

**Міністерство екології
та природних ресурсів України
Державна екологічна академія
післядипломної освіти та управління**

**ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ
ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНОГО ВИДАЛЕННЯ
ПХД В УКРАЇНІ**

Методичний посібник

2018

УДК 504.064.4(477)(07)
В 42

Рекомендовано до друку Вченою радою
Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління
(протокол № 3-18 від 01.03.2018 р.)

Авторський колектив:
В. В. Четвериков, С. М. Коваль, А. В. Россоха, О. І. Бондар

С 79 **Визначення шляхів екологічно обґрунтованого видалення поліхлорованих дифенілів (ПХД) в Україні : методичний посібник / В. В. Четвериков, С. М. Коваль, А. В. Россоха, О. І. Бондар. – Херсон : Олді-Плюс, 2018. – 68 с.**

ISBN 978-966-289-161-4

У методичному посібнику наведені методичні засади систематизації даних інвентаризації ПХД для подальшого їх використання при розробленні техніко-економічного обґрунтування створення технологічних комплексів для їх знешкодження. Також у методичному посібнику наведені довідкові дані щодо найбільш поширених технологій для видалення та знешкодження поліхлорованих дифенілів. Викладені у посібнику методичні вказівки та алгоритми прийняття рішень мають забезпечити коректність висновків щодо доцільності застосування тієї чи іншої стратегії видалення та знешкодження ПХД в Україні.

Методичний посібник розроблено в рамках виконання проекту ГЕФ/ЮНІДО «Екологічно обґрунтоване поводження та остаточне видалення поліхлорованих дифенілів (ПХД) в Україні»

УДК 504.064.4(477)(07)

ISBN 978-966-289-161-4

© В. В. Четвериков, С. М. Коваль, А. В. Россоха, О. І. Бондар, 2018
© ДЕА післядипломної освіти та управління, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЇ ВИДАЛЕННЯ ПХД	5
2. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ	12
2.1. Очищення забруднених трансформаторів	14
2.1.1. Повторне заповнення свіжим маслом	14
2.1.2. Очищення каркасів трансформаторів, забруднених ПХД	16
2.2. Технології знешкодження ПХД	16
2.2.1. Знешкодження ПХД в технологічних комплексах на базі інсінератору	16
2.2.2. Плазмові технології	18
2.2.3. Процес термічної деструкції в розплаві солей лужних металів	20
2.2.4. Реагенте знешкодження ПХД	21
ДОДАТОК 1	22
Розділ 1. Дехлорування лужними металами	22
Розділ 2. Очищення в автоклаві	33
Розділ 3. Інсінерація небезпечних відходів	40
Розділ 4. Плазмові технології	45
Розділ 5. Дехлорування в газовій фазі	50
Розділ 6. Каталітична деструкція ПХД	60
ПОСИЛАННЯ	65

ВСТУП

Створення системи екологічно безпечного видалення небезпечних відходів в Україні є дуже актуальною проблемою для України. Створення такої системи є зобов'язанням України за низкою міжнародних угод, зокрема Стокгольмською конвенцією про стійкі органічні забруднювачі.

Система має базуватись на ефективних перевірених технологіях. Такі технології для багатьох потоків відходів вже пройшли перевірку багаторічним використанням на промисловому рівні, а інформація про них систематизована та видана в відповідних керівних документах. Але ефективність застосування цих технологій дуже залежить від властивостей конкретного потоку відходів (вміст забруднювача, наявності інших компонентів, агрегатний стан та інші). Обсяг накопичення впливає на можливість застосування комбінованого перероблення з іншими відходами, а також оформлення технологічного комплексу в пересувному або стаціонарному варіанті. Тому остаточне рішення щодо доцільності використання тих чи інших технологій слід приймати з урахуванням результатів ретельної інвентаризації потоків небезпечних відходів.

У цьому методичному посібнику наведені методичні засади систематизації даних інвентаризації ПХД для подальшого їх використання при розробленні техніко-економічного обґрунтування створення технологічних комплексів для знешкодження ПХД.

Також у методичному посібнику наведений огляд найбільш поширених технологій для видалення та знешкодження поліхлорованих дифенілів. Огляд містить детальні технічні та економічні характеристики ефективності технологій, отримані під час їх промислового використання. Ці характеристики у сполученні з даними інвентаризації мають забезпечити коректні висновки щодо доцільності застосування тих чи інших технологій для видалення та знешкодження ПХД в Україні та підібрати оптимальну конфігурацію обладнання для їх впровадження.

1. ВИЗНАЧЕННЯ СТРАТЕГІЇ ВИДАЛЕННЯ ПХД

Для визначення найбільш ефективних та економічно прийнятних шляхів видалення ПХД необхідно мати повну та достовірну інформацію щодо кількості ПХД в усіх формах накопичення:

- концентровані ПХД або забруднені масла в діючому обладнанні (трансформатори, конденсатори);
- злиті концентровані масла або масла на зберіганні;
- відходи від очищення забрудненого ПХД обладнання та злиті забруднені масла.

Така інформація може бути отриманою через комплексну інвентаризацію ПХД. Джерелом цієї інформації має стати Національний реєстр ПХД, створення якого передбачено Національним планом дій щодо впровадження вимог Стокгольмської конвенції про СОЗ. Вся інформація що стосується певних форм накопичення ПХД в Національному реєстрі має бути розміщеною у відповідних базах даних [1], що дозволяє гнучко її сортувати та групувати, виходячи з критеріїв визначення певних технологій.

Керівний документ з управління небезпечними відходами «Технології очищення та деструкції поліхлордифенілів (ПХД) та інших стійких органічних забруднювачів (СОЗ) відповідно до Базельської конвенції» [2], пропонує при виборі технологій всю вихідну інформацію щодо об'єктів накопичення ПХД розкласти на наступні групи:

Група 1. Трансформатори в експлуатації (усі розміри) з ПХД менше ніж 0,005% ПХД

Група 2. Трансформатори в експлуатації (потужність менше 500 кВА) з 0,005-0,5 % ПХД

Група 3. Трансформатори в експлуатації (потужність менше 500 кВА) з 0,5%-5 % ПХД

Група 4. Трансформатори в експлуатації (потужність більше 500 кВА) з 0,005-0,5 % ПХД

Група 5. Трансформатори в експлуатації (потужність більше 500 кВА) на 5 000-5% ПХД

Група 6. Трансформатори в експлуатації (потужність більше 500 кВА з 5%-90% ПХД

Група 7. Виведені з експлуатації трансформатори (усі розміри) з менше ніж 0,005% ПХД

Група 8. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність менше 500 кВА) з 0,005-0,5% ПХД

Група 9. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність менше 500 кВА) з 0,5%-5% ПХД

Група 10. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність менше 500 кВА) з 5%-90% ПХД

Група 11. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД менше ніж 0,005%

Група 12. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД – 0,005-0,5%

Група 13. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД – 0,5%-5%

Група 14. Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД – 5%-90%

Група 15. Порожні виведені з експлуатації трансформатори

Група 16. Конденсатори в експлуатації

Група 17. Виведені з експлуатації конденсатори

Група 18. Резервуари з маслом з концентрацією ПХД менше ніж 0,005%

Група 19. Резервуари з маслом з концентрацією ПХД більше 0,005%

Для кожної з груп розробленні рекомендації щодо оптимальних шляхів знешкодження, але остаточне рішення щодо найбільш прийнятних шляхів видалення та доцільності застосування однієї технології для кількох груп приймається після обрахування кількості масла, матеріалів та інших відходів за кожною групою.

Дані щодо ваги обладнання, обсягів мінерального масла та концентрації ПХД систематизуються для кожної з груп, по кожному об'єкту накопичення ПХД згідно з наведеною нижче таблиці 1.1.

Для кожної групи систематизуються дані щодо кількості масла та матеріалів, яка підлягає очищенню та кількість відходів з ПХД на деструкції, наприклад, так як це наведено в таблиці 1.2

Базовими рекомендаціями щодо видалення ПХД для кожної з груп згідно з Керівним документом з управління небезпечними відходами «Технології очищення та деструкції поліхлордифенілів (ПХД) та інших стійких органічних забруднювачів (СОЗ) [2] є наступні:

Група 1 Трансформатори в експлуатації (усі розміри) з концентрацією ПХД менше ніж 0,005% ПХД.

