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТПВ.....	11
1.1 Особливості сучасних підходів до переробки та утилізації ТПВ	12
1.2 Фактори, які впливають на неефективність традиційних методів поводження з відходами	13
1.3 Класифікація, склад та властивості твердих побутових відходів	22
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	25
2.1 Аналіз статистики утворення відходів у світі	29
2.2 Короткий опис основних методів переробки ТПВ	32
3 ПРИНЦИПИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ	55
3.1 Визначення схеми переробки твердих побутових відходів для міського округу міста Дніпро	60
3.2 Визначення оптимальної технології переробки твердих побутових відходів.	68
3.3. Підбір газоочисного обладнання	69
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ	71

СКОРОЧЕННЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

ТПВ -	тверді побутові відходи
ПЕТ -	поліетилентерефталат
ТЕС -	теплова електростанція
ВКР -	валкова колосникова решітка
РФ -	рукавний фільтр
ППР -	похило-перештовхуючі колосникові решітки
ЗПР -	зустрічно- перештовхуючі колосникові решітки
ЗПКР -	зворотньо-перештовхуючі колосникові решітки
ПХДД -	поліхлоровані дибензодіоксини
ПХДФ -	поліхлоровані дибензофурани
ТЕО -	техніко-економічне обґрунтування
<i>RDF</i> -	<i>refused derived fuel</i>

ВСТУП

Україна належить до числа індустріально-аграрних країн. Частка важкої промисловості складала, до недавнього часу, 60% валового внутрішнього доходу країни, що істотно вище, ніж в західноєвропейських країнах, де цей показник складає приблизно 35%. Саме підприємства важкої промисловості формують основне техногенне навантаження на навколишнє природне середовище. Значна частина промислових підприємств (понад 80%) розташована в містах та селищах міського типу. За статистикою до 90% газоподібних, рідких та твердих відходів утворюються в містах та біля 10 - у сільській місцевості.

Для багатьох міст України характерна складна екологічна обстановка, обумовлена наявністю і концентрацією підприємств чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії та нафтохімії, гірничодобувної промисловості, цементних заводів. У великих містах з інтенсивними транспортними потоками вміст у повітрі канцерогенних речовин типу бензпірену в 2-3 рази, а в центрах чорної металургії приблизно в 12 разів вищий, ніж в невеликих містах або сільській місцевості.

Другою не менш небезпечною екологічною проблемою міст є стан каналізаційного господарства та очистка стічних вод. Практично в усіх містах України каналізаційні системи потребують зміни або капітального ремонту. За даними Міністерства охорони навколишнього середовища України, споруди з очистки загальноміських стічних вод перенавантажені. Приблизно половина міських стічних вод скидаються у водні об'єкти недостатньо очищеними, із них біля 15% - взагалі без очищення. Без усякої очистки скидається до 70% промислових стічних вод.

Однією із складних екологічних проблем для більшості міст України є захоронення виробничих та побутових відходів, причому складність проблеми пропорційна чисельності населення та промислового потенціалу міста. В металургії та теплоенергетиці для складування відходів використовується до 40% території підприємства. Ландшафти, обумовлені наявністю кар'єрів,

розрізів та інших місць добування корисних копалин, а також місць складування промислових та побутових відходів формують зони техногенного спустошення, площа яких до кінця XX століття склала біля 8% від території України.

Якщо розглядати проблеми окремих регіонів, то Дніпровська область є однією з найбільш складною в екологічному плані територією. Над найбільшими містами області постійно нависає смог, що формується викидами потужних металургійних, трубопрокатних, коксохімічного, шинного та лакофарбових заводів, а також великих машинобудівних підприємств.

Підприємства скидають у р.Дніпро значний об'єм неочищених та недостатньо очищених стічних вод. Серйозні екологічні проблеми виникають у Дніпровській області, у зв'язку з утилізацією та складуванням відходів металургійного, шинного, коксохімічного та хімічного виробництв.

Але на сьогодні одна з найважливіших і найактуальніших серед проблем забруднення навколишнього середовища для нашої області є проблема накопичення твердих побутових відходів. Частина побутових відходів, протягом близько 25 років утилізувалось на сміттєспалювальному заводі, який на сьогоднішній день припинив своє існування, у зв'язку з тим, що викидав у атмосферне повітря сполуки хлору, фтору, формальдегіди та феноли у великих обсягах. Зараз майже все сміття вивозиться на місця видалення відходів і чекає своєї подальшої долі.

У кожному людському помешканні утворюється величезна кількість непотрібних матеріалів та виробів. Сміття утворюється і накопичується не лише у житлових приміщеннях, а й у офісах, адміністративних спорудах і тд. Із зростанням кількості міст та промислових підприємств постійно збільшується кількість відходів.

Спостерігаючи за щоденним накопиченням відходів, не може не лякати те, який потужний потік матеріалів усіх видів рухається лише в одному напрямку - від місця видобування ресурсів на смітник. Так само, як природні

екосистеми залежать від кругообігу речовин, так стійке існування технологічного суспільства, залежатиме від людської здатності і вміння рециклізувати максимум матеріалів і знешкоджувати залишок з мінімальним впливом на довкілля. У зв'язку з цим необхідно дослідити методи утилізації ТПВ, для визначення найдоцільнішого в екологічному та економічному аспекті.

Метою даної роботи є порівняння методів термічної утилізації ТПВ, визначення найраціональнішого з економічної та екологічної точки зору.

Для досягнення встановленої у роботі мети необхідно розв'язати такі завдання:

- провести аналіз сучасного стану проблеми поводження з ТПВ;
- зробити аналітичний огляд сучасного стану енергетичного використання твердих побутових відходів;
- обрати оптимальну технологію термічної переробки ТПВ.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З ТПВ

Діяльність людини зумовлює утворення твердих побутових відходів. Газоподібні і рідкі відходи швидко поглинаються навколишнім природним середовищем. Деякі тверді відходи накопичуються і розкладаються від десятків до сотень років. Місця складування ТПВ займають великі площі земель, які можливо було б використовувати у промислових або сільськогосподарських цілях [1].

Підвищення темпів економічного зростання на світовому ринку призводить до збільшення антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище та деградації еколого-економічної системи планети. На думку фахівців британського видання «*The Economist*», проблема поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) є однією з найактуальніших на сучасному етапі розвитку світової економіки. Нині, при світових темпах утворення ТПВ від 1-го до 3-ох кг на душу населення в день і недостатністю місць для їх захоронення та зберігання, виникає проблема їх утилізації, розв'язання якої потребує уваги вчених та практиків усього світу. Показовим є приклад загальновідомої баржі Munroe, яка протягом року дрейфувала у Тихому океані, намагаючись вивантажити сміття і повернулась додому ні з чим, як найкраща ілюстрація кризи звалищ. Таким чином, переробка та утилізація твердих побутових відходів (ТПВ) є однією з найактуальніших проблем високо урбанізованих територій в усьому світі. Особливо гостро дана проблема стоїть в Україні, оскільки відсутня практика сортування сміття в кінцевому випадку може призвести до екологічної катастрофи. Британська газета *Financial Times* у 2012 році опублікувала рейтинг найбрудніших міст Європи, за яким місту Києву було відведено перше місце. Укладачі рейтингу підраховали, що один киянин за рік виробляє у десять разів більше відходів, ніж важить сам. У цілому українці щороку виробляють близько 12 млн. тонн твердого сміття. Причому, за даними екологів, кількість відходів щороку продовжує невблаганно зростати. Проблема утилізації побутових відходів, як

і багато інших в Україні, з часом не просто не вирішується, а набуває дедалі більшої гостроти. Зростаючі темпи утворення відходів (за оцінками спеціалістів: у порівнянні з 2004 роком щорічні обсяги накопичення побутових відходів у населених пунктах зросли з 35 млн. до 50 млн. куб. м, а площа полігонів та звалищ для їх захоронення з 3 до 8 тис. га. При цьому, якщо у розвинених країнах переробляється більше половини ТПВ, в Україні лише 2-3%, що вимагає активного розв'язання цієї проблеми та розробки ефективної системи переробки та утилізації ТПВ [2].

Ще однією проблемою є зміна складу ТПВ, який все більше наближається до складу відходів розвинених країн. На думку фахівців Всеукраїнської екологічної ліги, серед проблем відходів однією з найгостріших є утилізація ПЕТ-тари, що встигла стати невід'ємним атрибутом сучасного життя. Для виробників це можливість зручного транспортування продуктів, відносна дешевизна такого пакування, а для споживачів – легкість тари та її зручність. Тому виробники продукції на сьогодні не бачать її альтернативи. Відходи полімерів складають близько 10-15% загального обсягу побутового сміття або близько 20 кг на рік на людину. А за інформацією фахівців, продукція у ПЕТ-тарі (пиво та інші напої, побутова хімія тощо) набуває все більшої популярності – цей сегмент щорічно зростає на 10-12%, тобто, кількість таких відходів з кожним роком буде лише збільшуватися. Все це посилює їх вплив на навколишнє середовище та вимагає розробки ефективних дій щодо вирішення цієї проблеми.

1.1 Особливості сучасних підходів до переробки та утилізації ТПВ

Дослідженню питань переробки, утилізації сміття та створенню ефективної системи поводження із відходами присвячені праці багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Найбільшого поширення набули питання впровадження інноваційних методів переробки відходів та підвищення мотивації суб'єктів господарювання до впровадження безвідходних технологій. Дані питання розкриваються у працях Г.А.

Білецької, О.О. Веклич, Г.П. Виговської, В.С. Міщенко. Так, у роботі Міщенко В.С., Виговської Г.П. [3] досліджуються питання організації належного знешкодження та зберігання небезпечних відходів і розвитку інфраструктури поводження з ними, забезпечення належного рівня акумуляції фінансових ресурсів, створення системи цільового резервування коштів на відповідні потреби та чіткої системи пріоритетів у фінансуванні згідно з ієрархією цілей державної політики, підвищення дієвості організаційно-економічного механізму поводження з відходами, оновлення його методологічного підґрунтя та диверсифікації інструментарію. Наукові доробки Веклич О.О. присвячені визначенню критерію ефективності функціонування механізму природокористування та природоохоронної діяльності, розробці рекомендацій щодо вдосконалення економічного інструментарію екологічного регулювання[4]. Проблема нагромадження твердих побутових відходів на території міст, наслідки цього явища проаналізовані у праці Білецької Г.А.

Пошуку сучасних інструментів формування ефективного механізму управління відходами, які б дозволили зменшити антропогенне навантаження на навколишнє середовище, присвячені роботи В. Базилевича, К. Борисенка, І. Вольчина, А. Гулого, В. Михайленка, А. Потапова та інших науковців.

Проте, нині недостатньо визначені напрями удосконалення системи переробки відходів, що робить актуальним та своєчасним дане дослідження. Отже, метою статті є визначення причин неефективності чинно в Україні системи управління відходами та пошук пріоритетних напрямів її удосконалення з урахуванням сучасних світових тенденцій.

1.2 Фактори, які впливають на неефективність традиційних методів поводження з відходами

Нині все більше науковців та практиків вважають однією з найбільш серйозних екологічних проблем України проблему утилізації і переробки різних відходів. Традиційні методи поводження із відходами (складування, захоронення, спалювання) виявилися неефективними, оскільки через забруднення підвищують антропогенне навантаження на довкілля. Отже, сучасні реалії викликають необхідність удосконалення сучасної системи управління побутовими відходами, яка б базувалася на принципах ресурсозбереження та екологічної безпеки.

Відходи – потужний стресовий чинник, який негативно впливає на довкілля й психіку людини, руйнуючи добробут в урбанізованому середовищі. Тверді побутові відходи (ТПВ) – це непридатні для подальшого використання харчові продукти і предмети побуту [1].

Сучасні реалії підтверджують, що антропогенне навантаження на довкілля, викликане збільшенням та недостатньою ефективністю переробки ТПВ, погіршує санітарно-епідеміологічну ситуацію в країні, викликає зміну клімату та підриває майбутнє нових поколінь. За оприлюдненими даними, площа звалищ і полігонів в Україні займає більшу територію, ніж площа об'єктів природного заповідного фонду України. Площа території заваленої в Україні сміттям становить 7% від усієї території нашої держави, а площа об'єктів природного заповідного фонду – близько 4,5%. Потужності значної кількості полігонів вже вичерпали свій ресурс, а самі сміттєзвалища стали фактором антропогенного забруднення довкілля. Кількість перевантажених сміттєзвалищ наразі складає 243 од. (6%), а 1187 од. (28%) – не відповідають нормам екологічної безпеки [5].

Кількість недіючих (закритих) полігонів та сміттєзвалищ становить 248 од., загальною площею понад 350 га. Щорічно з'являється близько 35 тис. несанкціонованих звалищ. При цьому 17% із наявних сміттєзвалищ є перевантаженими, а 20% не відповідають нормам екологічної безпеки. При

щорічному утворенні в Україні 50 млн м³ ТПВ потреба у будівництві нових сміттєпереробних заводів є надзвичайно актуальною.

Нині, тільки 7% ТПВ переробляється та утилізується, а інші потрапляють на сміттєзвалища. Середній тариф на розміщення ТПВ в Україні складає 31 грн/м³, що потребує перегляду існуючих цінових тарифів. На жаль, в Україні не створені економічні умови для будівництва нових сміттєпереробних заводів та сортувальних ліній. Проте, досвід Європейського товариства свідчить про збільшення кількості нових сміттєспалювальних заводів, що викликано директивою ЄС 2000/76/ЄС (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Кількість сміттєспалювальних заводів у країнах ЄС [6]

Країна	Кількість заводів	Середня потужність, т/год
Франція	128	15
Німеччина	73	36
Італія	51	14
Данія	34	17
Швейцарія	30	16
Англія	22	18
Бельгія	18	20
Нідерланди	11	61
Іспанія	10	25
Австрія	9	10
Чехія	3	39
Португалія	3	68
Угорщина	1	60
Люксембург	1	-
Польща	1	-

Галузь є дотаційною. Так у 2012 році дотації на розвиток і утримання санітарного очищення склали близько 182 млн. грн. Водночас якби в Україні перероблялося хоча б 50% відходів, додатковий дохід від реалізації вторинної сировини становив би 3,3 млрд. грн. В основному у містах України

застосовується планово-регулярна система збору побутових відходів: відходи збираються у металеві контейнери, які розташовані на спеціальних майданчиках у дворах житлових будинків. У сільській місцевості таким чином збирається лише 60% ТПВ, решта забруднює довкілля.

Після збору відходів застосовується один із наступних методів поводження з ТПВ:

- захоронення – метод утилізації, який полягає у розміщенні сміття на спеціально обладнаних для цього територіях в один або декілька ярусів;
- спалювання – утилізаційний метод знешкодження відходів через термальну обробку в спеціальних установках або на відкритій території з подальшим захоронення попелу;
- переробка – застосування технологій обробки ТПВ у такий спосіб, щоб отримати матеріал для повторного використання (вторинна сировина).

Утилізація відходів шляхом їх захоронення на полігонах є неприйнятною через екологічну небезпеку та комерційну непривабливість. На полігонах поховання в Україні щороку накопичується величезна кількість вторинної сировини: близько 2,5 млн. тонн паперу, 400 тис. тонн чорних, 25 тис. тонн кольорових металів, 400 тис. тонн пластмаси. Вартість цієї потенційної сировини становить близько 1 млрд. грн. Розкладаючись, сміття сприяє викиду в атмосферу метану та інших газів, що поглиблює проблему зміни клімату. Крім того, токсичні води, просочуючись крізь звалене сміття проникають у ґрунтові води, забруднюючи прилеглі території. Також значними проблемами є: довгий період перегнивання відходів після закриття полігону, несприятливий вплив на прилеглі до полігонів території в результаті розповсюдження запахів, неприглядного зовнішнього виду, транспортного потоку із сміттям тощо, труднощі із пошуком нових місць для розміщення полігонів. Стандарти Євросоюзу та норми Кіотського Протоколу диктують вимоги по зменшенню кількості полігонів та їх обсягів, заражені та медичні відходи вимагають утилізації в окремо виділених місцях. Під час спалювання

тонни твердих побутових відходів утворюється від 4 до 8 тис. куб. м газів, що містять оксиди азоту й сірки, хлороводень і поліхроматичні вуглеці, хлорбензоли й важкі метали, сполуки групи діоксинів. У стічних водах, окрім важких металів, є сульфати, нітрати й нітроти, нафтопродукти тощо [7].

Спалювання знищує матеріали, які можуть бути вторинною сировиною – потужним ресурсом у виробництві паперових виробів, черепиці, металів тощо. Європейські країни та США вже відмовилися від спалювання, визнаючи його більш небезпечним, ніж звичайне захоронення відходів.

Саме впровадження сучасних методів переробки твердих побутових відходів дозволило б ефективно вирішити проблему поводження з ТПВ. Основою даної системи є впровадження механізму роздільного збору, транспортування, переробки та утилізації ТПВ, а також зменшення їх шкідливого впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей. Так, наприклад, у США та країнах Західної Європи налагоджено роздільне збирання ТПВ, розроблено та використовується екологічно чиста технологія переробки ТПВ, завдяки якій утворюється електроенергія. Вченими Стенфордського науково-дослідного інституту виведено мікроби, хемоорганогенератрофи, здатні знищувати отруйні відходи. Мікроорганізми здатні руйнувати каучук, целюлозу, хітін, гутаперчу та інші речовини і використовувати їх як джерело енергії. Переважно на звалищі складається до 95% побутових відходів в Іспанії. У Польщі поширюється явище, яке називають "смітєвим туризмом": місцевій владі економічно вигідніше вивозити сміття до сусідніх країн, ніж виділяти кошти на свої сміттєзвалища. У Швеції, Німеччині та Канаді сміття утилізується переважно на сміттєспалювальних заводах. Також здійснюється вторинна переробка скла та паперу, виробництво біогазу, теплової та електроенергії з відходів.

Проблема неефективного поводження із ТПВ в Україні викликана рядом причин. По-перше, це довготривале ігнорування існування проблеми поводження з ТПВ з боку керівництва держави, недооцінка її складності, масштабів та специфіки. Наявні застарілі технології у цій галузі (близько 70%

наявного транспорту є зношеним) та відсутність відповідної державної підтримки та контролю з боку виконавчої влади не сприяють формуванню інвестиційно-привабливого середовища. Також заважають функціонуванню ефективної системи поводження з твердими побутовими відходами територіальна незбалансованість та недосконалість інфраструктури збирання, переробки та утилізації відходів як вторинної сировини в умовах зростання обсягів їх утворення та прогресуючого накопичення; недостатнє фінансове забезпечення заходів щодо поводження з відходами, фундаментальної та прикладної науки; відсутність сучасних методів та достатніх потужностей з перероблення та утилізації відходів тощо. Посилює зазначену проблему, відсутність ефективної державної екологічної політики на місцевому рівні та дієвих економічних методів державного регулювання даної сфери. Це призводить до недосконалості тарифної політики у сфері збору та вивезення відходів та відсутність системного підходу до організації збору ТПВ, який був би спрямований на отримання вторинної сировини (таблиця 2.1).

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники існуючих тарифів на утилізацію твердих побутових відходів [8]

Вид поводження з ТПВ	Європа, дол/тона	Україна, дол/тона
Захоронення на полігоні	110	12
Сміттєспалювання	170	20

Існуючий на сьогоднішній день механізм базується на платності природокористування. Отже, плата за забруднення навколишнього середовища є єдиним стимулюючим інструментом у галузі поводження з відходами. Проте, на думку Веклич О.О. [4], механізм збору коштів від природокористування має виключно фіскальну спрямованість та ігнорує обмежувальну та стимулюючу функції, що не сприяє екологізації виробництва.

З метою вирішення проблеми поводження з відходами та зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище необхідно:

1. Впровадити у містах України ефективну систему роздільного збору, сортування сміття та систему вторинної переробки відходів, що дозволить отримати відносно екологічно чисті вторинні ресурси від населення та зменшити кількість відходів, що потребують захоронення;
2. На законодавчому рівні вирішити проблему безпечної переробки сміття, що буде сприяти підтвердженню іміджу України як європейської держави та дозволить протидіяти зміні клімату;
3. Відмовитися від стихійних звалищ сміття та мінімізувати наслідки їх існування, що зменшить кількість звалищного газу;
4. Враховуючи досвід розвинених країн Заходу, відмовитися від наявності сміттєпроводів у жилих будинках і врегулювати це питання на рівні міста;
5. Стимулювати створення та запровадження інноваційних екологічно чистих технологій переробки та знешкодження промислового й побутового сміття;
6. Запровадити інформаційно-освітню кампанію із роз'яснення необхідності роздільного збору сміття та його подальшої утилізації;
7. Запровадити систему утилізації та використання для потреб столиці продуктів переробки вторсировини (макулатури, склобою, автомобільних шин, відходів легкої та харчової промисловості) тощо.

Також варто звернути увагу на впровадження сучасних методів утилізації сміття, одним із яких є піроліз. З позицій екологічних вимог перевага піролізу в порівнянні з безпосереднім спалюванням очевидна. Вона полягає в необоротній хімічній зміні сміття під дією температури без доступу кисню. Проте головною перешкодою впровадження даного методу в Україні є його висока вартість. Більш прийнятним методом із врахуванням сучасних реалій є сміттесортування та брикетування залишків побутових відходів із захороненням на спеціальному полігоні. Цей метод достатньо широко розповсюджений у країнах Євросоюзу та передбачає сортування відходів з метою вилучення корисних складових та повернення їх у товарний оборот.

Залишки, які залишилися після сортування, ущільнюються і вивозяться у вигляді брикетів на спеціально підготовлені полігони. За експертними оцінками, собівартість матеріалів, добутих з вторинної сировини, складає 20-30 % собівартості матеріалів, добутих з первинної сировини. Якщо сміттєспалювання дозволяє зменшити об'єм відходів у 3,3 рази, отримуючи на виході 30 % початкового обсягу у вигляді золи, шлаків, недопалу, тобто вже небезпечних, що потребують складних умов захоронення та високих затрат на це, то метод переробки побутових відходів з виділенням утильних фракцій та глибоким пресуванням залишкової частини дозволяє зменшити початковий об'єм відходів у 5-6 разів і не потребує особливих умов складування, бо зберігає відходи інертними до зовнішнього впливу [9]. Порівняльна характеристика різних методів переробки ТПВ представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця технологій сміттєспалювання та сортування із захороненням брикетів [8]

Критерій	Сміттєспалювання	Сортування із захоронення брикетів
Потужність, тис т/рік	500	500
Вартість будівництва, млн дол	470	35
Експлуатаційні витрати, млн дол	140	1,05
Рентабельність, %	12	12
Термін окупності	10	10
Тариф на утилізацію, дол/тонна	270	20

Отже, на сучасному етапі у розвинених країнах світу дедалі більшої популярності набуває перехід від стратегії складування на полігонах та сміттєспалювання до альтернативних методів вирішення цієї проблеми, які покликані зменшити вплив на навколишнє природне середовище. Досвід країн ЄС свідчить, що універсального методу не існує. Більшою мірою сучасним вимогам відповідає впровадження комплексної системи збирання та утилізації ТПВ, яка забезпечує використання відходів як джерела вторинної сировини. Основою ефективного функціонування даної системи є запровадження

роздільного збирання окремих компонентів ТПВ. Аналіз досвіду країн, де діє зазначена система, переконливо доводить, що при цьому сміттєпереробні заводи працюють значно ефективніше. При наявності даної системи, буде забезпечене роздільне збирання ТПВ із подальшим їх сортування на сміттєпереробній лінії (комплексі). Після чого необхідно провести компостування органічної частини відходів та термічну утилізацію залишку. Залишок, що не піддається термічній утилізації, розміщується у вигляді брикетів на спеціальному полігоні. Реалізація зазначеної системи можлива при виконанні таких умов:

- організація роздільного збирання відходів у місцях їх утворення та постачання на сортувальні лінії;
- відмова від наявності сміттєпроводів у жилих будинках і врегулювання цього питання на рівні міста;
- запровадження інформаційно-освітньої кампанії із роз'яснення необхідності роздільного збору сміття та його подальшої утилізації;
- оновлення парку спеціального автотранспорту та технічного обладнання (середній показник зношеності спеціального автотранспорту для збирання і перевезення ТПВ, кількість якого понад 4000 одиниць, сягає 70%);
- введення штрафних санкцій за недотримання містами та їх мешканцями правил роздільного збору відходів;
- закриття існуючих сміттєзвалищ та постійний моніторинг за станом їх екологічної безпеки;
- вилучення на сортувальній лінії корисних компонентів ТПВ. Повторне використання матеріалів зменшує використання первинних ресурсів, викидів і відходів, пов'язаних з їх переробкою, а також економить на 20-30% кошти для підприємств, які використовують вторинні ресурси для виробництва;
- організація збору, переробки та утилізації великогабаритних та будівельних відходів, використаної побутової техніки, батарейок тощо;

- введення "зеленого тарифу" для підприємств які виробляють енергію з ТПВ.

1.3 Класифікація, склад та властивості твердих побутових відходів

Професор Стольберг Ф.В. [9] поділяє відходи на:

- побутові (комунальні) – тверді і рідкі відходи, які не утилізуються в побуті, що утворюються в результаті життєдіяльності людей і амортизації предметів побуту
- промислові – залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що утворилися при виробництві продукції або виконанні робіт і втратили повністю або частково вихідні споживчі властивості;
- сільськогосподарські – відходи, що утворюються в ході сільськогосподарського виробництва;
- будівельні – відходи, що утворюються в процесі будівництва будівель, споруд, доріг і інших комунікацій, а також виробництва будівельних матеріалів;
- споживання – вироби, що втратили свої споживчі властивості в результаті фізичного або морального зносу;
- радіоактивні – невикористовувані прямі і непрямі радіоактивні речовини і матеріали, що утворюються при роботі ядерних реакторів, при виробництві і застосуванні радіоактивних ізотопів.

За середнім морфологічним складом (рис.1.1) ТПВ вміщують 25-30% паперу, 35-40% харчових відходів, 4-5% текстилю, 4-10% полімерів, 4-5% чорних та кольорових металів, 5-7% скла, 2-7% гуми, кісток, каміння тощо. Питома вага таких відходів становить 220-250 кг/м³, вологість - 40-60%, зольність 35-40%, теплотворна здатність 800-2400 ккал/кг. Зрозуміло, що хімічний склад різних компонентів таких відходів є дуже різноманітним як за мінеральною, так і органічною складовою. Загалом подібних відходів в розрахунку на 1 жителя України утворюється щороку до 0,8 м³.

Процентні співвідношення морфологічного складу ТПВ досить умовні, на співвідношення складових впливають ступінь благоустрою житлового фонду, сезону, кліматичних та інших умов. З кожним роком у складі ТПВ постійно збільшується вміст пластмас, поліетиленових плівок та інших упаковок.

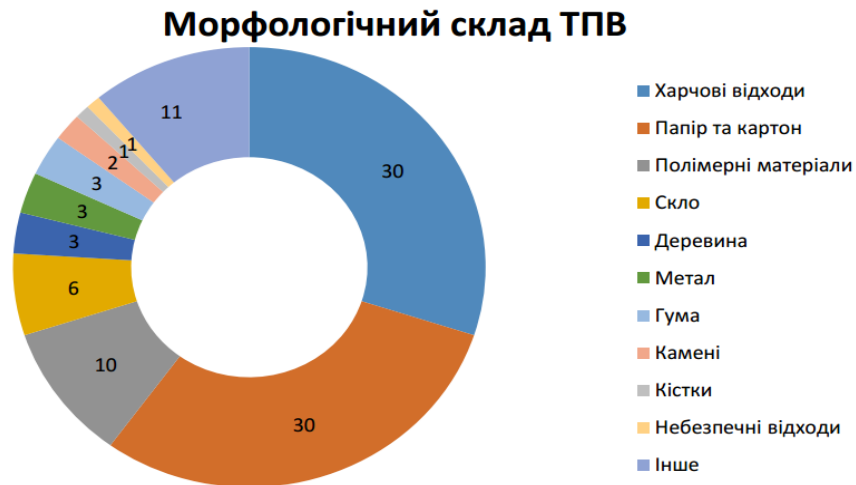


Рисунок 1.1 – Склад ТПВ [9]

За думкою професора Стольберга, ТПВ мають наступні властивості:

1. Хімічний склад: усереднені дані хімічного складу ТПВ наведені у таблиці 1.4. Україна відноситься до середньої кліматичної зони, за винятком Південного берега Криму, який відноситься до південної. Як видно з результатів таблиці 1.4, за змістом таких елементів як азот, калій, фосфор і кальцій, ТПВ, після попередньої обробки, можуть бути використані у якості цінного добрива.

2. Щільність ТПВ міст України становить, в середньому, $0,19-0,23 \text{ т/м}^3$. Щільність ТПВ коливається в залежності від благоустрою житлового фонду і сезонів року. Для упорядкованого житлового фонду щільність ТПВ в весняно-літній сезон становить $0,18-0,22 \text{ т/м}^3$, а в осінню-зимовий сезон $0,2-0,25 \text{ т/м}^3$, для неупорядкованого житлового фонду з півним опаленням $0,3-0,26 \text{ т/м}^3$.

3. Компресійні властивості. Для зменшення загального обсягу ТПВ при перевезенні і складуванні на полігонах важливо знати їх компресійні властивості, тобто вплив тиску на ступінь ущільнення.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад ТПВ в різних кліматичних умовах, % від сухої маси

Показники	Кліматичні зони	
	середня	південна
Органічна речовина	56-72	56-80
Зольність	28-44	20-44
Загальний азот	0,9-1,9	1,2-2,7
Кальцій	2-3	4-5,7
Вуглець	30-35	28-39
Фосфор	0,5-0,8	0,5-0,8
Загальний калій	0,5-1	0,5-1,1
Вологість (% від загальної маси)	40-50	35-70

4. Санітарно-бактеріологічні властивості. ТПВ містять велику кількість вологих органічних речовин, які, розкладаючись, виділяють гнильні запахи і фільтрат. При висиханні, продукти неповного розкладання утворюють насичений забруднюючими речовинами і мікроорганізмами (від 300 до 15 млрд. на 1 г сухої речовини) пил. В результаті відбувається інтенсивне забруднення повітря, ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод. Рознощиками патогенних мікроорганізмів є мухи, щури, птиці, бездомні собаки і кішки.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

За кордоном практично на всіх сучасних підприємствах виділяється в процесі термічної переробки ТПВ енергія обов'язково перетворюється в теплову для відпустки споживачеві або для подальшого вироблення електроенергії. Європейським законодавством запропонована формула оцінки енергоефективності (E) таких підприємств, яку можна уявити наступним чином:

$$E = \frac{(E_p - (E_f + E_i))}{(0,97 \cdot (E_w + E_i))} \quad (2.1)$$

Де E_p - енергія, відпущена споживачеві у вигляді тепла або електроенергії, ГДж / рік. Ця величина множиться на коефіцієнт 1,1 при відпустці тепла і на 2,6 при виробленні електроенергії; E_f - теплота додаткового палива, витраченого на виробництво енергії, ГДж / рік; E_w - енергія, що міститься в відходи, які переробляють, розрахована з урахуванням їх теплоти згоряння, ГДж / рік; E_i - імпортована енергія, що отримується від зовнішнього постачальника, ГДж/рік, виключаючи E_w і E_f ; 0,97 - показник для розрахунку теплових втрат з золошлаками і в навколишнє середовище.

В [11] відзначається, що оскільки E не характеризує термодинамічну ефективність, то через коефіцієнтів, які підвищуються при випуску електроенергії і тепла (відповідно 2,6 і 1,1) ця величина в ряді випадків може бути більше 1. Там же аналізується, як пов'язаний цей показник енергоефективності (E) з прийнятими в теплоенергетиці коефіцієнтом корисної дії і коефіцієнтом використання тепла палива. Детальне керівництво з застосування формули (2.1) для різних граничних умов наведено в [12].

Формула (2.1) надає можливість однозначного визначення того, чи спрямована діяльність підприємства з термічної переробки відходів на рекуперацію енергії з відходів або просто на ліквідацію відходів.

Відповідно до [10], процес термічної переробки відходів можна вважати утилізацією, тобто доцільним з економічної та екологічної точок зору процесом рекуперації енергії, тільки в тому випадку, коли енергетична ефективність процесу становить не менше таких значень:

- 0,60 для діючих установок, прийнятих в експлуатацію до 1 січня 2009 року;

- 0,65 для установок, дозволених до експлуатації після 31 грудня 2008 року.

Слід зазначити, що за даними [13] з 420 європейських підприємств для термічної переробки відходів тільки 40% гарантовано мали енергоефективність більше 0,6.

У тому випадку, якщо підприємство задовольняє вказаним вище вимогам і спеціалізується на подачу електроенергії зовнішньому споживачеві (або на комбіновану подачу і теплової та електричної енергії), його можна вважати ТЕС на ТПВ. Слід зазначити, що з економічної точки зору виробляти електроенергію за рахунок термічної переробки відходів стає доцільним, якщо доходи від продажу електроенергії покривають витрати, пов'язані з додатковими капітальними і експлуатаційними витратами на придбання, установку і обслуговування основного і допоміжного електрогенеруючого обладнання. Для кожної конкретної країни з урахуванням сформованих в ній тарифів на покупку електроенергії, а також законодавства і оподаткування, виробництво електроенергії на підприємствах, що спалюють ТПВ, стає прибутковим, якщо річний відпуск електричної енергії перевищує деяке порогове значення.

На підставі аналітичних оглядів, виконаних для різних країн [14-16], встановлено, що в 2010р. у Франції знаходилися в експлуатації тільки 12 таких підприємств, в Німеччині - близько тридцяти, при цьому найбільш велика,

запущена в експлуатацію в 2006р. в Магдебурзі, відпускає споживачеві більш 370,0 тис. МВт-год на рік. У США, де загальна встановлена електрична потужність установок, що спалюють ТПВ, становить 2700 МВт, принаймні, на 45 підприємствах встановлена електрична потужність перевищує 15 МВт, а на 15 - більше 60 МВт (рис. 2.1) [17].

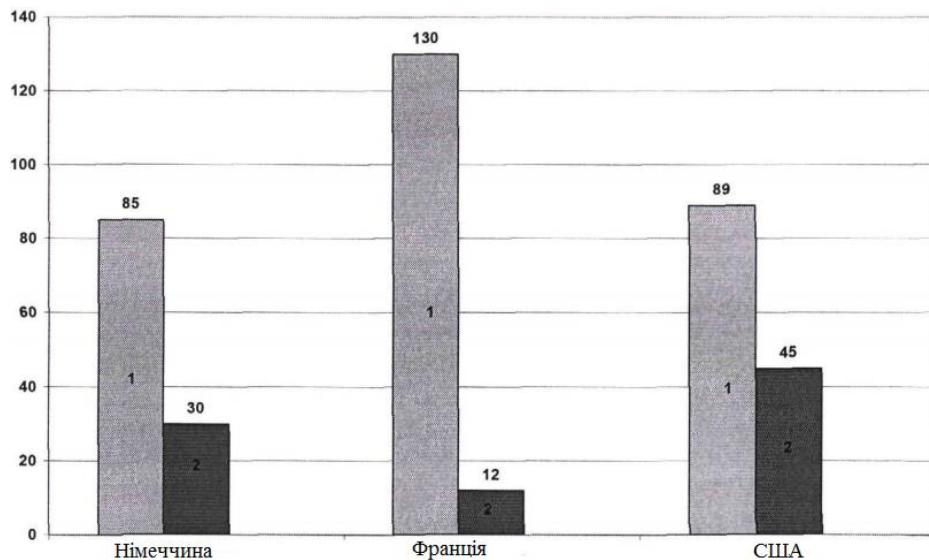


Рисунок 2.1 – Загальна кількість підприємств для термічної переробки ТПВ, включаючи ТЕС на ТПВ, в Німеччині, Франції та США: 1 - Загальна кількість підприємств для термічної переробки ТПВ; 2 - Кількість ТЕС на ТПВ (встановлена електрична потужність понад 15 МВт).