Таблиця 1.1

Дані щодо об'єктів накопичення ПХД

Група	Форма накопичення	Виробник	Марка	Номер	Власник	Потужність, кВА	Загальна вага, кг	Масло вага, кг	Масло об'єм, л	ПХД ррт
1	Трансформатор									
	Трансформатор									
6	Трансформатор									
16	Конденсатор									
	Конденсатор									

Таблиця 1.2

Обсяги масла та матеріалів на очищення та кількість відходів з ПХД на деструкції

Група	Вага масла, кг	Об'єм масла, л	Конц. ПХД ррт	Кількість на очищення		Кількість на деструкцію
				Масло, кг	Матеріали, кг	ПХД, кг
1	185	250	<50	185	265	0
6	2500	4000	> 50000	2500	10000	2500
16	25	35	5000	25	55	55
Всього						

Взагалі трансформатори в експлуатації з концентрацією ПХД менше ніж 0,005% можна залишити в експлуатації без будь яких заходів знешкодження. Можливе перезаповнення, але утворює велику кількість слабо забруднених ПХД відходів масла. В більшості країн вважають за краще розглядати масло з вмістом ПХД нижче 0,005% як незабруднене ПХД.

Група 2 Трансформатори в експлуатації (потужність менше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,005-0,5%.

Для трансформаторів в експлуатації з концентрацією ПХД менше ніж 0,5% перезаповнення є економічно прийнятним. Очищення на місці не є економічно прийнятним.

Група 3 Трансформатори в експлуатації (потужність менше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,5-5%.

Рекомендується перезаповнення на місці з промиванням шляхом циркуляції перхлоретилену. Опція заміни трансформатора також є прийнятною.

Група 4 Трансформатори в експлуатації (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,005-0,5%.

Через великі розміри трансформаторів бажано їх перезаповнення на місці. Відходи масла мають бути направленими на деструкцію. Опція заміни трансформатора не є прийнятною через високі капітальні витрати.

Група 5 Трансформатори в експлуатації (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,5%-5%.

Рекомендується перезаповнення з очищенням масла на місці. Відходи масла мають бути направленими на деструкцію.

Група 6 Трансформатори в експлуатації (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД 5%-90%.

Рекомендується направити масло на деструкцію, а трансформатор на очищення в автоклаві з подальшою утилізацією після очищення.

Група 7 Виведені з експлуатації трансформатори (усі розміри) з концентрацією ПХД менше ніж з 0,005%.

Рекомендується направити масло на деструкцію, трансформатор може бути повторно використаний або утилізований.

Група 8 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність менше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,005%-0,5%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, трансформатор після промивання розчинником повторно використовується або утилізується.

Група 9 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність менше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,5%-5%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, деталі трансформатору очищуються в автоклаві, розчинник регенерується.

Група 10 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність менш 500 кВА) з концентрацією ПХД 5%-90%.

Злита масло має бути направлено на деструкцію, трансформатор обробляється в автоклаві, розчинник регенерується.

Група 11 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД менше ніж 0,005%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, трансформатор обробляється в автоклаві, розчинник регенерується.

Група 12 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,005%-0,5%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, трансформатор обробляється в автоклаві, розчинник регенерується.

Група 13 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД 0,5%-5%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, трансформатор промивається розчинником, обробляється в автоклаві та утилізується.

Група 14 Виведені з експлуатації трансформатори (потужність більше 500 кВА) з концентрацією ПХД 5%-90%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, трансформатор обробляється в автоклаві та утилізується.

Група 15 Порожні виведені з експлуатації трансформатори.

Трансформатори обробляються в автоклаві та /або промиваються розчинником та утилізуються.

Група 16 Конденсатори в експлуатації.

Виводяться з експлуатації, тверді елементи подрібнюються та обробляються в автоклаві. Тверді пальні та рідкі відходи передаються на деструкцію.

Група 17 Виведені з експлуатації конденсатори.

Конденсатори подрібнюються, обробляються в автоклаві, тверді пальні та рідкі відходи передаються на деструкцію.

Група 18 Резервуари з маслом при концентрації ПХД менше ніж 0,005%.

Ніяких дій не потребують.

Група 19 Резервуари з маслом при концентрації ПХД менше ніж 0,005%.

Злите масло має бути направлено на деструкцію, резервуар промивається розчинником.

В залежності від отриманих в результаті інвентаризації загальних даних щодо кількості відходів ПХД, приймається рішення відносно економічної доцільності придбання технологічних комплексів та здійснення знешкодження в межах країни або вивезення відходів на знешкодження за кордон. Для першої опції мають бути розглянуті варіанти як придбання мобільної установки для знищення тільки відходів ПХД, так і знищення



Мал. 1.1 Рекомендовані операції із знешкодження трансформаторів з ПХД, що експлуатуються [2]

відходів ПХД з іншими подібними відходами у більш потужних стаціонарних установках.

На вибір шляхів видалення тих чи інших потоків відходів істотно впливають обсяги утворення та накопичення. Зокрема, загальний обсяг концентрованих ПХД в Україні можна оцінити приблизно у 2,5 тисячі тон. Такий обсяг установка продуктивністю 100-150 кг на годину здатна переробити за 2-3 роки. При цьому виникає питання доцільності створення окремої установки для перероблення концентрованих ПХД. Щоб компенсувати капітальні витрати на її створення ціна переробки ПХД має бути дуже високою. В цьому випадку необхідно розглянути варіанти або створення установки для спільного перероблення ПХД з іншими подібними відходами, або їх знищення на вже існуючих в інших країнах потужних установках. Крім цього мають бути розглянуті питання щодо необхідної кількості устаткування для оброблення



Мал. 1.2 Вибір стратегії видалення ПХД

конструктивних елементів електрообладнання в автоклавах, для промивання трансформаторів з замкненим контуром циркуляції розчинника тощо.

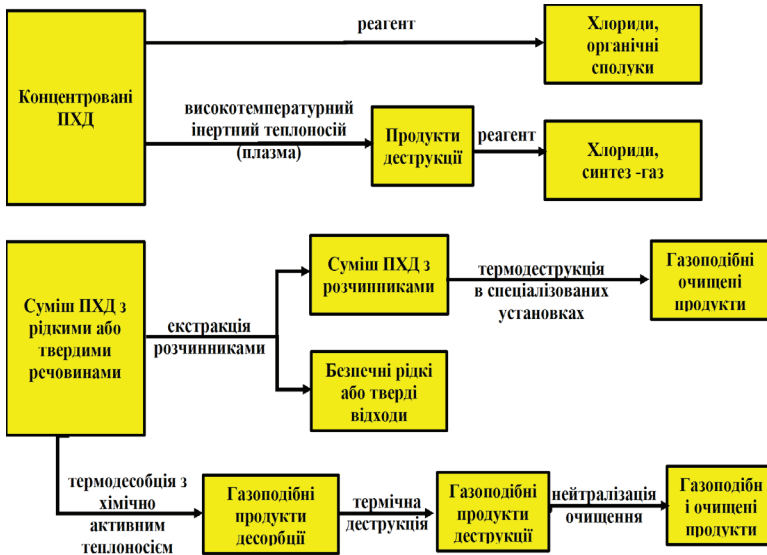
Всі можливі комбінації щодо спільного перероблення матеріалів та відходів з ПХД, місця проведення такого перероблення ПХД та застосованих засобів перероблення мають отримати економічну оцінку, на базі якої буде прийняте рішення щодо остаточної стратегії видалення ПХД.

2. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ

Після вибору стратегії видалення ПХД наступним кроком є оптимізація сукупності операцій із знешкодження в рамках певної технології.

Сукупність операцій, які необхідно здійснити при видаленні ПХД-вмісних відходів визначаються: агрегатним станом відходу, забрудненого ПХД, вмістом ПХД у відході, наявністю у відході компонентів, що вимагають специфічних методів знешкодження, необхідністю чи можливістю повторного використання деяких компонентів відходів і т. п.