Практично всі такі підприємства, які по суті є ТЕС на ТПВ, належать провідним світовим енергетичним компаніям.

Відразу слід зазначити, що крім економічної доцільності на інших підприємствах, що спалюють ТПВ, необхідність вироблення електроенергії визначається специфічними умовами роботи такого підприємства. Наприклад, якщо є стабільний споживач теплової енергії, то часто застосовують турбіни з протитиском. Це дозволяє, принаймні, забезпечувати власні потреби підприємства в електроенергії і компенсувати, таким чином, додаткові витрати, пов'язані з експлуатацією електрогенеруючого обладнання. У районах, де відсутній надійний споживач тепла, для вирішення екологічних

проблем (Утилізація тепла для виключення теплового забруднення) встановлюють невеликі конденсаційні або парогвинтові турбіни, а пов'язані з їх експлуатацією додаткові збитки покривають за рахунок збільшення тарифу на переробку ТПВ. Слід також зазначити, що вироблення електроенергії на цих та інших подібних підприємствах, більше виняток, а в загальному випадку теплової електростанцією на ТПВ слід вважати енерготехнологічне підприємство для термічної утилізації ТПВ з річним виходом електричної енергії приблизно 100,0 тис. МВт-год і більше (зі встановленою електричною потужністю більше 15 МВт).

Вирішальними факторами, що визначають електричну потужність ТЕС на ТПВ, є прогнозована витрата енергії для відходів, що надходять на переробку. (Електрична потужність звичайних ТЕС, на яких спалюють органічне паливо, як правило, вибирається в залежності від потреби регіону в електроенергії).

Кількість відходів, які потрапляють на ТЕС, в свою чергу, залежить від ряду факторів, до яких, в першу чергу, відносяться:

- Чисельність населення і питомий обсяг накопичення відходів в конкретному регіоні;
- Властивості і характеристики відходів, що утворюються;
- Політика регіональної влади в галузі поводження з відходами з урахуванням світових тенденцій в сфері управління відходами, таких, наприклад, як роздільне збирання і сортування.

Дослідження кожного з перерахованих факторів є окремими завданнями, частина з яких знаходиться виключно в області компетенції науково-дослідних організацій, що працюють в сфері житлово-комунального господарства.

Адекватна оцінка зазначених вище факторів в даний час і на найближчу перспективу дозволяє розробити типовий ряд потужностей (за кількістю відходів, які переробляються на ТЕС) для вітчизняних ТЕС на ТПВ, а з урахуванням результатів виконаного в роботі експериментально аналітичного

вивчення властивостей ТПВ, визначити електричну і теплову потужність таких ТЕС.

2.1 Аналіз статистики утворення відходів у світі

Як зазначалося вище, одним з вирішальних факторів на вибір продуктивності ТЕС на ТПВ є питомий обсяг їх накопичень.

Обсяг утворення відходів та їх накопичення на 1 людину в деяких країнах Європи показані у таблиці 2.1.

В [18] повідомляється, що кількість утворилися відходів (на душу населення) сильно варіюється в різних країнах, починається від 306 кг в Греції і закінчуючи 802 кг в Данії. Це пояснюється різною структурою споживання і підходами до збору статистичної інформації. Наприклад, деякі країни включають в показники муніципальних відходів також дані щодо відходів, що утворюються на підприємствах малого бізнесу і в державних установах.

За даними [19] показники утворення ТПВ на душу населення в окремих державах - членах ЄС такі:

- понад 700 кг - в Данії, Ірландії, на Кіпрі і в Люксембурзі;
- 600-700 кг - в Німеччині, Естонії, Іспанії, Франції, Італії, Фінляндії Швеції і Великобританії;
- 500-600 кг - в Бельгії, Болгарії, Греції, Литві, Угорщині, Португалії та Словенії;
- менше 400 кг - в Чехії, Латвії, Польщі, Румунії та Словаччини.

Згідно з дослідженнями Академії комунального господарства ім. К.Д. Памфілова з цього обсягу шляхом сортування можна витягти приблизно 10 ... 12% вторинних ресурсів [20]. Інша маса відходів (приблизно 90%) повинна утилізуватися методом термічної переробки або захоронюватися. Це підтверджується світовою практикою. показовим є в цьому відношенні досвід Франції [21, 22].

Паризький агломерат Іль де Франс є одним з найбільш густонаселених територій Франції (щільність населення становить 907 чел / км) з переважно

багатоповерховою забудовою, де проживає приблизно 5,5 млн. чол. (9% населення Франції) і де щорічно утворюється понад 2,9 млн. тонн ТПВ.

Таблиця 2.1 – Обсяг утворення відходів в деяких європейських країнах

Країна	ТПВ та відходи, прирівняні до них	
	Кількість на 1 чол. в рік, в кг	Обсяг утворення, млн. Т
Австрія	418	5,7/3,4
Бельгія	492	4,35/3,25
Угорщина	463	4,7
Німеччина	587	20,5/16,3
Данія	820	3,2
Ірландія	730	3,2/2,0
Іспанія	609	22,7
Італія	540	32,5
Нідерланди	599	9,3/4,5
Португалія	452	4,6
Фінляндія	822	2,5/1,7
Франція	570	28/22
Чехія	316	4,64
Швейцарія	352	2,7/2,0
Швеція	471	4,2

Ці відходи в залежності від системи збору та утворення поділяють на: селективно зібрані (6,7%), великогабаритні (8,2%), відходи від спеціальних пунктів збору (1,5%), так зване «зелений сміття» (0,5%) і несортовані змішані ТПВ (83,1%). За даними 2007 року в Парижі сортують лише 16,4% від загальної кількості зібраних ТПВ (селективно зібрані і великогабаритні відходи), з яких вдається витягти приблизно 8,6% корисних фракцій. Компостується - не більше 0,2%. Значна частина зібраних відходів і «хвости» після сортування, які в сумі складають 91,8% від маси спочатку зібраних ТПВ, направляється без будь-якого додаткового сортування на термічну утилізацію (спалювання) або на захоронення. В

районі великого кільця Парижа працює 19 заводів з термічної переробки ТПВ загальною сумарною встановленою потужністю близько 4 млн. тонн на рік, десять з яких знаходяться безпосередньо в межах міста і в прилеглих передмістях із суцільною забудовою. Слід зазначити, що в 2007р. за рахунок

термічної утилізації відходів було отримано 222,7 ГВт-год електроенергії, з яких 129,6 ГВт-год (приблизно 58%) відпущені в міські електромережі. Крім того, в тепловій мережі у вигляді пари і гарячої води надійшло 2180,7 ГВт-год теплової енергії, що забезпечило потреби в теплі приблизно 240 тис. будинків.

Отже, важливим етапом створення ТЕС на ТПВ є розробка та обґрунтування принципових технічних і технологічних рішень, що дозволяють максимально ефективно перетворити енергетичний потенціал відходів в електричну енергію з найменшим впливом на навколишнє середовище і з оптимальними показниками за надійністю і економічністю.

Першочерговим завданням в цьому напрямку є вибір методу і технології термічної переробки побутових відходів, які найбільш технічно прийнятні і економічно обґрунтовані для ТЕС на ТПВ в українських умовах.

2.2 Короткий опис основних методів переробки ТПВ

До технологій термічної переробки ТПВ відносяться: спалювання на механічних колосникових решітках в шарових топках (в даний час у усьому світі експлуатується більше 2 тис. таких установок), спалювання в киплячому шарі (близько 200 установок), спалювання в барабанних печах (приблизно 20 установок), спалювання в металургійних печах і методи з використанням процесів піролізу і газифікації, в тому числі з плазматрон.

У деяких країнах ТПВ використовують в якості додаткового палива для випалу клінкеру в цементних печах [23, 24]. В [23] повідомляється, що таким чином в Європі утилізуються більше 350 тис. т палива з ТПВ щорічно. Але оскільки даний спосіб термічної переробки до ТЕС на ТПВ не має відношення, він в роботі не розглядається.

2.2.1. Спалювання на механічних колосникових решітках в шарових топках

Топки з шаровим спалюванням ТПВ, найбільш поширені в світовій практиці в даний час, перш за все, розрізняються за типом і принципом роботи колосникових решіток.

Застосовуються наступні типи механічних решіток: перештовхуючі колосникові решітки (похило-перештовхуючі (ППР) і зустрічно-перештовхуючі (ЗПР)); зворотньо-перештовхуючі колосникові решітки (ЗПКР) і валкові колосникові решітки.

Перештовхуюча колосникова решітка

Перештовхуюча колосникова решітка (ПКР) складається з окремих нерухомо закріплених і рухливих, що перекривають один одну, в напрямку переміщення ТПВ колосникових секцій. Повітря для горіння надходить в шар ТПВ через щілини між колосниками або отвори в торцевої поверхні колосників.

Колосники ПКР відлиті, як правило, зі сплаву з високим вмістом хрому. Рухливі колосники секції здійснюють зворотно-поступальний рух з довжиною ходу приблизно 150 мм. У топках середньої та великої продуктивності полотно ПКР зазвичай складається з декількох секцій (модулів), розміщених за довжиною і шириною. Це дозволяє створювати колосникові решітки для котельних агрегатів різної продуктивності зі стандартних модулів, з мінімальними витратами часу і коштів на виготовлення і монтаж.

Секції ПКР можуть встановлюватися каскадом з 1-2 ступенів з перепадом за висотою. Як було зазначено раніше, ПКР можна поділити на похило-перештовхуючою, де рух відходів забезпечується, в тому числі за рахунок нахилу решітки, і зустрічно-перештовхуючою.

Решітка конструкції «*Von Roll*» є найпоширенішою на підприємствах, що спалюють ТПВ, в Німеччині. Приблизно 40% всіх топків з ПКР укомплектовані похило-перештовхуючими ґратами цієї фірми. В Японії більш ніж на 280 установках застосовані решітки *Von Roll*.

Типова колосникова решітка містить від двох до чотирьох модулів в довжину і від одного до чотирьох модулів в ширину (рис. 2.2). Таке конструктивне рішення дозволяє здійснювати незалежне управління кожною секцією.

Решітка може охолоджуватися як повітрям, яке направляється на горіння, так і водою, що циркулює всередині колосників.



Рисунок 2.2 – Типова колосникова решітка фірми *Von Roll*

Фірма *Volund* (зараз *Babcock & Wilcox Volund*) за 70 років свого існування встановила понад 500 решіток різної продуктивності і модифікацій в 28 країн світу (рис.1.3). Найбільше застосування такі решітки знайшли в Данії (120 установок), Японії (124 установки), Франції (53 установки) і Швеції (50 установок).

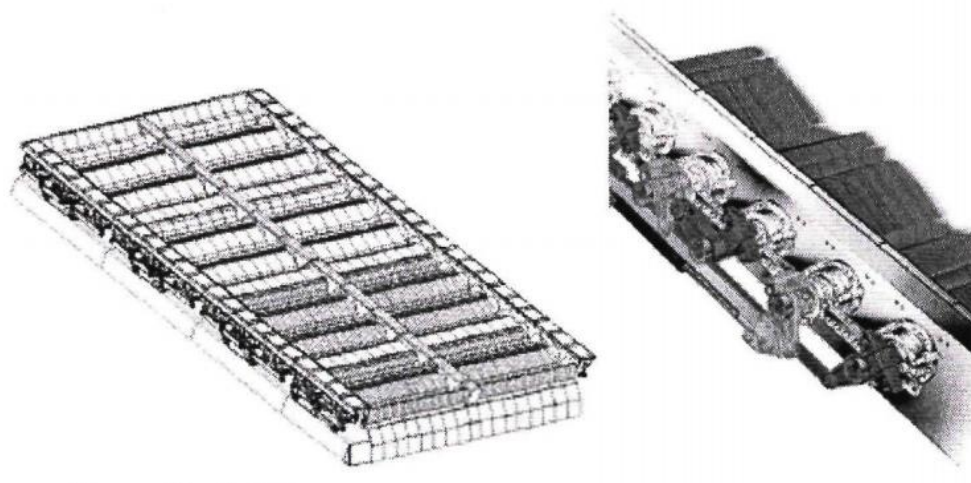


Рисунок 2.3 – Колосникова решітка фірми *Volund*

Решітка конструкції «*Steinmuller*» (рис. 2.4) мають продуктивність 4-40 т / год і дозволяють спалювати відходи з теплотою згоряння 6-14 МДж / кг.

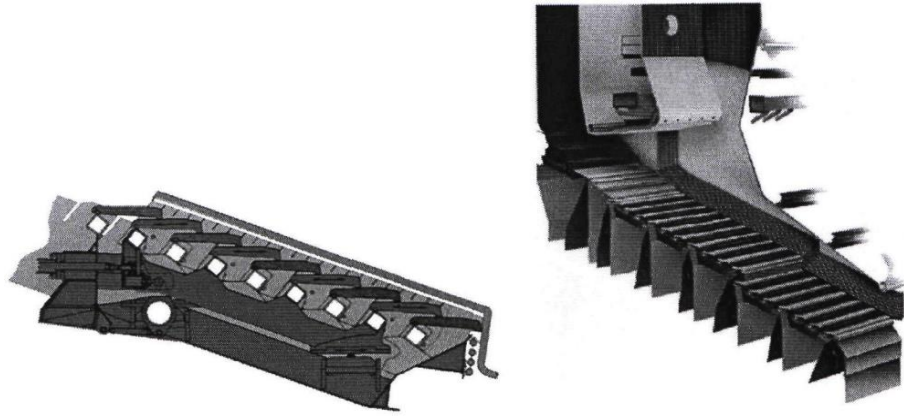


Рисунок 2.4 – Перештовхуюча колосникова решітка фірми Steinmuller

Решітка фірми «*Widmer + Ernst*» (рис. 2.5) є зустрічно-перештовхуючою, в яких рухливі ряди колосників, переміщаються в протилежних напрямках, розділені поруч нерухомих колосників. Такі ЗКР забезпечують хороше перемішування і переміщення відходів навіть при горизонтальному положенні решітки.

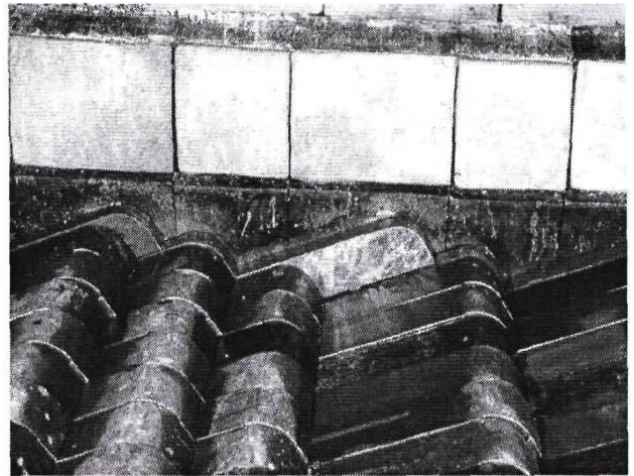
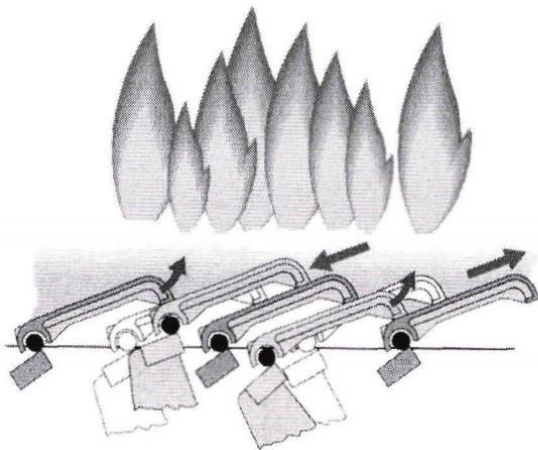


Рисунок 2.5 – Зустрічно-перештовхуюча решітка фірми «*Widmer + Ernst*»

Решітка складається з модулів. Довжина модулів фіксована, ширина змінюється в залежності від конкретних умов. Кожен модуль має індивідуальний привід і підведення повітря з незалежним регулюванням. Зазвичай решітка складається з трьох послідовно розташованих за довжиною решітки модулів. За шириною їх може бути від 1 до 3.

Зворотньо-перештовхуюча колосникова решітка

Зворотньо-перештовхуюча колосникова і решітка, також як і ПКР, має по черзі розташовані нерухомі і рухомі сходи колосників, проте має більш складну кінематичну схему. Рухливі колосники здійснюють зворотньо-перештовхуючий рух, дозволяючи подавати 15-30% палаючої маси відходів шару ТПВ, який рухається назустріч. ЗПКР має нахил в сторону вивантаження шлаку (кут нахилу становить 24 - 26), тому інша маса відходів (70-85%) під дією власної ваги повільно переміщується до вихідної частини решітки, інтенсивно переміщується і догоряє (рис. 2.6).

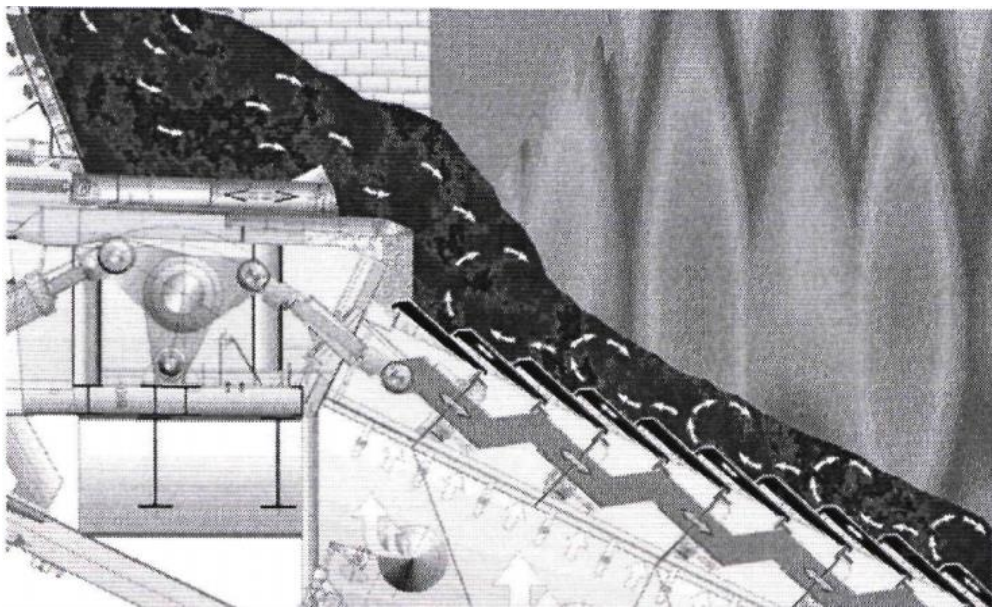


Рисунок 2.6 – Траєкторія переміщення відходів у топках із зворотньо-перештовхуючою колосниковою решіткою

Це забезпечує інтенсифікацію процесу сушки і займання, створюючи осередки нижнього запалювання маси відходів, що лежать на колосниках. Таке рішення також запобігає прогорянню і оголенню окремих ділянок полотна колосникової решітки.

Зворотньо-перештовхуюча колосникова решітка збирається з окремих модулів, шириною 1,5 - 2,5 м. Кількість модулів за шириною залежить від продуктивності установки. Загальна ширина колосникових решіток може досягати 15 м (рис. 2.7).

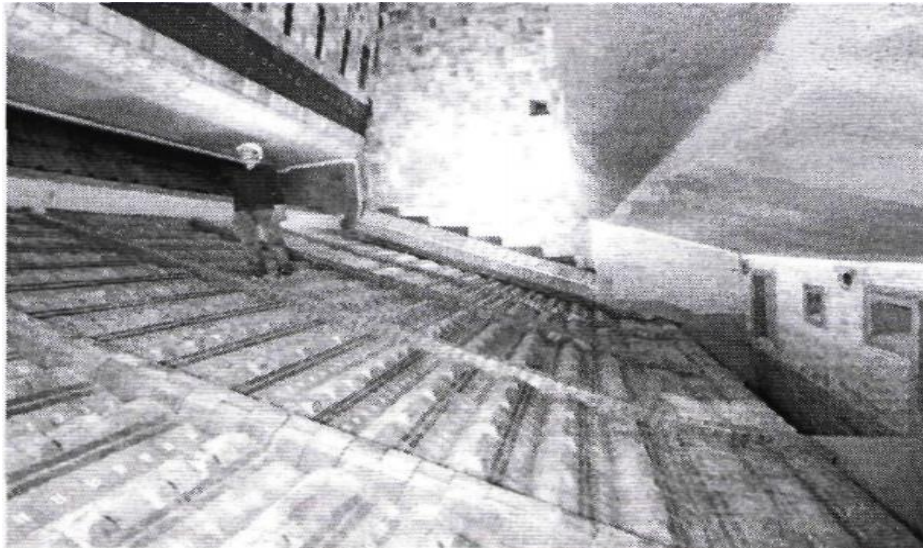


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд зворотньо-перештовхуючої колосникової решітки

Комплексне постачання топкового пристрою з зворотньо-перештовхуючою колосниковою решіткою здійснює німецька фірма *Martin* в двох модифікаціях: власної оригінальної конструкції з кутом нахилу 26° і конструкції фірми *Alstom* з кутом нахилу 24° , відомої в Нині як *SITY 2000*.

Починаючи з 1959р. (Головний зразок продуктивністю приблизно 6 т / год був встановлений в Бразилії, Sro Paulo-Ponte Pequena) було виготовлено понад 530 комплектів ОПКР конструкції «*Martin*» продуктивністю від 1,7 т / год (*Zermatt*, Швейцарія, 1964 р.) До 50 т / год для заводу *Ivry* в Парижі (1969р.).

Валкова колосникова решітка

Зазвичай валкова колосникова решітка (ВКР) складається з 6-ти валів діаметром 1,5 м і довжиною до 6 м (довжина валка залежить від продуктивності по ТПВ). Валки розташовані на різній висоті і мають горизонтальну вісь обертання. Валки виготовлені з чавунних колосників, насаджених на циліндричний каркас, який кріпиться на пустотілому валу.

Валки оснащені електроприводом і обертаються зазвичай з частотою обертання 1-11 об / годину. Кожен з них має безступінчасте регулювання

швидкості обертання, завдяки чому процес горіння підтримується в відповідно до властивостей ТПВ, які надходять на згоряння.

Сушка і підготовка до спалювання ТПВ відбуваються на першому і частково на другому валках, інтенсивне згоряння - на наступних валках, а випалювання - на двох останніх валках.

Одним з переваг даного типу решітки є те, що тільки 50% площі поверхні валка звернена до топки; інша частина знаходиться в зоні первинного повітря, тобто велика частина валка знаходиться в зоні невисокої температури. Конструктивні труднощі викликає ущільнення зазорів між валками; живий перетин решітки становить 12% всієї площі поверхні.

2.2.2. Спалювання в трубчастих (барабанних) печах

Трубчасті (барабанні) обертові печі широко застосовуються в виробництві цементу, для сушки і випалу різних матеріалів. За кордоном їх також використовують для вогневої переробки промислових відходів, ТПВ і зневоднених осадів стічних вод.

Основною перевагою спалювання в барабанних печах є відсутність рухомих металевих частин всередині печі, які контактують з відходами і гарячими газами, що підвищує надійність і готовність установки в цілому і забезпечує низькі витрати на ремонт.

Зовнішній вигляд барабанної печі, що обертається, сучасної конструкції представлений на рис. 2.8.

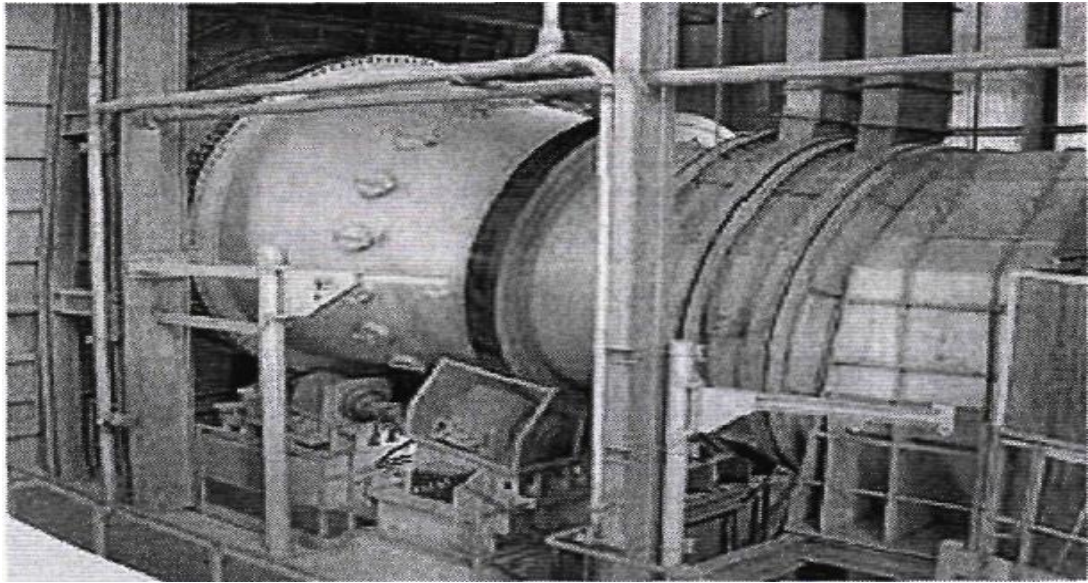


Рисунок 2.8 – Барабанна піч для спалювання ТПВ конструкції *Cyclerval*

Повітря для горіння циркулюється в проміжку між подвійними стінками камери спалювання, куди нагнітається дуттьовими вентиляторами.

Система розподілу повітря гарантовано забезпечує його подачу до сопел, що розташовані всередині печі і знаходяться в даний момент під шаром спалюваного матеріалу. Рух печі забезпечується зовнішнім приводом через зубчасте зачеплення з колесом, привареним по колу до зовнішньої поверхні печі. Піч футерована бетонною обмурівкою товщиною приблизно 200 мм (вибір товщини футеровки залежить від багатьох факторів).

Принцип роботи полягає в наступному. Відходи, які подають в піч плунжерним живильником, спочатку підсушують за рахунок радіаційного теплообміну і поступово переміщуються вниз до зони горіння. Звужена циліндрична форма камери, періодичні обертання в різні боки і висока турбулентність топкових газів в поєднанні з впливом обмурівки печі забезпечують необхідний режим горіння. Утворені в процесі горіння топкові гази з печі надходять в камеру допалювання і далі в котел.

У сучасній практиці термічної утилізації ТПВ трубчасті печі широкого застосування не знайшли. Це пояснюється наступними причинами. Низьке питоме теплове і масове навантаження топкового обсягу призводить до високих капітальних і експлуатаційних витрат. Футеровка печі при обертанні

знаходиться в умовах частоті зміни температури, що викликає утворення в ній тріщин і швидкий вихід з ладу. Крім того, в печах старої конструкції з метою зменшення маси барабану, футеровку виконували невеликої товщини, що викликало великі тепловтрати, які, поряд з високими температурами газів, що відходять, обумовлюють низький ККД агрегату.

Більш докладний опис термічної переробки ТПВ в барабанних печах за кордоном наводиться в [25]. Технічні рішення з використання аналогічних печей в Україні представлені в [26,27].

2.2.3. Спалювання в киплячому шарі

Один із способів термічної переробки відходів, які мають застосування в ряді країн, пов'язаний з їх спалюванням в топках з киплячим шаром (ТКС). Відмітна особливість процесу спалювання відходів в киплячому шарі полягає в створенні ефекту псевдозрідження або «кипіння» відходів та інертного матеріалу за рахунок висхідного газового потоку. В якості інертного матеріалу зазвичай використовують калібрований кремнієвий пісок, який, володіючи великою теплоємністю, дозволяє стабілізувати температуру процесу незалежно від значних змін якості і кількості відходів. Інтенсивне кипіння шару призводить до енергійного перемішування відходів, окислювача і високотемпературних продуктів згоряння, що призводять до інтенсивного запалювання, без застосування рухомих деталей, що є одним з важливих переваг цих топко. За рахунок турбулентного перемішування і інтенсивної теплопередачі, що відбуваються в киплячому шарі, для повного згоряння ТПВ потрібна менша, в порівнянні з шаровими топками, кількість надлишкового повітря і тим самим забезпечується менша витрата димових газів.

Топки з киплячим шаром мають такі модифікації:

- 1) з бульбашковим (стаціонарним) киплячим шаром;
- 2) з циркулюючим киплячим шаром (з зовнішньої або внутрішньої циркуляцією);
- 3) з вихровим киплячим шаром.

Установки для спалювання відходів в бульбашковому киплячому шарі

Бульбашковий киплячий шар характеризується низькими швидкостями (до 2,5 м/с) повітря, що подається на спалювання і невисоким теплонапруженням (близько 2 МВт /м²).

На установках з бульбашковим киплячим шаром спалюють в основному спеціально підготовлені побутові відходи (*refused derived fuel - RDF*), а також осад стічних вод, деревні відходи (кору, тирсу). Аналіз роботи пілотних і напівпромислових установок, що спалюють непідготовлені ТПВ, до складу яких входить топка з бульбашковим киплячим шаром, показує, що проблеми, які виникають під час експлуатації, пов'язані не з самою технологією спалювання, а, в основному, з підготовкою і транспортуванням палива, вибором місця подачі відходів, охолодженням і видаленням золи

Топки з киплячим шаром для спалювання відходів застосовують в Італії, Франції, Швеції, Німеччини та Великобританії. Лідером в виготовленні спалювального обладнання з ТКС є фінська фірма *Metso Power (Kvaerner)*, здійснила поставку до Італії, Швеції, Великобританію Зовнішній вигляд такої топки показаний на рис. 2.9.

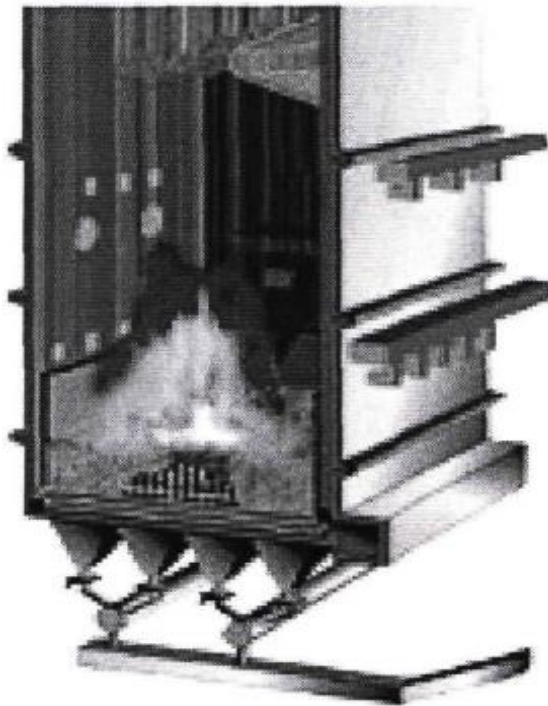


Рисунок 2.9 – Топка з киплячим шаром фірми *Metso Power (Kvaerner)*

Однак в останні роки спостерігається тенденція щодо заміни топок з киплячим шаром, які вимагають ретельну підготовку відходів, на звичайне шарове спалювання на колосникових решітці.

У якості прикладу можна привести завод *Eksjo* (Швеція), де з 1979р. експлуатувалися два котла з ТКС загальною потужністю 17,5 МВт. У 2005 р. закінчилася реконструкція цього заводу, в результаті якої котли з ТКС були замінені на котли з решітками *Volund* продуктивністю 7,75 т / год (18 МВт).

Установки для спалювання ТПВ в циркулюючому киплячому шарі

З розвитком в енергетиці технології спалювання різних палив в циркулюючому киплячому шарі (ЦКШ) накопичено певний досвід і із спалювання ТПВ в котлах з ЦКШ. Швидкість повітря в установках з ЦКШ досягає 6 м / с, а теплонапругу поверхні шару - 7 МВт /м.

Слід зазначити, що традиційні для спалювання твердих побутових відходів механічні решітки, топкові пристрої і самі котли проектується і виготовляються на підприємствах, що спеціалізуються на випуск подібного обладнання і мають багаторічний досвід в цьому питанні. На відміну від цього, випуском котлів для спалювання ТПВ в циркулюючому киплячому шарі займаються фірми, які, як правило, здійснюють поставку котельного обладнання на вугільні ТЕС (*Foster Wheeler, Metso Power, Austrian Energy & Environment*).

Вважається, що в котлах з циркулюючим киплячим шаром можна спалювати палива з різними характеристиками, пристосовуючи його до конкретних умов, але практично не змінюючи його конструкцію. Це справедливо, якщо стосується різних видів вугілля, торфу, шламів, біомаси, деяких видів відходів і так далі.

Однак, котел з ЦКШ, який призначений для спалювання ТПВ, має деякі конструктивні особливості, які відрізняють його від котлів, які спалюють, наприклад, вугілля або біомасу. У топках з циркулюючим киплячим шаром можна спалювати тверді побутові відходи тільки після їх попередньої

підготовки (подрібнення, видалення металу і великих інертних матеріалів, ретельного перемішування), і якість цієї підготовки дуже сильно впливає, а часто і визначає надійність роботи всієї установки.

Детальний опис розвитку спалювання ТПВ в котлах з ЦКШ, а також огляд різних модифікацій таких котлів, що виготовляються різними фірмами, наводиться в [28].

На рис. 2.10, у якості прикладу наводиться зовнішній вигляд котлів з ЦКШ, встановлених на ТЕС на ТПВ «*Lomellina*» (Італія). Перша черга цього підприємства була запущена в комерційну експлуатацію в 2000 р. в Рагопі, 30 км від Мілану (Італія). На цій черзі щорічно переробляється 200 тис. тонн ТПВ, в тому числі приблизно 60 відсотків перетворюється в RDF (паливо з ТПВ).