Вибір технології деструкції ПХД залежить від багатьох факторів як екологічного, так і економічного характеру. При виборі технології головним критерієм має бути той чинник, що технологія не тільки забезпечує високу ступінь деструкції ПХД, а й не призводить до утворення нових токсичних сполук. Можливі комбінації операцій із знешкодження ПХД в залежності від вихідного складу відходів наведені на малюнку 1.3.



Мал. 1.3 Можливі комбінації операцій із знешкодження ПХД в залежності від вихідного складу відходів

Якщо ми маємо справу з концентрованими відходами ПХД, то доцільно застосовувати методи деструкції, які не потребують використання додаткових компонентів, що можуть призвести до утворення нових вторинних токсичних продуктів. Наприклад, такий результат забезпечують технології, побудовані на деструкції ПХД за допомогою спеціальних реагентів із зв'язуванням продуктів деструкції в безпечні нейтральні продукти. Такий же результат можуть забезпечити термічні методи, що не використовують допоміжного хімічно активного теплоносія, тобто продукти деструкції при цьому не доповнюються компонентами теплоносія, які в свою чергу можуть призвести до утворення вторинних токсичних продуктів. На таких термічних методах побудовано широкий спектр плазмових технологій.

Якщо до складу висококонцентрованих ПХД-відходів входять інші компоненти та екстракція ПХД розчинниками з матриці відходу не є достатньо ефективною, використовуються термічні методи з підведенням тепла від продуктів окиснювання викопних палив. При цьому окиснювально-відновлювальний потенціал такого теплоносія регулюється по ходу технологічного ланцюжка, виходячи з критерія мінімального утворення вторинних токсичних сполук.

Таким чином, всі технології деструкції висококонцентрованих ПХД можна умовно поділити на технології, в яких деструкція досягається переважно використанням відповідних реагентів та на технології з переважним використанням термічної деструкції. Останні, в свою чергу, поділяються на технології з хімічно активним теплоносієм та інертним теплоносієм.

З точки зору економіки, процес деструкції в технологіях з використанням допоміжного теплоносія є менш витратним у порівнянні з технологіями без допоміжного теплоносія, але подальше очищення та нейтралізація продуктів деструкції є більш витратними, як за капітальними, так і за експлуатаційними складовими.

Існує багато аналітичних оглядів існуючих методів та технологій щодо екологічно безпечного знешкодження ПХД, зроблених фахівцями робочих груп при виконавчих органах міжнародних угод (головним чином Стокгольмської та Базельської конвенцій).

Підбір технологій для вище визначених груп джерел ПХД краще здійснювати, коли вони класифіковані згідно схеми, наведеної на малюнку 1.3.

Система екологічно безпечного видалення ПХД окрім знешкодження ПХД має включати оптимальні технічні рішення щодо очищення ПХД.

Огляд методів та технологій екологічно безпечного видалення ПХД слід розпочати саме з технологій очищення забруднених трансформаторів. Це допоможе оцінити обсяг та властивості ПХД-вмісних відходів, утворюваних в результаті очищення трансформаторів, для яких у подальшому також мають бути визначені оптимальні технології знешкодження.

2.1. Очищення забруднених трансформаторів

В трансформаторах можуть бути забрудненими ПХД різні компоненти. Більша частина ПХД розчиняється та рівномірно розподіляється в мінеральному маслі, менша, але значна частина ПХД поглинається пористим матеріалом, а саме, паперовими та дерев'яними розпірками, в той час як невелика частина адсорбується на поверхні металевих елементів, що знаходяться в контакт з маслом.

Кількість ПХД, яка накопичується в кожному елементі трансформаторів визначає можливе рішення, яке може використовуватися для очищення всього трансформатора. Якщо видалення ПХД з металевих поверхонь відносно швидке та просте, то видалення ПХД, які поглинуті пористим матеріалом, є повільним та залежить від того, який метод використовується для такого видалення.

Очищення металевих поверхонь може досягатися шляхом використання масла та розчинників, а очищення пористого матеріалу є більш складним і досягається використанням багатоступених методів екстракції розчинником або термічної десорбції. З пористого матеріалу ПХД видаляється тільки з поверхні після їх дифузії з середини пористого матеріалу на поверхню. Процес дифузії є досить повільним та залежить від температури та концентрації ПХД в екстракційному розчиннику.

2.1.1. Повторне заповнення свіжим маслом

При повторному заповненні трансформаторів свіжим маслом, в якому немає ПХД, розчинення ПХД маслом приводить до нового стану рівноваги, коли ПХД розподіляються між твердою та рідкою фазами. Якщо новий рівень ПХД в повторно заповнених трансформаторах становить менш ніж 50 мг/кг, то трансформатор класифі-

кується як без ПХД. Цей метод очищення від ПХД з низьким рівнем концентрацій широко використовується в промисловості для перетворення забрудненого ПХД обладнання в обладнання без ПХД.

Повторне заповнення є економічним та простим рішенням щодо видалення забруднених ПХД мінеральних масел з трансформаторів, які знаходяться в експлуатації. Залежно від вихідного рівня ПХД в мінеральному маслі в забрудненому трансформаторі, можна повторювати процес заповнювання, якщо треба досягти концентрацію менш, ніж 50 ppm. Виходячи з попереднього досвіду, трансформатори з вмістом ПХД в рідині приблизно 50-700 ppm ПХД, потребують один цикл повторного заповнення для досягнення остаточної концентрації ПХД менш, ніж 50 ppm; трансформатори, які вміщують між 700 та 2000 ppm ПХД, потребують два етапи повторного заповнення для досягнення цільового значення менш, ніж 50 ppm, а трансформатори, які містять від 2000 до 10000 ppm ПХД, потребують застосування повторного заповнення 3 рази для досягнення менш ніж 50 ppm.

Оскільки більша частина електричних трансформаторів з мінеральним маслом, забруднених ПХД, містять менш ніж 700 ppm, то очікується, що одноразове застосування повторного заповнення буде необхідно для того, щоб зробити більшість трансформаторів, вільними від ПХД.

Для того, щоб застосовувати мінеральне масло для повторного заповнення трансформатору необхідно мати обладнання для дехлорування, яке може селективно знищувати ПХД. Система дехлорування повинна давати мінеральне масло, яке може бути придатним для повторного використання в електричному трансформаторі. Приклад технології дехлорування масла наведений у Розділі 1 Додатку 1.

Для видалення ПХД з металевих поверхонь використовуються розчинники та мінеральне масло.

Агресивні розчинники, такі як перхлоретилен та інші хлоровані речовини використовуються для очищення пористих матеріалів та металу з трансформаторів, забруднених ПХД. В технологіях заснованих на екстракції розчинником застосовується регенерація розчинника. Через значну різницю між точками кипіння обраного розчинника та ПХД для цієї мети широко використовується дистиляція.

Замість звичайного розчинника знежирення, такого як перхлоретилен, може бути застосованим гаряче мінеральне масло. Гаряче масло також може розчинити ПХД на металевих поверхнях та

знизити рівень забруднення до величини нижче, ніж 50 мг/кг. Масло, забруднене ПХД, може бути регеноеровано в блоці дехлорування з селективним знищенням ПХД.

Очищення мінерального масла, забрудненого ПХД, на місці з використанням методів дехлорування є менш дорогим, ніж перевезення та спалювання в спеціальних інсінераторах, оскільки мінеральне масло після відновлення повторно використовується в трансформаторах, на відміну від спалювання, де воно повністю знищується.

2.1.2. Очищення каркасів трансформаторів, забруднених ПХД

Малі розподільні трансформатори, що містять ПХД, трансформатори з високим рівнем забруднення ПХД та всі трансформатори, забруднені ПХД, які більше не експлуатуються перед їхньою утилізацією необхідно очищувати на спеціальних підприємствах, що мають ліцензію на поводження з небезпечними відходами.