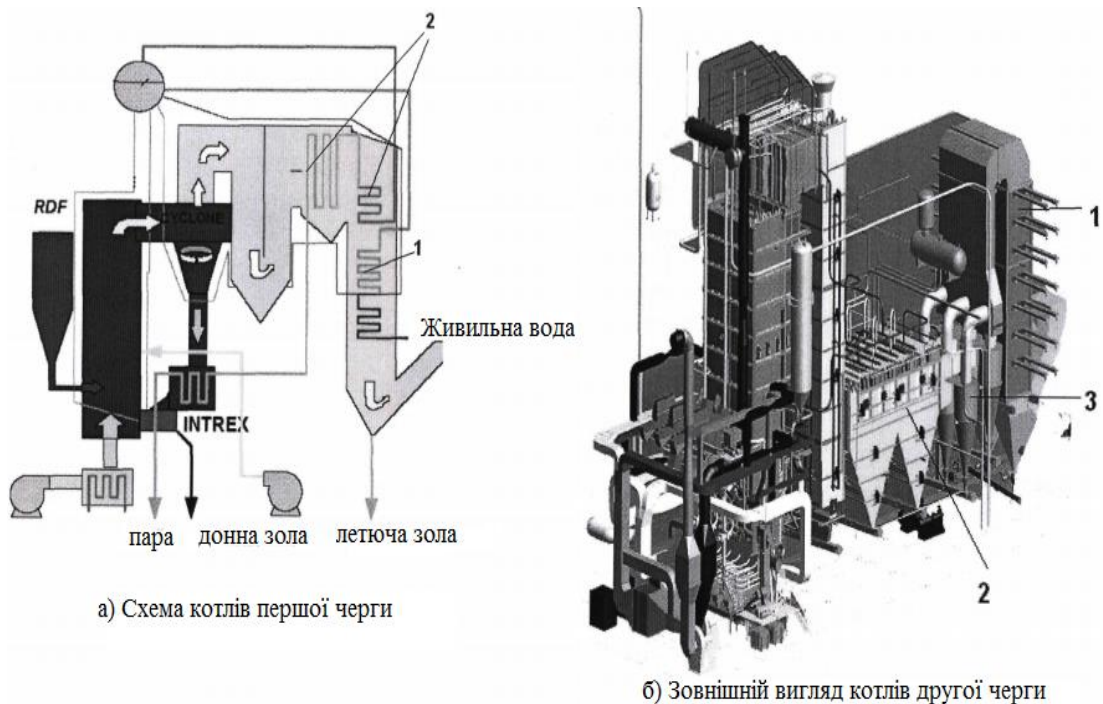


Рисунок 2.10 – Котли з ЦКШ для спалювання побутових відходів, встановлені на підприємстві *Lomellina* (Італія)

1 - економайзер; 2 - конвективний пароперегрівач; 3 - циклони

За рахунок спалювання *RDF* відпускається приблизно 100000 ... 115000 МВт-год електроенергії на рік. Друга черга ТЕС, запущена в експлуатацію в

2007р., розрахована на спалювання ще 180 тис. тонн RDF щорічно, тим самим встановлена електрична потужність ТЕС була збільшена вдвічі (з 17 до 34 МВт). Вся електроенергія, згідно довгострокової угоди з італійським оператором Єдиної енергосистеми, надходить споживачеві.

Слід зазначити, що котли для спалювання відходів, в першу чергу, котли з ЦКС, почали застосовувати і на звичайних ТЕС, причому в ряді випадків відходи стали одним з основних видів палива. У якості прикладу можна навести ТЕС *Handelo* в м Норрчепінг (Швеція).

Схема термічної переробки відходів (рис. 2.11) включає в себе живильник 1, топку з циркулюючим киплячим шаром 2, циклони повернення золи 3, радіаційний випускний газохід 4, чотири пакети пароперегрівача 7 і два пакети конвективного випарника 5, розміщені в підйомному газоході, шість пакетів економайзера 6, розміщені в випускному винесеному газоході, газоочисну систему з *NID*-реактором і рукавним фільтром 8, силосами вапна 9 і активованого вугілля 10, димосос з шумоглушником. В топку подають доломіт і пісок, що зберігається в спеціальних силосах 11. На поверненні золи з циклону в пневмозатворі встановлений поверхневий теплообмінник 12, після якого частина золи (донна зола), пройшовши класифікатор 13, видаляється в спеціальні контейнери.

Технологія підготовки ТПВ до спалювання включає в себе, в основному, операції з подрібнення відходів і видалення з них металу. Загальна зольність відходів після їх підготовки, в результаті якої видаляється близько 5% металу і 5% іншого матеріалу від загальної маси, становить близько 12%.

Ще більш «тісна» інтеграція спільного вироблення електроенергії, шляхом використання в якості палива вугілля і ТПВ, була виконана на ТЕС в м Ноймюнстрі (Німеччина) [28]. Поставку котельного обладнання на цю ТЕС здійснювала австрійська фірма *Austrian Energy & Environment*; газоочисного - фірма *Alstom Power Service GmbH*.

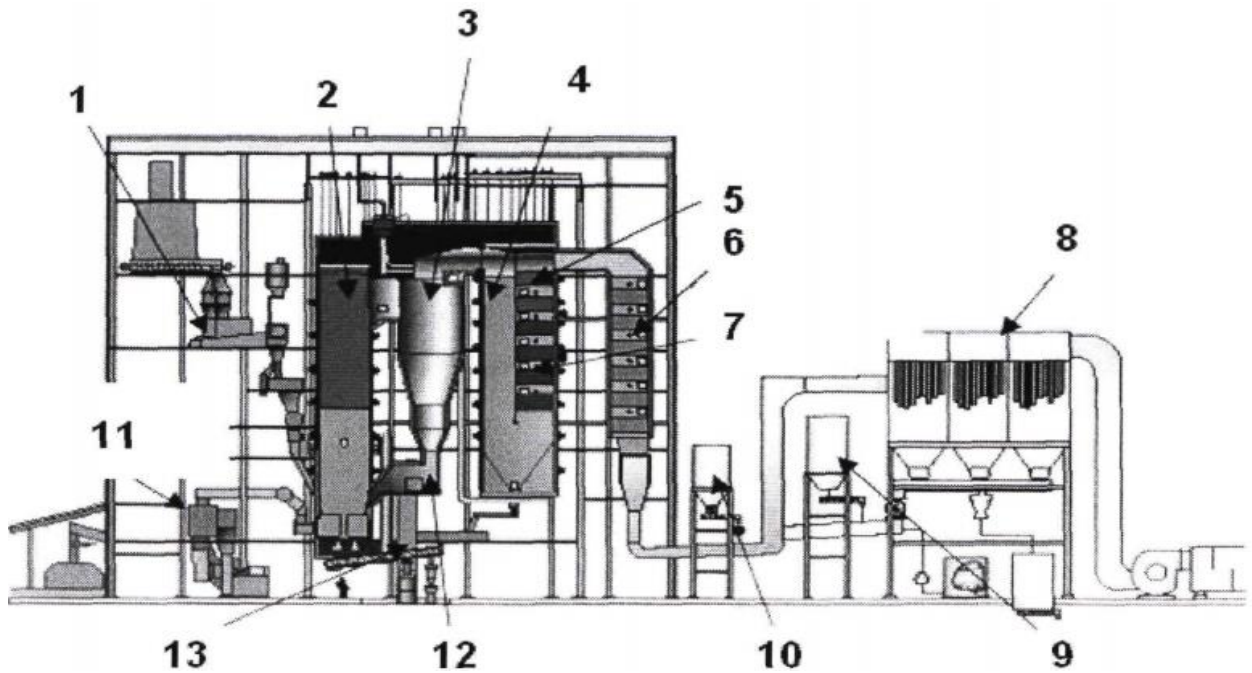


Рисунок 2.11 – Схема термічної переробки відходів в циркулюючому киплячому шарі на ТЕС Handelo, м Норрчепінг (Швеція)

Надійність сучасних котлів з ЦКШ визначила їх популярність на світовому енергетичному ринку. До середини 2008 р. тільки фірма *Foster Wheeler* виготовила і поставила близько 20 котлів з ЦКШ для спалювання різних відходів. Однак, незважаючи на досить високу для такого палива енергоефективність: ККД нетто становить близько 28%, через складну технологію підготовки ТПВ до спалювання, на спеціалізованих підприємствах для термічної утилізації ТПВ такі котли практично не використовуються. Як зазначалося вище, котли з ЦКШ встановлені, як правило, на енергетичних ТЕС.

Установки для переробки ТПВ в топках з вихровим киплячим шаром

Принцип вихрового киплячого шару - ВКС (технологія з киплячим шаром *ROWITEC®*) об'єднує в собі переваги класичної технології стаціонарного киплячого шару з перевагами циркулюючого киплячого шару. Розрізняють установки, що працюють за принципом одно- і двовихрового киплячого шару. Спалювання палива в двовихровому киплячому шарі здійснюється наступним чином. У нижній частині топкового пристрою, в якій відбувається основне горіння відходів, за рахунок відповідної подачі повітря,

форми решітки та конструкції топки, формуються парні вихрові зони - так званий вихровий киплячий шар. Киплячий шар складається ніби з двох зон піску з перетином еліптичної форми, розташованих дзеркально по відношенню одна до одної і рухаються назустріч одна одній (рис. 2.12).

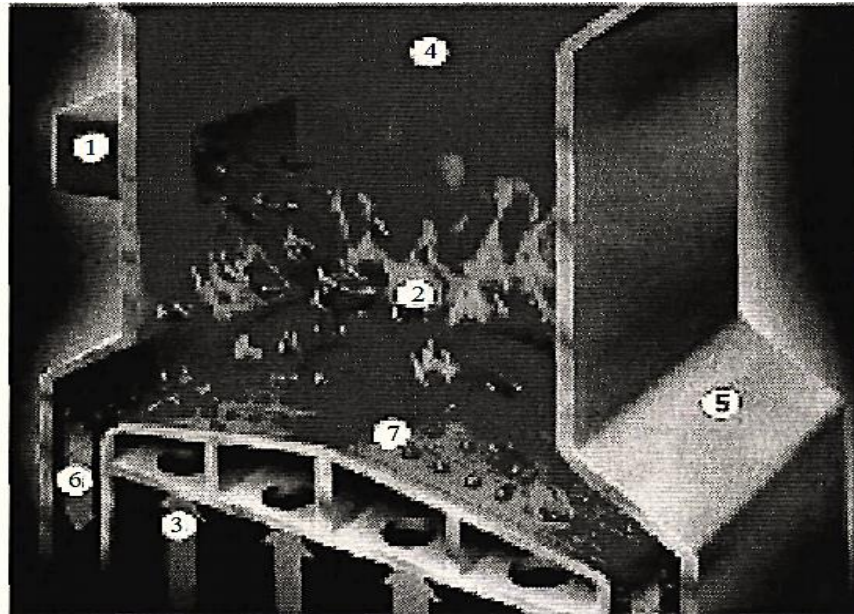


Рисунок 2.12 – Принцип дії вихрового киплячого шару

1 - завантаження відходів, 2 - вихровий киплячий шар, 3 - подача повітря для створення киплячого шару, 4 - вихід димових газів, 5 - відбивна плита, 6 - вивантаження золи киплячого шару (шлаку), 7 - похила соплова решітка

2.2.4. Спалювання в металургійних печах

Розробники технології спалювання ТПВ в шлаковому розплаві, що реалізується в металургійних печах, основною перевагою такого спалювання є повне розкладання шкідливих сполук за рахунок високих температур. Відразу слід зазначити, що на практиці технологія спалювання відходів в шлаковому розплаві існувала деякий час тільки як дослідно-промисловий зразок. (Після проведення дослідно-промислових випробувань зі спалювання побутових відходів в шлаковому розплаві піч була демонтована). Тому підтвердити або спростувати заявлену перевагу не представляється можливим. Проте, на рівні пропозицій відомо досить багато модифікацій технологій

спалювання ТПВ в шлаковому розплаві, які, в залежності від характеру процесу розрізняють:

- З використанням доменних печей з додаванням вугілля;
- З використанням збагаченого киснем дуття (процес Ванюкова);
- З використанням в якості дуття природного газу (флюмінг-процес);
- З використанням електрошлакового розплаву.

Ідея переробки ТПВ в пірометалургійних печах виникла давно. Ще в 60-х роках було виконано великий обсяг досвідчених плавок ТПВ в електропечі в Німеччині [29].

Випробування проводилися в широкому діапазоні температур (1100-1500°C), усувалися конструктивні недоліки печі, спрощувалася апаратура і ін. Однак ці дослідження (як і деякі інші пірометалургічні підходи до цієї проблеми) не знайшли подальшої промислової реалізації за кордоном. У Росії ж в 90-х роках минулого століття, у важких економічних умовах, інтерес до цієї проблеми виявили фахівці, які багато років займалися розробкою різних печей, які і стали пристосовувати їх для спалювання ТПВ. Так, в пірометалургічній області чорних металів пропонували доменні і електричні печі, фахівці кольорової металургії - шахтні печі, електропечі і печі Ванюкова, розробники плазмової техніки - плазмові печі і т.д.

Продукти високотемпературної переробки - рідкий метал (чавун) і рідкий розплав шлаку - пропонується переробляти в вироби (без повторного їх нагрівання), а тепло відхідних газів утилізувати для виробництва теплової та електричної енергії.

Серйозним недоліком запропонованої технології є необхідність подачі в процес спалювання ТПВ великих кількостей вугілля і вапняку (необхідність додаткового складського приміщення, додаткових транспортних систем для подачі в піч, складність шихтовки матеріалів, залежність від постачальників та ін.). При плавці залізних руд це виправдано, при переробці ТПВ є ускладнюючим, невиправданим фактором (сумарна витрата вугілля і вапняку - близько 60% від кількості ТПВ). До того ж, морфологічний склад ТПВ не

дозволяє ефективно виділяти металевий розплав в донній фазі (очевидно, необхідне додавання до ТПВ відповідних відходів з високим вмістом металу). Таким чином, технологія застосування доменного процесу для ТЕС на ТПВ навряд чи виправдана (перш за все, з економічних міркувань).

Принципова схема із застосуванням повітряно-кисневого дуття представлена на рис. 2.13.

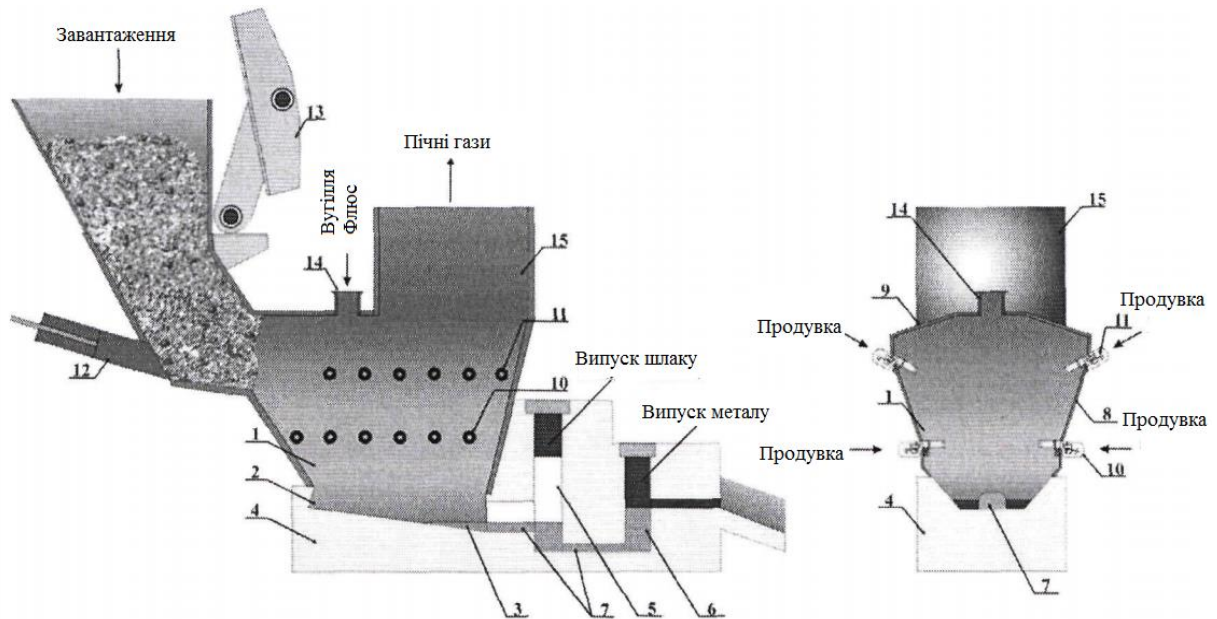


Рисунок 2.13 – Переробка відходів в печі Ванюкова

2.2.5. Термічна переробка з використанням процесів піролізу і газифікації

Поряд з прямим спалюванням піроліз і газифікація є найбільш відомими методами термохімічної переробки біомаси, промислових і побутових відходів. В даний час в світі відомо понад 30 технологій, основу яких складають процеси піролізу і газифікації, частина з яких пройшли промислову апробацію в Німеччині, Японії, Данії, США та інших країнах.

Деякі з цих технологій використовують піроліз (наприклад, технологія «SBV» (*Schwel-Brenn-Verfahren*) концерну «*Siemens KWV*») або газифікацію (технологія «наддіабатичного горіння») з подальшим спалюванням утвореного газу. Інші доповнюють піроліз газифікацією твердого піролізного

залишку (наприклад, технології «піроліз-газифікація» фірм *NOEL* і *Thermoselect S.A.*).

Опис суті процесів піролізу і газифікації стосовно ТПВ і огляд технологій переробки відходів, основу яких складають ці процеси, наведені в [24]. Нижче представлені найбільш відомі такі технології.

Піроліз твердих побутових відходів

Технологічний процес переробки твердих побутових відходів методом піролізу складається з декількох послідовних етапів: дроблення початкової маси для більш ефективної подальшої переробки, власне процес піролізу і очищення синтез-газу з метою його подальшого використання.

Установки піролізу можна також класифікувати за типом використовуваного реактора на наступні:

- установки піролізу в обертовому барабані;
- установки піролізу в киплячому шарі;
- шахтні печі.

Як правило, в установках з обертовим барабаном здійснюється низько- і середньотемпературний піроліз. Установки з киплячим шаром використовуються для середньотемпературного піролізу, а в шахтних печах реалізується високотемпературний піроліз.

Для ТПВ найбільш часто використовують процеси піролізу в барабанних печах. Одна з перших технологій промислової переробки ТПВ з використанням процесу піролізу (метод фірми *Deutsche Babcock Anlagen DBA*) була реалізована в 1983р. на заводі в м Бургау (Баварія) (рис. 2.14).