Через високу залишкову вартість металів та мінерального масла в трансформаторах, забруднених ПХД, очищення та утилізація цих матеріалів є економічно привабливими. Проте очищення пористого матеріалу через його невелику кількість в трансформаторах та низьку вартість використовується в якості способу утилізації тільки там, де немає прийнятних засобів термічного знешкодження. Для цих відходів рекомендованим є варіант термічного знешкодження. Для очищення від ПХД металевих деталей електричного обладнання широко застосовується технологія їх обробки в автоклаві (дивись Розділ 2 Додатку 1).

2.2. Технології знешкодження ПХД

Наступний огляд технологій знешкодження ПХД наведений починаючи з найбільш універсальних та відповідно більш поширених та закінчуючи технологіями з високою ефективністю, але з обмеженнями щодо складу відходів або високими питомими витратами на перероблення.

2.2.1. Знешкодження ПХД в технологічних комплексах на базі інсінератору

Технології знешкодження на базі інсінераторів є найбільш універсальними щодо складу відходів, що знищуються і тому мабуть

є найбільш поширеними. Зазвичай ці технології розраховані на перероблення широкого спектру хлорвмісних відходів і тому мають високу продуктивність та відповідно відносно низькі питомі витрати на експлуатацію.

Процеси термічної деструкції з використанням допоміжного теплоносія на сьогодні є найбільш розповсюдженими для знешкодження відходів, що окрім ПХД мають інші, як за хімічною формулою так і за агрегатним станом компоненти.

У випадку, коли необхідно забезпечити повну екстракцію токсичної речовини з твердої матриці саме агрегати із спалюванням допоміжного теплоносія (обертові печі) забезпечують найбільш ефективну термодесорбцію при найменших енергетичних витратах.

Зазвичай, на базі обертових печей будують потужні технологічні комплекси здатні переробити відходи з широким діапазоном зміни хімічного складу та різних за агрегатним станом. Такі комплекси мають складну багатоступінчасту систему очищення газів. Ефективність технологій, що реалізуються в таких комплексах, обумовлює, перш за все, ефективність технічних рішень щодо запобігання утворенню та видалення вторинних токсичних сполук. Концентровані хлорорганічні речовини в таких комплексах переробляються разом з іншими відходами таким чином, щоб загальна кількість хлору не перевищувала 8-10% по масі від завантажених відходів.

Типовий склад технологічного комплексу для знешкодження хлорорганічних відходів включає: обертову піч, камеру доопалювання, модуль закалювання газів, мокрий або напівсухий скруббер, пристрій введення сорбенту, рукавний фільтр. До складу технологічного комплексу може також входити котел -утилізатор, який знімає тепло відхідних газів в діапазоні температур 1200-800°C. При більш низьких температурах виникають ризики утворення діоксинів.

Процеси термодесорбції та термодеструкції хлорорганічних сполук здійснюються в обертовій печі при температурі не нижче 850°C, яка досягається спалюванням допоміжного палива. Газоподібні продукти з обертової печі надходять у камеру доопалювання, де перебувають при температурі 1200°C та надлишку кисню 6% не менше 2 секунд, що забезпечує остаточну деструкцію нерозкладених хлорорганічних сполук.

Продукти доопалювання з температурою 1200°C надходять в апарат закалювання, де швидко охолоджуються до температури близько 100°C. Така процедура націлена на запобігання синтезу діоксинів та фуранів. Для подальшого очищення газів від сполук хлору застосовуються різні системи очищення. Конкретне апаратне оформлення цих систем залежить від вмісту хлору. Це можуть бути різні комбінації мокрих або напівсухих, скрубєрів, рукавних фільтрів тощо.

Термодеструкція в обертових печах є базовою технологією на заводах із знешкодження небезпечних відходів, що працюють у Німеччині, Франції, Швеції, Австрії. Ці заводи прийняли на перероблення переважну більшість відходів CO₂ не тільки з своїх, а й з інших країн Європи, включаючи Україну (дивись Додаток 1, Розділ 3 Знешкодження ПХД в інсінераторах). Ефективність роботи таких технологічних комплексів регламентується Директивою 2010/75/ЄС щодо промислових викидів.

Стандартною вимогою до ефективності знищення/видалення хлорорганічних відходів, в тому числі і ПХД є те, що DRE (Destruction Removal Efficiency) має бути не нижче 99,9999%.

Окрім потужних технологічних комплексів на базі обертових печей існує велика кількість невеликих універсальних установок продуктивністю до 300 кг/годину. Такі установки оснащені як правило не дуже складною системою очищення газів, яка дозволяє приймати на перероблення відходи з вмістом хлору не більше 2%. В таких установках можуть знешкоджуватися відходи, що утворилися в результаті очищення ПХД-вмісного обладнання: відходи відпрацьованих розчинників, тверді пальні елементи конструкції трансформаторів, забруднені ґрунти тощо. Невеликі установки продуктивністю до 300 кг/годину зазвичай виконуються в модульному варіанті і можуть бути швидко (біля двох тижнів) перевезені та змонтовані на новому об'єкті.

2.2.2. Плазмові технології

Серед термічних методів деструкції небезпечних відходів плазмові методи мають перевагу над іншими через те, що дозволяють підвести до об'єкту обробки достатню для деструкції енергію, виключаючи при цьому введення додаткових реагентів, які можуть призвести до утворення вторинних токсичних сполук, або з введенням таких реагентів, що мінімізують утворення вторинних

токсичних сполук. Ці переваги особливо відчутні при обробленні концентрованих ПХД, коли не потрібна їх екстракція з інших матеріалів та речовин. Якщо відходи ПХД мають у складі інші рідкі або тверді речовини, то, по-перше, їх термодесорбція плазовими методами буде мати значно меншу енергетичну ефективність, ніж при використанні традиційних методів побудованих на спалюванні допоміжного викопного палива, а по друге, рідкі або тверді речовини можуть дати необхідні для утворення вторинних токсичних сполук компоненти і нівелювати перевагу контрольованого складу плазового теплоносія.

У плазовому процесі відходи подаються безпосередньо до плазового струменю, що витікає в реактор (дивись Розділ 4 Додатку 1). Плазоутворюючим газом найчастіше виступає аргон не тільки тому, що не приймає участі в формуванні нових хімічних продуктів перероблення, а й тому що забезпечує високий ресурс роботи електродів дугового плазмотрону. Відходи швидко нагріваються в реакторі до приблизно 2500°C та піролізуються. Разом з відходами до реактору подається водяна пара: кисень гарантує, що будь-який вуглець, утворений в результаті піролізу, перетвориться на двоокис вуглецю, а водень буде перешкоджати формуванню Cl_2 .

Наступним кроком є швидке лужне загартовування продуктів термодеструкції з 1200°C до менш ніж 100°C. Таке швидке загартовування обмежує формування діоксинів і фуранів. Щоб нейтралізувати HCl та інші кислі гази охолоджений газ після загартовування далі очищується лужним розчином у протитоківій насадковій колоні. Газ, що відходить з колони, складається, головним чином, з Ar та CO_2 .

Головні переваги цього процесу – дуже висока ефективність деструкції та незначні викиди діоксинів/фуранів.

За аналогічною технологічною схемою може бути також реалізований процес термодеструкції ПХД з використанням високочастотної індукційної плазми. Перевага ВЧІ-плазми над дуговою плазмою полягає у відсутності електродів, які в дугових плазмотронах є об'єктом корозії. У ВЧІ-плазми також більш повільне витікання плазового струменю, що забезпечує більший час перебування реагентів при високих температурах.

Серед термічних методів деструкції плазові методи мають перевагу над іншими через те, що дозволяють підвести до об'єкту обробки достатню для деструкції енергію, виключаючи при цьому

введення додаткових реагентів, які можуть призвести до утворення вторинних токсичних сполук, або з введенням таких реагентів, що мінімізують утворення вторинних токсичних сполук. Ці переваги особливо відчутні при обробленні концентрованих ПХД, коли не потрібна їх екстракція з інших матеріалів та речовин. Крім того, дуже висока щільність енергії дозволяє створити компактне обладнання. Установку легко транспортувати. Кількість забруднюючих речовин, що викидаються, є дуже низькою через відносно невеликий обсяг димових газів.

Недоліки. Процес є високоефективним тільки для концентрованих ПХД. У технології високі питомі витрати електричної енергії, невисокий ресурс роботи електродів плазмотрону.

2.2.3. Процес термічної деструкції в розплаві солей лужних металів [3]

Іншим напрямком пошуку ефективних технічних рішень термічного знешкодження ПХД є їх деструкція в розплавах. Використання хімічно активних розплавів в якості теплоносія дає перевагу перед іншими способами термічної деструкції, яка полягає у тому, що хлор після деструкції ПХД зв'язується розплавом і не приймає участі в утворенні токсичних газоподібних продуктів.

В якості джерела допоміжної енергії та одночасно реагенту для зв'язування хлору у цій технології використовується розплав солей лужних металів. Найбільш прийнятним для деструкції ПХД є розплав, що складається із суміші Na_2CO_3 та K_2CO_3 та має температуру 900-950°C. ПХД вводяться через занурену в розплав фурму. Разом з ПХД через фурму подаються нагріте повітря або водяна пара, які є джерелом кисню для окиснювання вуглецю до оксиду вуглецю. В якості джерела кисню можуть також використовуватися інші солі лужних металів, зокрема, Na_2SO_4 .

Солі лужних металів є каталізатором деструкції ПХД і забезпечують повну їх деструкцію при відносно низьких температурах (нижче 1000°C). Хлор, що вивільнився при деструкції ПХД зв'язується в розплаві з утворенням NaCl та KCl . Газоподібні продукти деструкції складаються головним чином з CO та H_2 (при застосуванні повітря ще додається азот), які доопалюються з використанням тепла на підігрів розплаву. Технологія не потребує хімічного очищення газоподібних продуктів. Необхідно лише очищення від часток солі, що виносяться з розплаву з газами.

Недоліки. Високі вимоги до корозійної стійкості матеріалу реактору. Складна система регенерації солі. Низька енергетична ефективність розігріву реактору.

2.2.4. Реагенте знешкодження ПХД

В методах реагентного знешкодження на відміну від методів термічного знешкодження головну роль в деструкції ПХД відіграє не нагрів речовини, а правильно підібраний реагент у сполученні з нагрівом та застосуванням каталізатору. Найбільше розповсюдження серед технологій побудованих на реагентному методі отримали GPCR -технологія та VCD-технологія. В першій технології молекули ПХД у газовій фазі розщиплюються воднем при температурі 850°C. У другій застосовується каталізатор, який дозволяє знизити температуру процесу до 300°C. Ефективність використання каталізатору дуже залежить від складу відходів та концентрації ПХД у відходах. В залежності від складу та стану інших компонентів відходів обробка може бути одно- та двохстадійною, де перша стадія це непряма теплова десорбція (у випадку твердої забрудненої матриці), і друга стадія це безпосередньо процес каталітичної деструкції. Основні типи сумішей, до яких застосовувався цей метод, включають ґрунт, осадові відкладення, шлам і рідини.

Компанія VCD Group також стверджує, що за допомогою цього методу здійснювалося знищення ПХД на деревині, папері й металевих поверхнях трансформаторів.

Приклади застосування технологій реагентного знешкодження наведені в Додатку 1, Розділи 5, 6.

ДОДАТОК 1

Розділ 1. Дехлорування лужними металами

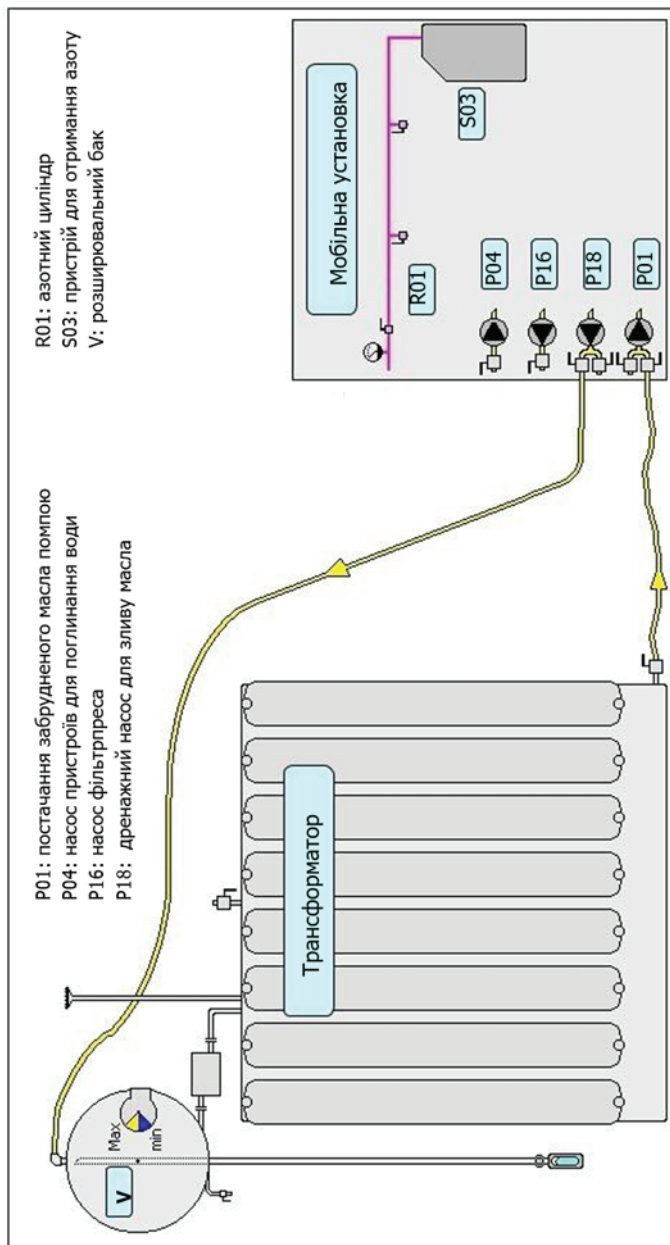
Існує декілька технологій, що базуються на цьому методі. У якості дехлоруючого реагенту найбільше широко використовують металевий натрій, хоча в цих цілях також застосовують калій або калієво-натрієвий сплав. Одна з компаній у Франції з 1995 року застосовує так званий *Гідрид-натрієвий процес*, в якому використовується NaN замість металевого натрію. Вірогідність займання або вибухів при використанні NaN зведена до нуля, і технологія відповідно є більш безпечною. Інформація, що далі надається, базується на досвіді використання варіанту технології з металевим натрієм.

Метод дехлорування натрієм було застосовано для забрудненого масла з концентрацією ПХД до 10 000 ppm. Деякі джерела надають інформацію, що в цьому процесі можуть оброблятися цілі конденсатори та трансформатори.