Подрібнені відходи спочатку піддаються піролізу в обертовому барабані. Сполуки фтору і хлору зв'язуються шляхом додавання разом з відходами негашеного вапна. Після видалення пилу в циклоні, гази надходять в спеціальну камеру згоряння, де вони згоряють при температурі 1250°C.

Після камери згоряння частина димових газів направляється на обігрів обертового барабана, а інша частина - в котел утилізатор для вироблення

перегрітої пари. Туди ж надходять і відпрацьовані димові гази з температурою 600°C після обертового барабана. Димові гази, охолоджені в котлі, проходять газоочистку і викидаються в атмосферу.

Тверді залишки після процесу піролізу видаляють через систему мокрого шлаковидалення, з них вловлюють метал і потім накопичують у шлаковому бункері для подальшого використання або вивезення на захоронення. Туди ж надходять і тверді частинки, вловлені в циклоні. Відзначимо, що твердий залишок після процесу піролізу містить в собі до 20% вуглецю і значну кількість важких металів

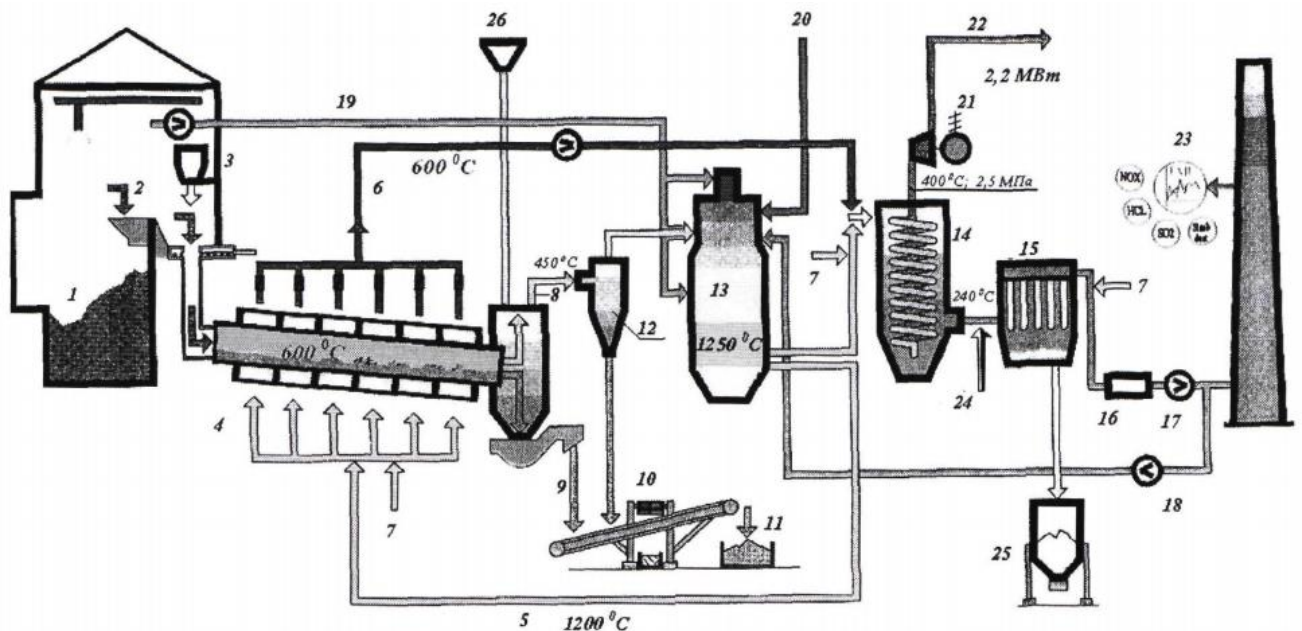


Рисунок 2.14 – Принципова схема технології термічної переробки ТПВ методом піролізу в м Бургау (Німеччина)

1- бункер ТПВ; 2 - дробарка; 3 - подача вапна; 4 - піролітичний обертовий барабан; 5 - підведення димових газів на обігрів барабана; 6 - відведення димових газів; 7 - подача аміаку; 8 - піролітичний газ; 9 - тверді залишки; 10 - металовловлювач; 11 - бункер-накопичувач твердих залишків; 12 - циклон; 13 - камера згоряння; 14 - котел-утилізатор; 15 - тканинний рукавний фільтр; 16 - каталізатор; 17 - димосос; 18 - димосос рециркуляції димових газів; 19 - повітря для продувки; 20 - звалищний газ; 21 - турбогенератор; 22 - тепло для

обігріву теплиць; 23 - газоаналізатор; 24 - подача суміші вапна і вугілля; 25 - бункер-накопичувач продуктів газоочищення; 26 - запобіжний клапан

Газифікація твердих побутових відходів

Основним елементом технологій, в основі яких лежить процес газифікації, є газогенератор. Для переробки ТПВ застосовують в основному шарові газогенератори. За типом утворених в процесі газифікації твердих залишків, шарові газогенератори діляться на установки з сухим і рідким шлаковидаленням.

Газогенератори з сухим шлаковидаленням достатньо часто використовуються, за кордоном досвід експлуатації вже декілька десятиків років. Таким, наприклад, є газогенератор фірми «Lurgi» (рис.2.15).

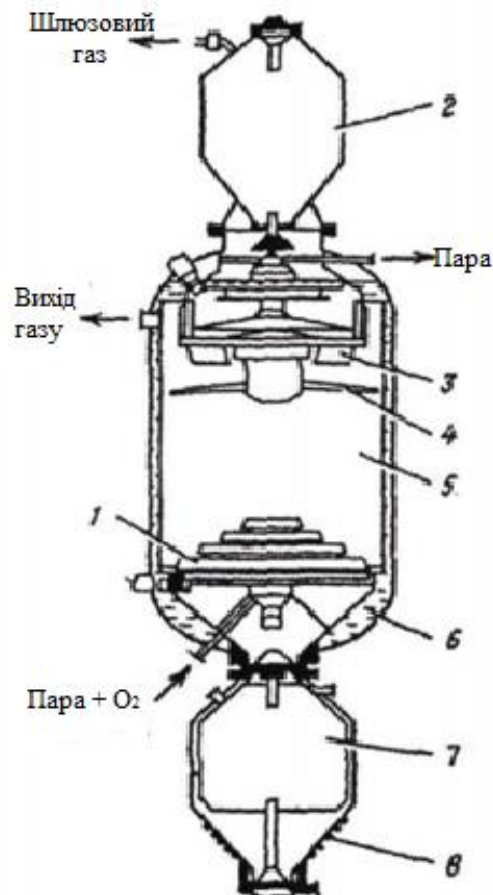


Рисунок 2.15 – Газогенератор з сухим шлаковидаленням фірми «Lurgi».

Необхідно відзначити, що сухе шлаковидалення при газифікації ТПВ призводить до утворення досить великої кількості золошлакових залишків, які потребують так само, як і при традиційному спалюванні на колосникових

решітках, захоронення на полігонах. З цієї причини набагато більшого поширення набули газифікатори з рідким шлаковидаленням, в яких зола видаляється у вигляді невилуженого склоподібного шлаку. Одним з таких газифікаторів є газогенератор типу BGL («*British Gas/Lurgi* »), створений в результаті реконструкції газогенераторів «*Lurgi*» з твердим шлаковидаленням шляхом заміни решітки, що обертається на шлакову вічку і установки фурм.

Установка для переробки ТПВ з таким газогенератором включає в себе технологічну лінію з отримання RDF з непідготовлених ТПВ, власне генератор з рідким шлаковидаленням і систему очищення генераторного газу. Схема процесу представлена на рис 2.16.

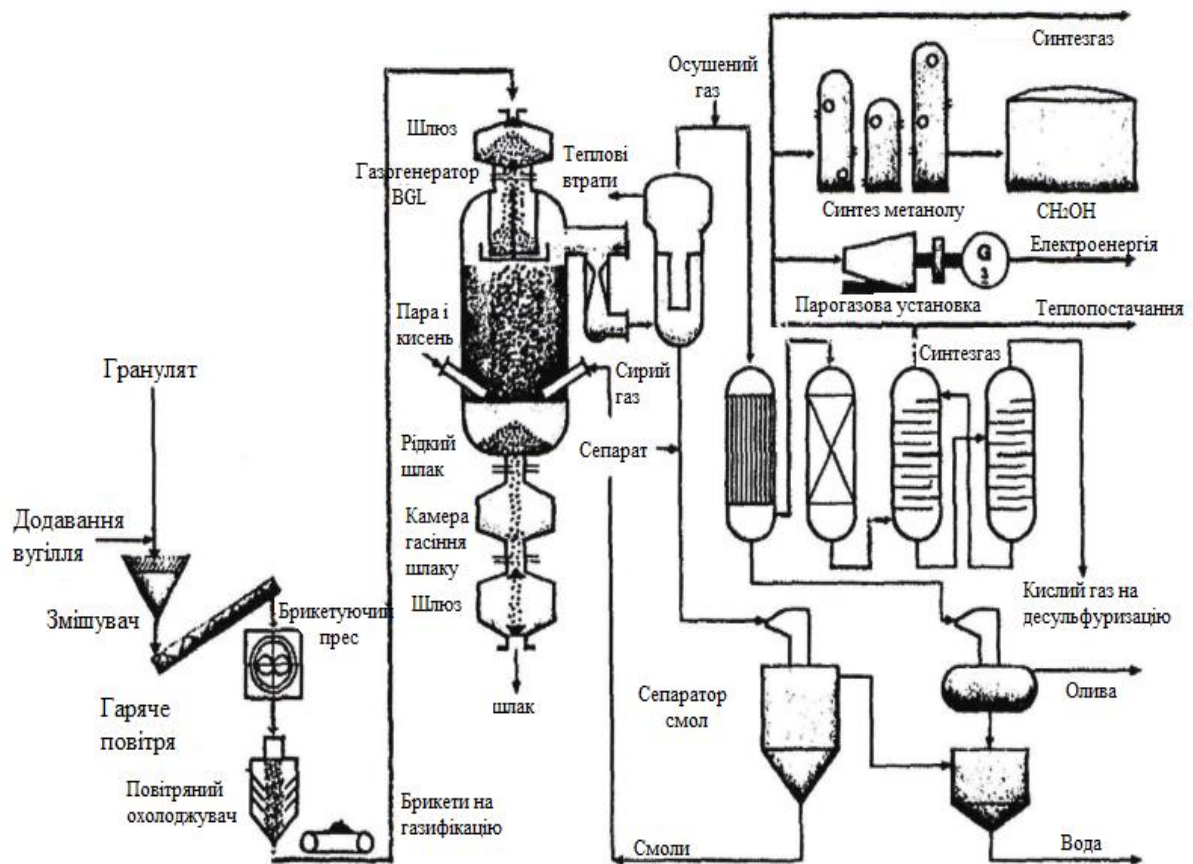


Рисунок 2.16 – Схема процесу переробки ТПВ з використанням газогенератора BGL з рідким шлаковидаленням

Непідготовлені відходи піддаються подрібненню в молотковій дробарці. Потім з них витягуються чорний і кольоровий металобрухт. За допомогою просіювання і класифікації відділяється інертна частина, яку направляють на захоронення. Після сушіння в сушильному барабані і додавання, якщо

потрібно, пилу бітумінозних вугіль, відходи, що пресуються брикети, охолоджуються в повітряному охолоджувачі і транспортуються в завантажувальний пристрій газогенератора *BGL*.

У генератор через фурми подається газифікують агент - суміш кисню і водяної пари, а також пилоподібна частина смол (аерозолі), яка відділяється в сепараторі смол.

Рідкий шлак видаляється через шлакову вічку, розташовану нижче фурм, і після грануляції у водяній ванні видаляється з газогенератора через шлюзові пристрої. Генераторний газ на виході з газогенератора промивається і охолоджується в потоці рециркулюючої води. Утворений двофазний потік газу і частинок рідини спрямовується в сепаратор-охолоджувач, в якому сепаруються аерозолі (важкі смоли) і частково рідка фаза. Аерозолі потім відокремлюються від рідини в сепараторі смол і направляються в фурми. Подальше охолодження частково осушеного газу здійснюється в спеціальному теплообміннику, після якого спрямовується в систему газоочищення і потім може використовуватися в системах теплопостачання, для вироблення енергії, наприклад, в парогазовій установці або в хімічному виробництві.

2.2.6. Термічна переробка з використанням плазмотронів

У плазмових технологіях нагрів відбувається в результаті генерації плазми - іонізованого газу з великою енергією. На основі цього плазмового нагріву можуть бути реалізовані різні процеси - наприклад, спалювання, газифікація.

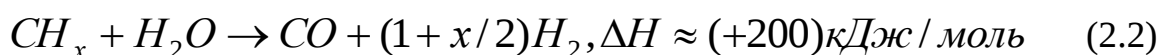
В [31] наведено опис розроблених до 1995 р. технологій переробки ТПВ із застосуванням в якості джерела нагріву генератора низькотемпературної плазми (плазмотрону).

Це технології фірм «Канада Ресопшін лтд », «*Plasma Energy Corporation*» (США), «*Westinghouse* » (США), «*Mason and Hanger National, Inc*» (США), «*Плазма Енерджі Кор.*» (США), «Сібекотерм» (Новосибірськ). В [32] повідомляється, що зараз в світі більше 30 компаній (в США, Німеччині, у

Франції, в Росії, Білорусії, Чехії, Італії, Ізраїлі, Бразилії, Канаді, Китаї, на Тайвані, в Індії, Австралії та ряді інших країн) спеціалізуються на розробці подібних технологій і обладнання для переробки відходів різного походження. Основними розробниками і постачальниками плазмових технологій в даний час є *Westinghouse Plasma Corporation* (США), яка об'єдналася в 2007р. з *Alter NRG* (Канада), *Plasco Energy Group Inc.* (Канада), *Europlasma* (Франція), *Advance Plasma Power* (Великобританія), *Tetronics Ltd.* (Великобританія), *Prometron Technics Corporation* (Японія), *E.S.T.* (Ізраїль), *Phoenix Solutions Co.*, *RETECH Inc.* та ін.

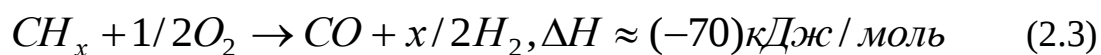
Опис пропонованих на сучасному ринку послуг подібних технологій представлені в [33]. Там також повідомляється про те, що в даний час в експлуатації знаходяться всього лише 4 установки продуктивністю понад 100т /добу, що використовують так звані плазмові технології. Слід зазначити, що в основному на цих установках ТПВ переробляють в суміші з промисловими відходами, а спеціалізується на переробці тільки ТПВ лише одна, продуктивністю 37,5 тис. т рік (5т /год), яка експлуатується як демонстраційна за підтримки уряду Канади.

Як зазначено в [33], в основі плазмових технологій лежить процес парової конверсії органічних сполук, що відбувається згідно рівняння 2.2:



Синтез-газ, що отримується в процесі парової конверсії, має теплоту згоряння до 15 МДж / м³.

Альтернативою парової конверсії є автотермічний риформинг:



Однак при використанні повітря для реакції (2.3), отриманий синтез-газ містить близько 70% азоту і його теплота згоряння складає всього 1,05 МДж/м [34], що є гранично низькою для використання цього газу в енергетичних установках.

Сучасна установка для плазмової переробки відходів зазвичай передбачає використання плазмотронів постійного струму з регульованою потужністю 180 кВт і споживанням електроенергії 200 кВт. Як правило, технологія передбачає кілька плазмотронів (для установок, опис яких наводиться в [34], до 12).

В [34] вказується, що основними стримуючими факторами, які перешкоджають широкому використанню плазмових технологій для переробки відходів, є недостатньо великий ресурс роботи генераторів низькотемпературної плазми - плазмотронів, а також той факт, що плазмовий дуговий розряд є відносно локальним джерелом нагрівання, тому для забезпечення задовільного теплопереносу, матеріал, що переробляється, повинен бути ретельно подрібнений. Одержаний синтез-газ необхідно піддавати глибокому очищенню від шкідливих домішок, які утворюються в відновлюючому середовищі при високих температурах: сірководню, аміаку, фосфіну, арсину, хлористого водню та ін.

Крім того, плазмові технології не доцільні для енергетичної утилізації безпечних відходів через низьку енергоефективності [33]. В [35] порівнюється енергетична ефективність (в перерахунку на сумарну енергію горючих компонентів одержаного синтез-газу) процесів плазмової і автотермічної газифікації при температурі 1400 К для одного і того ж виду палива (відходу). Показано, що додатковий енергетичний вихід з синтез-газу, що досягається за рахунок «плазми», при існуючих методах перетворення енергії, навіть без урахування втрат з охолодженням, баластування робочої суміші в реакторі і т.д., не може покрити витрат електроенергії. Встановлено також, що подальше підвищення температури супроводжується лише незначним збільшенням хімічної енергії синтез-газу, тобто з енергетичної точки зору не ефективно.

Таким чином, як зазначено в [33], використовувати плазмові технології для енергетичної утилізації безпечних відходів, якими є ТПВ, через їх низьку енергоефективності недоцільно.

З ПРИНЦИП ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Практично всі діючі в країнах СНД сміттєспалювальні заводи оснащені імпортним обладнанням. Термічний метод знешкодження побутових відходів, як показує досвід експлуатації в Україні сміттєспалювальних заводів, також може призводити до забруднення довкілля, оскільки при недотриманні технологічного режиму спалювання відходів в атмосферу можуть потрапляти токсичні речовини. Однак до недавнього часу цей метод вважався майже безальтернативним і для промислових міст України.