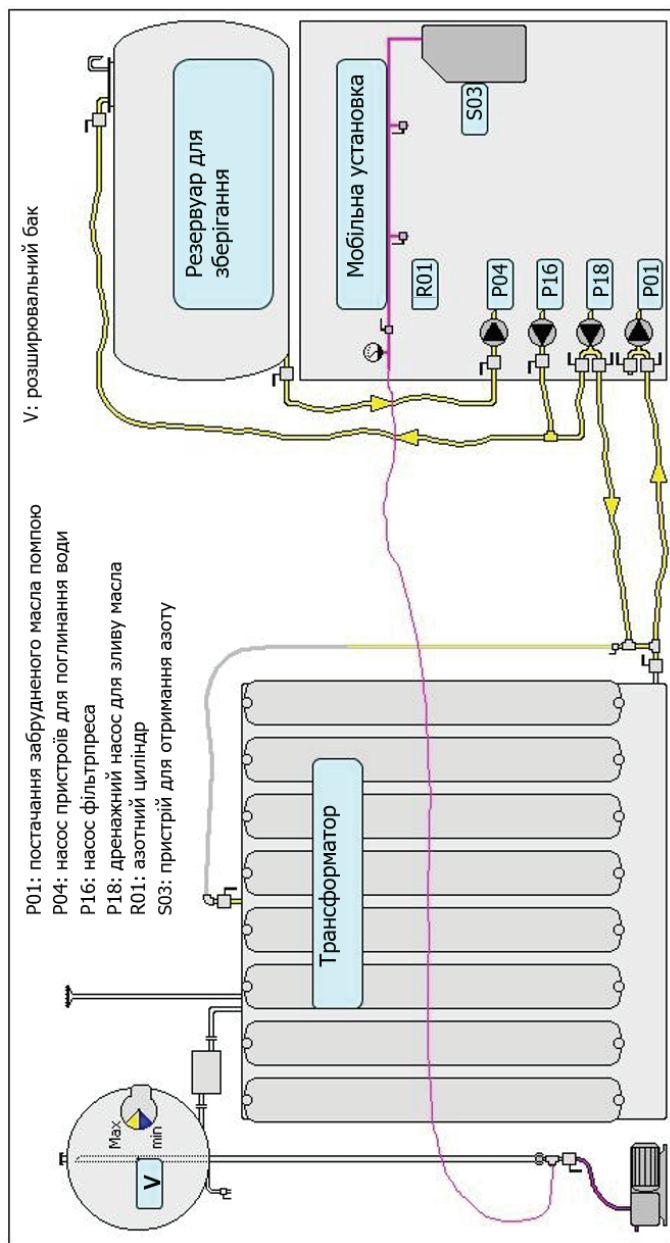
Опис технології

Лужне дехлорування передбачає обробку відходів дисперсним металічним лугом. Металічний луг реагує з галоїдами неводних відходів з утворенням солі і негалоїдованих відходів. Як правило, процес здійснюється при атмосферному тиску (іноді при підвищеному до 4 атмосфер) і температурах від 100°C до 180°C [4]. Оскільки якість трансформаторного масла погіршується при температурах вище 165°C, то більш високі температури небажані, якщо передбачається подальше застосування очищеного масла. Слід зазначити, що існують певні межі застосування технології. У тому випадку, коли очищене масло циркулює між трансформатором і блоком обробки, відбувається певне очищення внутрішніх елементів трансформатора, в результаті того, що частина ПХД з пористих елементів десорбується в гаряче чисте масло, яке повертається до блоку обробки.

Очищення масла може здійснюватися "на місці". Підключення модуля очищення до трансформатору може здійснюватися безпосередньо до трансформатору (мал. Д1-1) або через проміжний резервуар (мал. Д1-2).



Мал. Д1-1 Підключення модуля очищення безпосередньо до трансформатору

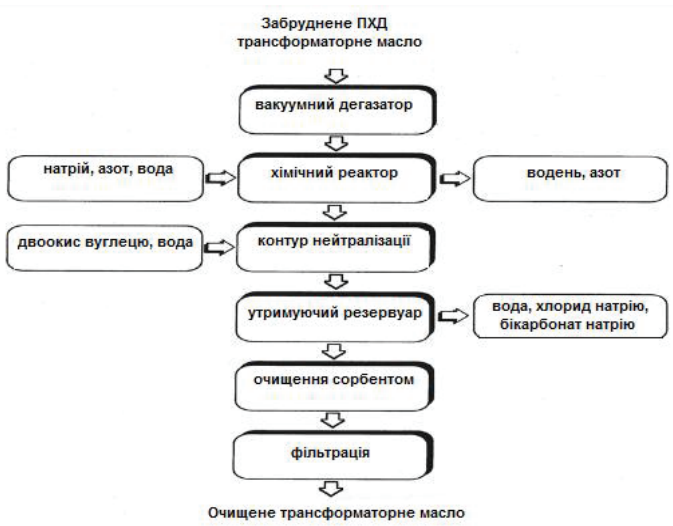


Мал. Д1-2 Підключення модуля очищення до трансформатору через проміжний резервуар

У випадку, коли трансформатори обробляються в режимі «на місці», ПХД, що містяться на внутрішніх елементах, частково видаляються, і якщо потрібне подальше очищення, то воно планується приблизно через 90 днів. Цей час необхідний, щоби пройшла дифузія ПХД, які залишилися в пористих елементах конструкції трансформатору в масло. В залежності від початкової концентрації ПХД очищення може бути повторене ще раз. Якщо концентрація ПХД перевищує 10000 ppm, то таке очищення пористих елементів трансформаторів стає економічно не вигідним.

Для уникнення вибухових реакцій з металевим натрієм має здійснюватися попередня обробка з метою видалення вологи приблизно до 100 ppm. Це, зазвичай, здійснюється за допомогою вакуумного дегазатору, який також використовується для регенерації діелектричних властивостей масла. Можна відзначити, що деякі інші реагенти для дехлорування, такі як К-Рег (утворюється змішуванням КОН з поліетиленгліколем) є набагато менш чутливими до води та не потребують попереджувальних заходів безпеки такого ж рівня.

Блок-схему технологічного процесу, що реалізується у стаціонарній установці наведено на мал. Д1-3.



Мал. Д1-3 Блок-схема технологічного процесу лужного дехлорування ПХД, реалізованого у стаціонарній установці

Конструктивне оформлення технологій

1. Склад найменшої моделі установки:

- два герметичні реактори на 3000 л зі змішувачами;
- дегідратор/дегазатор;
- блоки нагрівання масла;
- блок охолодження та конденсації з вакуумним насосом та фільтром з гранульованим активованим вугіллям;
- насоси, що використовуються в основному процесі і як допоміжні;
- контрольно-вимірювальні прилади та система автоматизації;
- лабораторний модуль;
- система підготовки та подачі реагентів;
- система створення захисної атмосфери з інертного газу;
- система вентиляції.

2. Склад середньої моделі установки:

Додатково до складу обладнання найменшої моделі включається фільтр з абсорбуючими глинами та системою подачі антиоксиданту.

3. Склад найбільшої моделі установки:

Додатково до складу обладнання найменшої моделі включається:

- центрифуга з додатковим приладдям;
- холодильна установка;
- додатковий теплообмінник для охолодження масла.

Мобільні установки можуть бути адаптовані до конкретних потреб замовників за допомогою додаткового обладнання.

Приблизний перелік додаткового обладнання:

- комплект для регенерації, що включає 2 фільтри з абсорбуючими глинами та антиоксидантний модуль;
- центрифуга для сепарації побічних продуктів;
- охолоджувач для конденсації парів газових продуктів;
- інжекційна система для оброблення змішаних відходів;
- газовий хроматограф для аналізу наявності ПХД у маслі;
- вимірювальне обладнання діелектричних параметрів;
- причіпний трейлер.

Досвід використання. Ці технології мають промислове впровадження вже більше 20 років. Технологія знайшла застосування в Північній Америці, Німеччині, Франції, Іспанії, Ірані та Японії (Таблиця Д1-1).

Сполуки, для яких може бути застосована технологія: ПХД, діоксини і фурани, гексахлорбензол, діелдрин (можуть бути оброблені лише малі кількості речовин, які не є ПХД).

Ефективність деструкції (DE). В більшості випадків DE коливається між 99% і 99,9%. Процес лужного дехлорування відповідає нормативним критеріям оброблення ПХД-забрудненого трансформаторного масла ЄС, США, Канади, Південної Африки, Австралії і Японії, а саме менше ніж 2 ppm в твердих і рідких залишках (менше ніж 0,5 ppm в Японії; в Північній Америці найбільш частий показник для хімічної дехлорування масла – 2 ppm (Таблиця Д1-1).

Таблиця Д1-1

Ефективність деструкції ПХД лужним дехлоруванням

Місце розташування проекту (установки)	Початкова концентрація, мг/кг	Концентрація після обробки, мг/кг	DRE
ENEL SPA, BUCINE (AR), Італія, 1999	315 ppm	4 ppm	98,7 %
ENEL SPA, PARMA, Італія, 1999	330 ppm	5 ppm	98,5 %
ENEL SPA, FIGLINA VALDARNO (FI), 2001	190 ppm	2 ppm	98,9 %
ENEL SPA, FOLANO DELLA CHIARA (AR), 2001	285 ppm	1 ppm	99,6 %
ENEL SPA, BOSSANO (VI), 2002	450 ppm	3 ppm	99,3 %
CELESTICA ITALIA SPA, VIOMERCATO (MI), 2002	155 ppm	3,5 ppm	97,7 %

На стаціонарній установці в Канаді залишки ПХД склали < 2 ppm в твердих і < 0,05 ppm в рідких відходах [5]. Конденсатори з вмістом ПХД 20% подрібнювалися та очищувалися до рівня нижче 5 ppm, що є еквівалентом DE 99.997%.