Україна має досвід експлуатації сміттєспалювальних заводів (виробництва чеської фірми «ЧКД-Дукла») в містах Києві, Харкові, Дніпропетровську, Севастополі. Проектна потужність одного котлоагрегату – 15 т/год. Досвід експлуатації заводів виявив багато недоліків: фактична потужність на вітчизняних відходах була на рівні 60...70 % від проектної, теплова енергія ефективно не використовувалась, заводи не мали досконалого блоку газоочистки. Внаслідок недотримання технологічного режиму спалювання, в атмосферу потрапляли токсичні речовини. Зола сміттєспалювального заводу є токсичною речовиною (високого класу небезпеки) і потребує спеціальних методів знешкодження.

Більшість вказаних недоліків відсутні на сміттєспалювальних заводах США, Японії, Канади та країн Західної Європи. В цих країнах вирішені питання очищення газів, а також утилізації і знешкодження токсичної золи та шлаку. Практично всі зарубіжні сміттєспалювальні заводи мають обладнання для утилізації тепла. На всіх заводах відбирають брухт чорного металу.

Однак, як засвідчує досвід, всі відомі технології спалювання побутових відходів мають 2 суттєві недоліки, це утворення порівняно великої кількості (до 30 % від вхідної маси відходів) неспалюваного залишку (більш токсичного, ніж самі відходи), а також великих обсягів димових газів (до 20 тис. м³ на 1 т спалюваних відходів), які погано піддаються очищенню. Спочатку на димові викиди сміттєспалювальних печей встановлювались лише обмеження

за кількістю твердих частинок в 1 м^3 вихідних газів (не більше $5,1 \text{ г/ м}^3$). Однак, в міру подальших досліджень, в димових газах сміттєспалювальних заводів виявлялось все більше токсичних хімічних речовин та сполук (азоту, сірки, хлору, важких металів, тощо), що ускладнювалось з розширенням різноманіття складових компонентів побутових відходів, особливо з появою нових видів полімерної тари та пакувальних матеріалів, непередбачуваністю складу відходів. В димових газах були виявлені надтоксичні ксенобіотики – діоксини (високомолекулярні хлорорганічні сполуки), які практично не піддаються газоочищенню. Це призвело до підвищення екологічних вимог до димових викидів сміттєспалювальних установок, а також до обмежень на спалювання несортованих побутових відходів. Системи газоочищення сміттєспалювальних заводів стали багатоступеневими (включаючи електромеханічне, фізико-хімічне, реагентне, сорбційне, та інші види очищення), а також складними і тому ненадійними в роботі, а також дорогими (на газоочищення витрачається до 50 % капіталовкладень) [36].

Найбільш поширене традиційне просте (одностадійне) спалювання побутових відходів на рухомих колосникових решітках (валкових, перештовхуючих, коливальних, конвейєрних, тощо), при низьких температурах ($700\ldots 800^\circ\text{C}$), на даний час, уже не відповідає сучасним екологічним вимогам, головним чином, через наявність у газових викидах діоксинів, фуранів, бифенілів, які викликають важкі захворювання включаючи онкологічні, пошкодження імунної системи, порушення репродуктивної та інших життєво важливих функцій організму. Для гарантованого знезаражування надтоксичних діоксинових забруднень газових викидів необхідна високотемпературна обробка газів при температурі 1150°C і вище.

Для виконання цих вимог сміттєспалювальні установки стали доповнювати камерами допалювання, що суттєво ускладнило технології та конструкції спалювального обладнання. Введення в дію низки стандартів ЄС (в кінці минулого та на початку нинішнього століття), а також нових національних стандартів європейських країн призвело до закриття частини

сміттєспалювальних заводів та відмови від попередніх програм їх будівництва [37, 38].

Останнім часом, у всіх країнах спостерігається стрімкий розвиток екологічно більш безпечних (ніж пряме спалювання) та безвідходних технологій термічного перероблення побутових відходів з використанням газифікації, піролізу та електрошлакового переплаву при температурах 1300...1800°C і більше, при яких відбувається гарантоване руйнування діоксинової решітки безпосередньо в реакторі [39]. Термічне перероблення відходів відбувається у дві стадії: на першій стадії із горючих фракцій відходів утворюється горючий газ, а на другій-горючий газ спалюється і утилізується (за парогазовим циклом) на когенераційній установці з виробленням електричної енергії і тепла. Ці технології забезпечують повне знезаражування горючих газів у зоні високих температур, а також переплав та осклування шлаку, який при цьому перетворюється на будівельний матеріал. Крім того, забезпечується більш повне використання енергетичного ресурсу відходів при високих теплових ККД енергетичних когенераційних установок. Можливе використання генераторного та піролізного газів як палива для двигунів внутрішнього згоряння, для синтезу рідких палив, а також у хімічній промисловості.

Основні техніко-економічні характеристики деяких діючих і проєктованих установок та обладнання для термічного перероблення побутових відходів наведені в таблиці 3.1.

Аналіз технологій та обладнання за таблиці 3.1 засвідчує, що з розвитком технологій термічної утилізації відходів, людство переходить на процеси піролізу та газифікації.

При цих процесах відбувається неповне окислення органічної складової відходів, а газоподібні та тверді продукти неповного окислення використовуються як замітники традиційних палив. В процесах газифікації та піролізу відбувається термічна деструкція органічної частини палива, виготовленого із відходів. Продуктами перероблення є тверді вуглецеві

матеріали (пірокарбон), смолисті речовини (подібні до мазуту), горючий газ (генераторний, піролітичний) (суміш газів CH_4 , CO , H_2 , тощо).

Таблиця 3.1 – Основні техніко-економічні характеристики технологій і заводів (установок) з термічного перероблення побутових відходів

№	Технології, установки, заводи	Продуктивність	Вид термічної переробки відходів	Температура в робочій зоні °С	Особливості конструкції	Температура в зоні макс.нагріву, °С	Залишок %
1	Чехія «ЧКДДукла» (Україна, мм. Київ, Харків, Дніпропетровськ, Севастополь; 1985-1993 рр.)	15 т/год. (одного котлоагрегату)	Пряме спалювання відходів на колосниковій решітці (з природним газом)	700...900	Котлоагрегат. з колосниковою решіткою у вигляді циліндричних валків	950	30
2	Франція «KNIM» (Росія, м. Москва, ССЗ № 2, 1975 р, 2003 р.) [40]	8,3 т/год. (одної лінії)	Пряме спалювання відходів на колосниковій решітці (з природним газом)	700...900	Котлоагр. з колосниковою решіткою у вигляді перештовхуючої решітки	950	30
3	Данія «Volund» Австрія «EVN» (Росія, м. Москва, ССЗ № 3, 1983 р.) [40]	300 тис. т/рік	Пряме спалювання відходів на колосниковій решітці (з природним газом)	700...900	Котлоагр. з колосниковою решіткою у вигляді каскаду перештовхуючих решіток з барабаном	950	30
4	Німеччина (топка «Romites», Японія) (Росія, м. Москва, ССЗ № 4, 2004 р.) [40]	13,5 т/год. однієї лінії	Пряме спалювання відходів у вихровому кип'ячому шарі (з природним газом)	800...950	Шахтна піч з камерою спалювання відходів у вихровому шарі піску	1000	25
5	Україна НАНУ (м. Люботин, Харківської обл. 2003 р.)	30 тис. т/рік	Пряме спалювання відходів в обертовому барабані. Спалюв. прир. газу.	700...850	Обертова барабанна піч	850	20
6	Німеччина, «Noel GmbH» (1994 р.) [42]	100 тис. т/рік	Піроліз із зовнішнім нагрівом.	550	Барабанний обертовий реактор	-	30

			Спалюв. прир. та/ або пірол. газу.		модульноблочни й		
7	Німеччина, «Siemens» (1996 р.) [42]	100...150 тис. т/рік	Газифікація Спалюв. прир. та/ або генер. газу.	450...650	Камерний реактор	1300	20
8	Німеччина, «KSK-WT GmbH» (2007 р.) [44]	100 тис. т/рік	Піроліз у розплаві. Спалюв. прир. та/ або пірол. газу	800	Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	2000	-
9	Австрія, «Thermoselect» (2007 р.) (Японія, м.Чуба) [45]	100 тис. т/рік	Піроліз із переплавом шлаку. Кисневе дугтя.	1000	Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	2000	10
10	США, «Resorcies» (м. Сан-Хосе 1985 р.) [42]	15 тис. т/рік	Піроліз із зовнішнім нагрівом.	600...800	Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	-	17... 25
11	США, «TNN – WNN» (Штати Джорджія, Пенсільванія, Огайо, Юта. 2006 р.) [46]	200 тис. т/рік	Піроліз із переплавом шлаку. Електроплаз мовий нагрів	600...1000	Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	2000	-
12	США, «TNN – WNN» (Японія, Тайвань) (2006 р.) [46]	100...200 тис. т/рік	Піроліз із переплавом шлаку. Електроплаз мовий нагрів	600...1000	Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	3000...6000	-
13	США «Recovered Energy Inc» (2007 р.) [47]	100...200 тис. т/рік	Піроліз із переплавом шлаку. Електроплаз мовий нагрів.	600...1000	Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	3000...6000	-
14	Росія, піч Ванюкова (м. Рязань, 1999 р.) [48]	50 тис. т/рік	Піроліз в расплаві металу. Повітряноки снев дугтя	1000...1200	Камерна піч (реактор)	1300	-
15	Росія, ДУП МосНВО Радон (м. Москва, 2006 р.) «Плутон» [49]	50 кг/год 250 кг/ год	Піроліз в розплаві електроплаз ми		Шахтний реактор із зоною розплаву шлаку	600... 1800	-
16	Росія, Інсти-тут Електро-фізики	200 кг/год	Піроліз із переплавом	800...1000	Барабанний реактор із зоною	1600...1800	-

	РАН (м. Москва, 2000 р.) [50]		шлаку. Електроплазмовий нагрів		розплаву та шахтна піч допалюв		
1 7	Россія, Газифікатор твердих палив. МПП «Салют» (м. Москва) [51]	2500 кг/год	Газифікатор. Спалюв. природн. та/або генерат. газу	500...1000	Шахтний реактор	1700	15

У більшості процесів газифікації та піролізу підтримується температура 800...900°C, однак в зоні виходу із реактора (при використанні газокисневих пальників чи плазмотронів) температура підвищується до 1100...1200°C і вище, що дає змогу отримати більш чистий і висококалорійний газ. Теплотворність генераторного газу становить 4...10 і піролізного – 10...20 МДж/нм³. При цьому забезпечуються більш широкі, ніж при простому спалюванні, можливості вибору варіантів реалізації енергетичного ресурсу відходів та адаптації до місцевих споживачів тепла і електроенергії. Горючий газ (генераторний чи піролітичний) може накопичуватись для зберігання, передаватись трубопроводами, перевозитись автотранспортом, спалюватись та утилізуватись в уже існуючих енергетичних установках (котлах, пальниках, газових турбінах, газопоршневих двигунах, тощо).

3.1 Визначення схеми переробки твердих побутових відходів для міського округу міста Дніпро

Розробка алгоритму вибору технології термічної утилізації ТПВ досить складне і неоднозначне завдання. Очевидно, що пошук рішення повинен базуватись на ряді взаємопов'язаних, але іноді суперечливих критеріїв. Крім того, слід заздалегідь визначити пріоритети прийнятих до уваги чинників. Критерії та їх пріоритети повинні об'єктивно відображати як реальний стан речей в області переробки відходів, так і інтереси замовника.

Розробка критеріїв і експертний порівняльний аналіз базових технологій на їх основі представлені в [52]. Перший ключовий критерій - без сумніву критерій забезпечення екологічної безпеки всього процесу термічної

утилізації ТПВ. Для будь-якого індустріального центру з властивим йому комплексом проблем кожне нове промислове підприємство повинно відповідати жорстким сучасним екологічним нормативам. Другий критерій - це сукупність техніко-економічних характеристик розглянутих варіантів технологій і обладнання для термічної утилізації ТПВ. При цьому особлива увага повинна бути приділена наявності сучасних серійних промислових зразків і наявного досвіду їх експлуатації. В якості третього основного критерію запропоновано розглядати вартісні показники. Нарешті, четвертий критерій - соціальні аспекти.

Вибір технології переробки визначається рішенням головного завдання - завдання санітарної очистки міста від ТПВ.

При виборі технології необхідно враховувати такі фактори і критерії:

Техніко-економічні фактори:

- A. Наведені витрати повинні бути мінімальні;
- B. Витяг утилізованої сировини повинно бути максимальним.

Екологічні фактори:

- C. Екологічні збитки повинен бути мінімальним;
- D. Кінцеві продукти переробки повинні бути екологічно безпечними;

Кліматичні і соціальні чинники:

- E. Повинні бути забезпечені оптимальні кліматичні і соціальні умови.

Для вибору найбільш оптимальної технології переробки і утилізації ТПВ в м Дніпро розглянемо такі технології та визначимо найпоширеніші у світі (таблиця 3.2).

Складування - полігон, який відповідає вимогам охорони навколишнього природного середовища (захист від забруднення води, ґрунту, повітря) з високоінтенсивними технологічними процесами (поділ на секції, ущільнення, відведення і циркуляція фільтрату та ін.)

Спалювання - спалювання без попереднього сортування в шаровій топці з похилою перештовхуючою решіткою.

Компостування - біотермічне знешкодження з отриманням компосту і виділенням металів.

Рециклінг та піроліз - виділення чорного і кольорового металобрухту, скла, паперу та пластику, 2-х етапне дроблення, піроліз з попередньою сушінням, конденсація і ректифікація парогазової суміші. Отриманий пірокарбон використовується у якості будівельного матеріалу.

Виробництво RDF - дроблення і сепарація легких і важких фракцій, виділення металу, просівання і брикетування органічних фракцій, очищення вентиляційного повітря.

Рециклінг та піроліз - виділення металів, мінеральної та органічної частини, піроліз мінеральної та органічної частини, очищення відпрацьованих газів.

Сортування + аеробне компостування - заводи, що працюють за технологією механізованого і ручного сортування з компостуванням органічної частини ТПВ, за методом аеробного компостування в буртах. Працюють за принципом сортування всіх корисних компонентів складових ТПВ. У процесі сортування відбувається відділення наступних компонентів ТПВ: чорні і кольорові метали, пластмаса, папір, текстиль.

Таблиця 3.2 – Технології переробки ТПВ

№ з/п	Найменування технології переробки	Поширення у світі, %
1	Складування	40
2	Спалювання з утилізацією тепла	20
3	Рециклінг та піроліз	7
4	Виробництво RDF	4
5	Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню	10
6	Рециклінг та аеробне компостування	6
7	Рециклінг та анаеробне компостування	5
8	Рециклінг, анаеробне компостування та спалювання	3
9	Отримання біогазу	5

Сортування + анаеробне компостування - заводи, що працюють за технологією механізованого і ручного сортування з компостуванням органічної частини ТПВ, за методом анаеробного компостування в метантенках з отриманням компосту і електричної енергії при використанні біогазу.

Сортування + анаеробне компостування + спалювання - заводи, що працюють за технологією механізованого та ручного сортування з компостуванням органічної частини ТПВ, за методом анаеробного компостування в метантенках з отриманням компосту і електричної енергії при використанні біогазу і спалюванням частини ТПВ, що не піддається компостуванню, з отриманням пірокарбону, теплової енергії та знешкодження шлаку.

У зв'язку з виділенням біогазу на полігонах (калорійність 4500 ккал / кг) останнім часом пропонуються технологічні рішення з його використання у вигляді палива для енергосистем полігону, або збір і отримання скрапленого газу, що також передбачає додаткові витрати на обладнання з безпеки його експлуатації.

Збір біогазу та його використання збільшує пожежонебезпеку. В зв'язку з цим необхідний контроль герметичності мереж транспорту газу і отриманого тепла [53, 54]. Використання зібраного на полігоні біогазу доцільно для систем теплоенергетики МЗС і МПЗ. При цьому можливі відхилення параметрів системи від розрахункових значень через зміни емісії біогазу та некондиційної роботи арматури. У зв'язку з цим пропонується резервування систем транспорту газу по магістралям і мережам тепlopостачання. Принцип енергетичного еквівалентування дозволяє для досягнення цієї мети використовувати системи автоматизованого комп'ютерного контролю [55].

При порівнянні схем враховується, що якість кінцевих продуктів неоднакова, тому наведені нижче розрахунки носять орієнтовний характер. Повне техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) може бути проведене тільки після виконання досліджень складу та властивостей ТПВ, розгляду

геопідоснови і отримання технічних умов на підключення. На першому етапі оцінюються капітальні витрати [55].

Капітальні витрати

Наведені витрати визначаються за формулою 3.1:

$$Z_n = C_n + E \cdot K_n \quad (3.1)$$

Z_n - річні наведені витрати;

C_n - експлуатаційні витрати, з урахуванням вартості отриманої продукції. $C_n = C - B$;

E - нормативний коефіцієнт ефективності (для комунального господарства = 0,12);

K_n - капітальні витрати;

C - експлуатаційні річні витрати;

B - вартість реалізації корисних компонентів і ресурсів, отриманих в результаті переробки ТПВ при різних технологіях;

Для визначення індексу витрат (критерій A), кожній з технологій присвоюємо найбільш дешевою технології індекс -10, а дорогою -20 отримаємо:

1. Складування - 10;
2. Спалювання з утилізацією тепла - 17,4;
3. Рециклінг та піроліз - 13,1;
4. Виробництво RDF + компостування - 19,7;
5. Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню - 14,7;
6. Рециклінг + аеробне компостування - 10,4;
7. Рециклінг + анаеробне компостування - 11,6;
8. Рециклінг + анаеробне компостування + спалювання - 12,1;
9. Отримання біогазу - 15;

За критерієм *B* (максимальне використання цінних складових ТПВ - з урахуванням отримання теплової та електричної енергії) проведемо привласнення індексу.