**Досвід реалізації проєктів
з технологією лужного відновлення**

Розробник технології	Забруднювач	Обсяг переробки, т	Ефективність знешкодження: DE, DRE або залишкова концентрація	Користувач технології
Sanexen – Canada	ПХД	25000 метричних тон	DE коливається у проміжку 99-99,9%	Hydro-Québec's "Bout-de-l'Île" site in Montréal, Канада, 1985-2000
Powertech Labs Inc	ПХД	~14000 т з 1987 року	залишок < 2 ppm	BC Hydro Power Authority Surrey Oil Business Unit Plants, Канада
TREDI – Séché	ПХД	16000 кг	98,7 % по ПХД	ENEL SPA, BUCINE (AR), Італія, 1999
TREDI – Séché	ПХД	22600 кг	98,5 % по ПХД	ENEL SPA, PARMA, Італія, 1999
TREDI – Séché	ПХД	17500 кг	98,9 % по ПХД	ENEL SPA, FIGLINA VALDARNO (FI), 2001
TREDI – Séché	ПХД	15600 кг	99,6 % по ПХД	ENEL SPA, FOLANO DELLA CHIANA (AR), 2001
TREDI – Séché	ПХД	15000 кг	99,3 % по ПХД	ENEL SPA, BOSSANO (VI), 2002
TREDI – Séché	ПХД	13000 кг	97,7 % по ПХД	CELESTICA ITALIA SPA, VIOMERCATO (MI), 2002

Продуктивність

Продуктивність стаціонарних установок сягає 7000 т масла/рік або 1650 т твердих елементів (Таблиця Д1-1). Мобільні установки здатні обробляти 15000 л/добу трансформаторного масла. Середня продуктивність мобільної установки складає 1000 л/годину в залежності від концентрації ПХД. Потужні мобільні установки розміщуються у 12-метровому контейнері. Модулі розташовуються поруч з об'єктами накопичення забрудненого масла і близько до резервуарів для зберігання очищеного масла.

У менш потужних установках масло обробляється партіями. Масло з низьким рівнем концентрації ПХД очищується партіями по 3000 л. Подвійний реакторний блок дозволяє обробляти неконцентровані ПХД в середньому по 1000 л/год.

В більш потужних установках забруднене масло обробляється у безперервному режимі.

Продукти переробки. Побічні продукти, що утворюються при проведенні процесу, включають хлорид натрію, гідроксид натрію, поліфеніли та воду. У деяких випадках утворюється також полімер. Залишок може мати високий показник рН через наявність NaOH або КОН. Після закінчення реакції, побічні продукти можуть бути відокремлені від масла за допомогою комбінації методів фільтрації та центрифугування. Очищене масло може використовуватися повторно після проведення відновлення діелектричних властивостей масла, яке зазвичай включає дегідратацію, дегазацію, мікрофільтрацію.

Центрифугований метало-органічний реагент зазвичай використовують повторно в процесі хімічного дехлорування.

В процесі утворюється невелика кількість шламу, який містить як хлорид натрію, так і затверділий полімер з деякою кількістю масла і води. Як правило, його транспортують на спеціальний полігон.

Викиди. Викиди складаються в основному з азоту та водню. Очікується, що викиди органічних сполук будуть відносно незначними. Для перехоплення органічних забруднювачів використовується фільтр з гранульованим активованим вугіллям. З нього періодично відбираються проби та аналізуються на відповідність діючим екологічним стандартам. Проте, відзначається, що при температурі до 150°C з хлорофенолів можуть утворюватися ПХДД [6].

Установки комплектуються сталевим піддоном під технологічним устаткуванням для збору будь-яких витоків з трубопроводів і резервуарів. Шланги, що з'єднують установки та цистерни і транс-

форматори, як правило, обгортаються на з'єднаннях сорбуючим матеріалом.

Порівняльні експлуатаційні дані установок лужного дехлорування

Нижче наведені порівняльні експлуатаційні дані установок лужного дехлорування: найменша установка, яка здійснює очищення масла окремими партіями; установка середнього розміру, яка додатково регенерує трансформаторне масло; найбільша установка, що працює в безперервному режимі.

А. Потреба в енергетичних та матеріальних ресурсах

А-1. Енергоресурси:

Таблиця Д1-3

Електроенергія	мобільна установка 34,5 кВт (60 а; 575 В); стаціонарна установка 57,5 кВт (100 а; 575 В)
Рідке паливо (мазут) для нагріву масла	до 20 кг/годину (близько 791 МДж/годину. залежно від потужності установки)*.

*- установки також можуть бути спроектовані для роботи повністю на електричному живленні

Потрібні ресурси для обробки конденсаторів, забруднених ПХД. На прикладі стаціонарної установки, Канада.

Таблиця Д1-4

Вид ресурсу	Одиниця вимірювання	Питома кількість на т відходів	Потрібна кількість на міс. (стаціонарна установка)
Електроенергія	МВт-год	1,0	10
Азот	нм ³	192	1920
СО ₂	кг	100	1000
Природний газ	нм ³	768	7680
Продуктивність	кг/хв.		0,4
	т/міс.		10,4
	т/рік		130

А-2. Водозабезпечення. Для стаціонарних установок необхідно біля 80 л на 1000 л масла, забрудненого ПХД.

А-3. Реагенти: максимальний обсяг реагентів для мобільної установки приблизно 200 кг (для 40% дисперсії натрію в маслі) або приблизно 2000 л К-Рег.

В. Експлуатаційні вимоги

В-1. Потрібна кількість персоналу. Щоб самостійно контролювати процес достатньо всього 2 технічних фахівців на зміну, або якщо технік достатньо кваліфікований, то 1 техніка та 1 робітника. Як правило, одна людина, відповідає за процес, друга – за відбір проб, проведення аналізів в лабораторному модулі та контроль якості.

При значному обсязі робіт з підключення до багатьох резервуарів та/або трансформаторів та з промивки ємностей, третя людина працює у денну зміну. Як правило, хімік або інженер працює з офісу, спілкуючись з замовниками та забезпечуючи нагляд за установкою.

В-2. Вимоги/можливості відбору проб. Всі аналізи проводяться в лабораторії поза місцем розташування установки. На початку експлуатації в лабораторію надсилається зразок перших літрів очищеного масла для перевірки його властивостей. Для найменшої моделі передбачено лабораторний модуль.

С. Економічні показники

На витратах відбиваються такі фактори як початкова концентрація ПХД та продуктивність процесу.

Вартість очищення трансформаторного масла в середньому складає:

- для масла з низькою концентрацією ПХД – 0,15 дол. США/л масла;
- для масла з великою концентрацією ПХД або з великою кількістю домішок (в цьому випадку включаються витрати на попередню обробку та утилізацію залишків) – 0,70 дол. /л масла.

Вартість очищення відпрацьованого трансформаторного масла в середньому складає 0,50 дол. США/кг. Насправді обробка відпрацьованого масла коштує дорожче, ніж обробка трансформаторного масла, фактично вдвічі або й більше, залежно від в'язкості масла та домішок, присутніх у маслі; відпрацьоване масло часто містить розчинники, воду, тверді речовини, фарби та інше, що потребує значної попередньої обробки та робить очищення до 2 ppm недоцільним. Часто мета очистки відпрацьованого масла – досягнення концентрації ПХД менше ніж 50 ppm, а не 2 ppm. Оброблене відпрацьоване масло потім використовується як додаток до палива для печей. Для відпрацьованого масла витрати на попередню обробку та утилізацію залишків не включаються.

Одне з підприємств в Канаді (стаціонарна установка) наводить витрати на очищення конденсаторів в стаціонарній установці [7] – 3,9 дол./кг

С. Впливи та ризики

С-1. Викиди в атмосферу: концентрація ПХД у викидах менше ніж 1 мкг/м³.

С-2. У твердих і рідких залишках концентрація ПХД менше ніж 2 ppm, але технологія має потенціал досягнення 0,5 ppm.