Для порівняння технологій за критерієм (*B*) приймаємо найбільш оптимальну (за обсягом отримання продукції з ТПВ) технологію за 10 і найбільш гіршу - за 20. Визначаємо індекс (*B*) для різних категорій:

1. Складування - 20;
2. Спалювання з утилізацією тепла - 19,8;
3. Рециклінг та піроліз - 13;
4. Виробництво RDF + компостування - 14,3;
5. Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню - 16;
6. Рециклінг + аеробне компостування - 15,6;
7. Рециклінг + анаеробне компостування - 15,3;
8. Рециклінг + анаеробне компостування + спалювання - 13,3;
9. Отримання біогазу - 14;

Екологічні показники

При порівнянні різних технологій переробки з екологічних показниками враховуємо критерії:

- C*. Технологія переробки ТПВ повинна бути екологічно чистою;
- D*. Кінцеві продукти переробки не повинні завдавати шкоди навколишньому середовищу.

Критерії *C* і *D* характеризуються основними санітарно-гігієнічними показниками.

Розглянемо вплив технологій переробки ТПВ на навколишнє середовище за критерієм *D*.

Для порівняння екологічної чистоти технології переробки ТПВ щодо забруднення повітряного середовища (критерій *C*), проведемо розрахунок за викидами шкідливих речовин за 1-м і 2-м класом небезпеки.

Для порівняння технологій, прирівнюємо валові викиди 1-го класу до викидів 2-го класу, помножимо на $K_{\phi} = 150$ (зразкове співвідношення ГДК).

Для цього приймаємо найбільш оптимальну з екологічної точки зору технологію (за викидами шкідливих речовин в атмосферу).

1. Складування - 20;
2. Спалювання з утилізацією тепла - 10;
3. Рециклінг та піроліз - 12;
4. Виробництво RDF + компостування - 19,5;
5. Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню - 12;
6. Рециклінг + аеробне компостування - 16;
7. Рециклінг + анаеробне компостування - 15;
8. Рециклінг + анаеробне компостування + спалювання - 14,3;
9. Отримання біогазу - 15,5;

Розглянемо технології за критерієм D (кінцеві продукти переробки).

В даний час розроблена технологія на отримання з утворених шлаків будівельних матеріалів (шлакоблоків), яка дозволяє утилізувати до 80%, а решта 20% в якості інертного матеріалу може бути спрямована на полігон захоронення ТПВ для ізоляції відходів.

За технологіями із застосуванням компостування виходить компост. Для отримання "чистого" компосту (без домішок важких металів) необхідно мати систему попереднього сортування компонентів ТПВ, які мають в своєму складі важкі метали (батареї, відходи побутової радіоапаратури, скло, кераміку і т.д.). Однак в даній технології існує 30% великих некомпостуємих фракцій, які підлягають захороненню.

При технології компостування + спалювання фракцій, що не підлягають компостуванню, тільки 4-5% від загального переробленого обсягу ТПВ підлягають захороненню.

Кількість і вид кінцевих неутилізованих продуктів, одержуваних при різних технологіях, наведені в таблиці 3.3. Для порівняння технологій за

критерієм *D* приймаємо найбільш оптимальну з екологічної точки зору технологію (щодо відходів) - Сорткування + анаеробне компостування + спалювання за 10 і найбільш гіршу - складування за 20.

1. Складування - 20;
2. Спалювання з утилізацією тепла - 12,8;
3. Рециклінг та піроліз - 13;
4. Виробництво RDF + компостування - 10,5;
5. Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню - 10,5;
6. Рециклінг + аеробне компостування - 12,9;
7. Рециклінг + анаеробне компостування - 12;
8. Рециклінг + анаеробне компостування + спалювання - 10;
9. Отримання біогазу - 10;

Таблиця 3.3 – Кількість і вид кінцевих неутилізованих продуктів, одержуваних при різних технологіях знешкодження утилізації

Технологія	Найменування	% маси ТПВ
1	Складування	100
2	Спалювання з утилізацією тепла	25(шлак) 3 (зола)
3	Рециклінг та піроліз	30 (баласт,шлак)
4	Виробництво RDF + компостування	5(баласт)
5	Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню	4,2 (баласт)+ 6 (зола и шлак)
6	Рециклінг + аеробне компостування	29,2 (круп. некомпост.)
7	Рециклінг + анаеробне компостування	20 (круп. некомпост. фракцій, баласт)
8	Рециклінг + анаеробне компостування + спалювання	0
9	Отримання біогазу	0

Кліматичні і соціальні фактори

Враховуємо критерій *E* - кліматичні і соціальні умови.

Одним з найважливіших факторів вибору технології переробки ТПВ є кліматичні характеристики району проектування, а також чисельність населення, що обслуговується. Враховується також можливість відведення земельної ділянки під спорудження.

Для даного кліматичного району і чисельності населення міста, технології переробки ТПВ розташовуються в наступному порядку:

1. Складування - 15;
2. Спалювання з утилізацією тепла - 15;
3. Рециклінг та піроліз - 10;
4. Виробництво *RDF* + компостування - 10;
5. Компостування та спалювання фракцій, які не піддаються компостуванню - 10;
6. Рециклінг + аеробне компостування - 10;
7. Рециклінг + анаеробне компостування - 10;
8. Рециклінг + анаеробне компостування + спалювання - 10;
9. Отримання біогазу - 10;

3.2 Визначення оптимальної технології переробки твердих побутових відходів

Для вибору оптимальної технології знешкодження та утилізації ТПВ для м. Дніпро обчислюємо сумарну оцінку технологій за усіма розглянутими критеріями (таблиця 3.4).

Найменший сумарний індекс визначає оптимальну технологію знешкодження та утилізації ТПВ наприклад для м. Дніпро. Рекомендована технологія - попереднє сортування вторсировини та утилізація невідсортованих відходів методом піролізу.

Таблиця 3.4 – Сумарна оцінка технологій знешкодження ТПВ

Технологія	Критерії вибору					Σ індексів
	A	B	C	D	E	
1	10	20	20	20	15	85
2	17,4	19,8	10	12,8	15	75
3	13,1	13	12	13	10	61,1
4	19,7	14,3	19,5	10,5	10	74
5	14,7	16	12	10,5	10	63,2
6	10,4	15,6	16	12,9	10	64,9
7	11,6	15,3	15	12	10	63,9
8	13,5	14,7	14,3	10	10	62,5
9	15	14	15,5	10	10	64,5

3.3. Підбір газоочисного обладнання

Газоочисне обладнання виготовляється різними фірмами, а комплектується або фірмою, що спеціалізується тільки на газоочисному обладнанні (*Lurgi, ABB, Flakt, LAS*), або фірмою постачальником обладнання для спалювання ТПВ (наприклад, *Von Roll, Babcock, Lentjes, Steinmuller, Noell*). Крім згаданих фірм, можна назвати ще такі фірми постачальники газоочисного устаткування: *Alstom, EVT, BEHT, Rothemuhle (LCS), Walther Austrian Energy, LAB, Niro Atomicer. Wiegand* і інші менш значущі фірми.

Як зазначалося у розділі 3.3, необхідно використовувати рукавний фільтр із скловолокном та мокрий скруббер.

Краще використовувати газоочисне обладнання вітчизняного виробництва, що позитивно вплине на капітальні витрати. У якості прикладу, мокрого скрубера можна навести ТОВ "Завод композитних матеріалів "Анора", вартістю 56880 грн, а рукавного фільтра ТОВ "Фолтер-Україна", вартістю 70400 грн.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз сучасного стану проблеми поводження з ТПВ. Негативними факторами проблем поводження з ТПВ є забруднення повітря, та ґрунтових вод. Це пов'язано з використанням полігонів для захоронення ТПВ, або спалювання без використання необхідних очисних споруд. Основні причини проблеми поводження з твердими побутовими відходами в Україні є відсутність практики сортування сміття, що ускладнює процеси рециклінгу та використання ПЕТ-тари, яка не підлягає біорозкладенню та при спалюванні утворює канцерогенні речовини.

2. Зроблений аналітичний огляд сучасного стану енергетичного використання твердих побутових відходів. Розглянувши світову практику, можна зробити висновки що більшість ТПВ спалюється на заводах з метою отримання теплової енергії. Але, більшість нових підприємств використовують методи термічного розкладання (піролізу). Під час піролізу утворюється менше забруднюючих речовин, ніж під час спалювання в атмосферному повітрі, а, отже, цей процес не вимагає на стільки великих капітальних витрат на споруди для очищення газоповітряної суміші.

3. Підібране газоочисне обладнання для досягнення норм на викиди забруднюючих речовин. Доцільно використовувати мокрий скруббер з передочищенням димових газів в рукавному фільтрі. Початкова температура димових газів не дозволяє використовувати рукавний фільтр. Але, можливий теплообмін у блоці осушки ТПВ. Після охолодження, димові гази мають температуру близько 200°C, що задовольняє умови очищення рукавним фільтром із скловолокна та доочищення у мокрому скруббері. Використання мокрого скруббера дозволяє зменшити концентрацію у димових газах не лише твердих речовин, але «кислих газів».

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Білецька Г. А. – Урбоекологія 444. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://bookdn.com/book_538.html.
2. Борисенко К. Україна сміттєспалювального періоду. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tema.in.ua/article/6590.html/>
3. Міщенко В.С., Виговська Г.П. Удосконалення системи управління відходами в Україні в контексті європейського досвіду / В.С. Міщенко, Г.П. Виговська, Ю.М. Маковецька, Т.Л. Омеляненко. – К.: "Лазурит-Поліграф", 2012. – 120 с
4. Веклич О.О. Сучасний стан і ефективність економічного механізму екологічного регулювання // Економіка України. – №10. – 2003. – С.62-70
5. Гулий А.В. Удосконалення управління відходами виробництва та споживання у контексті впровадження в Україні засад сталого розвитку [Електронний ресурс] / [Гулий А.В., Дрозд І.П.] // Збірник наукових статей "III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю". – Вінниця, 2011. – Том.2. – С.684–687. Режим доступу: <http://eco.com.ua/>.
6. Вольчин И.А., Потапов А.А. Энергия из отходов // Эско. – 2012. – № 5. – С.6-12.
7. Михайленко В. Звалища – виклик сталому розвитку / В. Михайленко // Віче. – 2008. – № 15. – С. 58-60.
8. Про схвалення Концепції Загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013-2020 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України №22-р від 03.01.2013. – Режим доступу до док.: www.rada.gov.ua.
9. Экология города: Учебник./Ф.В.Стольберг, В.Я.Шевчук, И.Г. Черванёв - К.:Либра,2000-464 с.
10. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: Навчальний посібник/ За ред. В.К. Хільчевського. - К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. - 152 с.
11. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EE A relevance)//Official Journal of European Union, 22.112008.- L 312/3-312/30.

12. Guidelines on the Interpretation of the RI Energy Efficiency Formula for Incineration Facilities Dedicated to the Processing of Municipal Solid Waste According to Annex II of Directive 2008/98/EC on Waste.- 2011.- 33 p.
13. E.Stengler. Waste to Energy Focus: Achieving RI. Status/<http://www.wastemanagement-word.com>
14. Гребенюк Т. В., Попач М.В. Аналіз методів термічної обробки твердих побутових відходів. Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. №11. С. 92–97.
15. Войтенко В.Г., Рубан Б. Б. Сучасні тенденції розвитку біогазових установок. Техніка і технології АПК. 2012. № 2 (29). С. 18–21.
16. Крапці європейські практики управління відходами (посібник) / А. Войціховська та ін.; за заг. ред. О. Кравченко. Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2019. 64 с.
17. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін та ін; за заг. ред .В.В. Криворучко. К: ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 137 с.
18. Каратєєва О. І., Коваль О. А., Гроза В. І. Технологія переробки побутових відходів та відходів сільського господарства : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2018. 190 с.
19. Pierucci S. Numerical Simulation of Combustion Process of Fuel Gas Mixtures at Refining Industry / S. Pierucci. Chemical engineering transactions. 2015. №43. С. 1351–1356.
20. Sadaka S. Biomass Combustion / S. Sadaka, D. Johnson. Division of agriculture. Research & Extension. 2017. №3. С. 156–172.
21. Парфенюк, А. С. Ефективний шлях вирішення проблеми твердих відходів в Україні – індустріальна термолізно-енергетична рекуперація. Безпека життєдіяльності. 2005. № 12. С. 36–41
22. Альтернативна енергетика: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / М.Д. Мельничук, В.О. та ін.; за заг. ред. В.Г. Мироненко. – К: «Аграр Медіа Груп», 2012. 244 с.
23. Combustion characteristics. URL: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c15/Combustion%20characteristics.pdf>.

24. Матвеев Ю. Б., Гелетука Г.Г. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів в Україні. Київ: Біоенергетична асоціація України, 2019. 48 с.
25. Трофімов І.Л., Яковлева А.В. Аналіз потенціалу твердих побутових відходів як сировини для виробництва альтернативних палив в Україні. Енергетика: економіка, технології, екологія. Київ, 2016. С. 105–111.
26. Blijderveen M. Ignition and combustion phenomena on a moving grate. Enschede: Uitgeverij BOXPress, Oisterwijk, 2012. 161 с.
27. Solid Waste Management. URL: <http://brbock.com/RefFiles/FluidBedSolutions.pdf>.
38. Jitka H. Fluidized bed conversion of biomass and waste. IEA Bioenergy. 2017. №33. С. 7–13.
28. Anjireddy Bhavanam. Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed Reactors: A Review. International Journal of Chemical Engineering and Applications. 2011. №2. С. 425–433.
29. Ryzhkov S., Rudyuk N., Markina L. Research of thermal conductivity of the condensed mass of the whole waste tires and determination of their optimum arrangement in the pyrolysis reactor. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 4/5 (82) 2016. P. 12-18.
30. Nema, S. K. Plasma pyrolysis of medical waste. Current science, Bengaluru. 31. 2005. Vol. 83, № 3. P. 271-278.
32. Alan C. Lloyd Technology Evaluation and Economic Analysis of Waste Tire Pyrolysis, Gasification, and Liquefaction. University of California Riverside, Integrated Waste Management Board, 2006
33. Енергоспоживання на основі відновлюваних джерел за 2007-2018 роки URL : http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/sg/ekolog/ukr/esp_vg_u.
34. Aishwarya K N. Microwave Assisted Pyrolysis of Plastic Waste. Procedia Technology. 2016. Vol. 25. P. 990-997.
35. Alan C. Lloyd Technology Evaluation and Economic Analysis of Waste Tire Pyrolysis, Gasification, and Liquefaction. University of California Riverside, Integrated Waste Management Board, 2006.

36. Development and model operation of installation for a heat treatment of 382 combustible slates [Electronic resource]. Available at: URL: http://discollection.ru/article/27072009_kosova_ol_ga_jur_evna_93707/
37. Alex Lu Chia Yang, Farid Nasir Ani Controlled microwave-induced pyrolysis of waste rubber tires. *International Journal of Technology*. 2016. № 2. P. 314-322.
38. Duncan M. Price, Douglas J. Hourston, and Fabrice Dumont. Thermogravimetry of Polymers. *Encyclopedia of Analytical Chemistry* R.A. Meyers (Ed.)
39. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 2000. P. 8094-8105.
40. Farid Nasir Ani. Microwave Induced Fast Pyrolysis of Scrap Rubber Tires.
41. The 4th International Meeting of Advances in Thermofluids (IMAT 2011) AIP Conf. Proc.1440. 2012. P 834-841. Doi: 10.1063/1.4704294.
42. Hasib Z. M., Hossain J., Biswas S., Islam A. Bio-Diesel from Mustard Oil: A
43. Renewable Alternative Fuel for Small Diesel Engines. *Modern Mechanical Engineering*, 2011. №1. P. 77-83. doi:10.4236/mme.2011.12010. URL: <http://www.SciRP.org/journal/mme>
44. Janusz Wojciech Bujak. Thermal utilization (treatment) of plastic waste. *Energy*. 2015. P. 1468-1477.
45. Kalitko V. A. Waste Tire Pyrolysis Recycling with Steaming: Heat-Mass Balances & Engineering. Solutions for By-Products Quality. *Material Recycling – Trends and Perspectives*. 2012. <http://www.intechopen.com/books/materialrecyclingtrends-and-perspectives/waste-tire-pyrolysis-recycling-with-steam-heat-massbalances-and-engineeringsolutions-for-by-product>.
46. Katarzyna Słopiecka, Pietro Bartocci, Francesco Fantozzi. Thermogravimetric
47. analysis and kinetic study of poplar wood pyrolysis. *Applied Energy*. 2012. P. 491-497.
48. Проспект фірми «Tech Trade GmbH». Німеччина. 2007 г.
49. Проспект фірми «KSK-WT GmbH». Німеччина. 2007 г.
50. Erik Renstegs, Anders Ostman. IEA Biomass Agreement. Sub-task 6 – Gasification of Waste. FNDSCO-TORRAX. Thermoseltkt. USA 2007 <http://media.godashboard.com/gti/IEA/WasteIEA25years.pdf>
51. Проспект фірми «TNN INTERNATIONAL», США, 2006 г.
52. Markina L., Tymchenko I. Comprehensive evaluation of environmental

53. hazard factors at disposal of waste using the «ecopyrogenesis» technology.
EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies. 2015. № 2/6 (74), P. 38-44.
54. Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on incineration of waste// Official Journal of European Communities, 28.12.2000.-P. 332/91-332/111
55. F. Wurst. Dioxinmessungen bei MVA nach dem Stand der deutschen 17. BImSchV//VGB KraftwerksTechnik. - 1998.- 2.- P. 81-83.
56. Chvistmann, K. Horch. Emissionsminderung bei Mulluerbrennungsanlagen durch PrimanmaPnahmen// VGB Kraftwerstechn.- 1987.- 67.-№4. -P. 396-402.