С-3. Ризики, пов'язані з хімічними реагентами:

Металевий натрій в дисперсному стані може вступати у бурхливу, вибухову реакцію з водою, що представляє серйозну небезпеку для оператора. Крім того, металевий натрій може взаємодіяти з різними іншими речовинами, внаслідок чого утворюється водень – легкозаймистий і при змішуванні з повітрям вибухонебезпечний газ.

Заходи, що мають бути вжиті: поводження з реагентом і деконтамінація в реакторі має проходити в нейтральній атмосфері.

Нафталін використовується у підготовці реагенту і має температуру займання 79°C. Може використовуватися лише у добре провітрюваному приміщенні. Оскільки його пари важче повітря, потенційна небезпека виникає при його зберіганні або використанні в замкнутому просторі. Нафталін натрію є одним з хімічних реагентів, які використовуються для обробки масла, забрудненого ПХД, і бурхливо реагує за окиснювачем.

Інший реагент, який використовується в процесі це поліетиленгліколь, який має температуру займання близько 243°C і за певних умов може утворювати органічні пероксиди при взаємодії з водою.

Водень є побічним продуктом процесу, що вивільняється при його заміщенні натрієм в органічних сполуках.

Гідроксид натрію інший побічний продукт процесу очищення. Дуже корозійний, їдкий при попаданні на шкіру. В США та Канаді існують спеціальні регулюючі норми щодо поводження, зберігання та утилізації відходів гідроксиду натрію.

Розділ 2. Очищення в автоклаві

Ця технологія застосовується лише для ПХД і має за мету очищення елементів обладнання від ПХД, тобто є складовою комплексного процесу його знешкодження. Після знешкодження різні метали, такі як мідь, сталь та алюміній поступають на подальшу утилізацію.

Опис технології

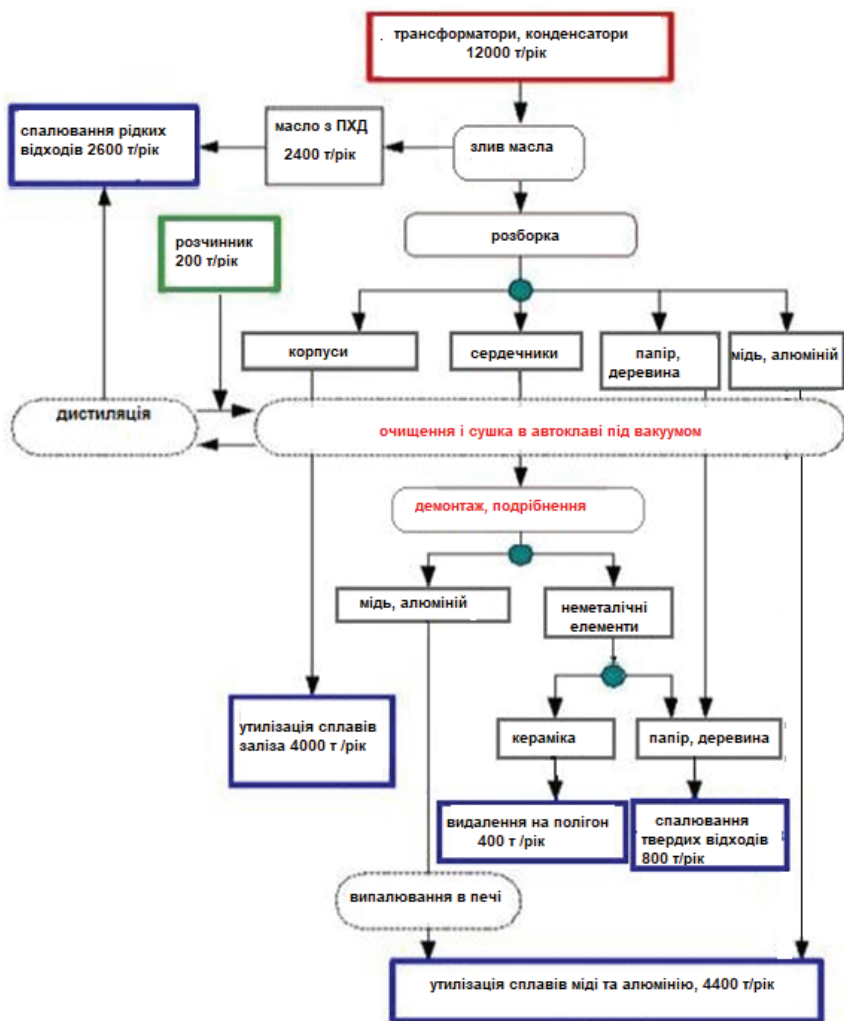
На початку 1980-х років було встановлено, що традиційний підхід до очищення трансформаторів від ПХД, а саме спосіб, за яким обладнання промивалось маслом або розчинником (від 3 до 6 разів) не міг ефективно знизити концентрацію ПХД до 50 мг/кг. Звичайна процедура промивання забезпечувала лише очищення корпусів. Для деконтамінації внутрішніх деталей трансформаторів: сердечників та обмоток її було недостатньо. Тому були знайдені технічні рішення, які забезпечували потрапляння розчинника у внутрішні елементи трансформатора. Обробка в автоклаві базується на процесі екстрагування ПХД розчинниками при пониженому тиску. Екстраговані ПХД підлягають як правило подальшому високотемпературному спалюванню.

Ця технологія також використовується для деконтамінації широкого спектру забруднених ПХД обладнання та матеріалів, у тому числі: електромагнітів, переривників, реле, кабелів, радіаторів, трубопроводів, посудин, клапанів. Можливість використання для іншого обладнання та матеріалів оцінюється в кожному конкретному випадку.

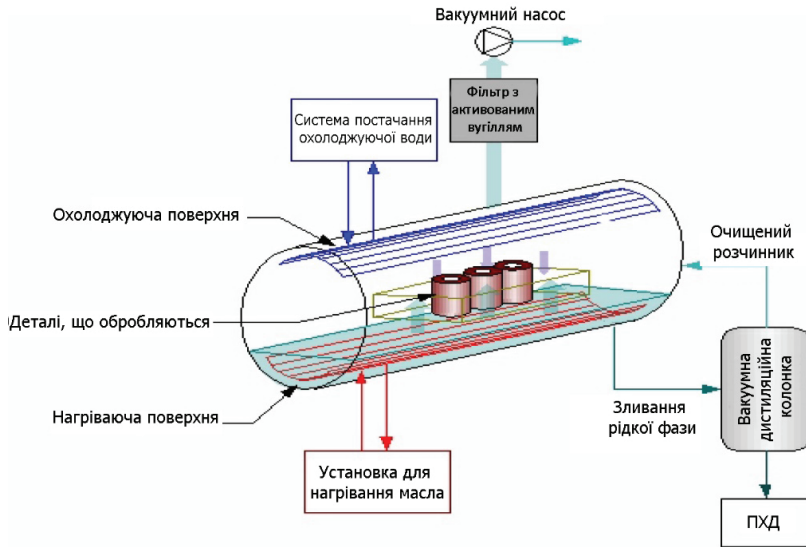
Блок-схему процесу очищення деталей трансформаторів та конденсаторів із застосування автоклаву наведено на малюнку Д 2-1, а конструкцію автоклаву на малюнку Д 2-2.

Опис технології

Трансформатори надходять на очищення як правило, заповнені маслом. Трансформатори зважуються повними і, згодом, порожніми. Зберігаються в спеціально облаштованій зоні зберігання. Після розвантаження трансформатори переміщуються на дренажний стенд, який складається з решіток та металевої платформи. Масло зливають за допомогою вакуумного насоса до резервуарів для зберігання, а потім передають на регенерацію або знищення.



Мал. Д2-1 Блок-схема процесу очищення деталей трансформаторів та конденсаторів із застосуванням установки з 9 автоклавами



Мал. Д2-2 Конструкція автоклаву

Після видалення масла трансформатори демонтують, а сердечники, корпуси, кераміка, болти, трубопроводи, допоміжні матеріали розкладають по окремим контейнерам різного розміру.

Цикли процесу очищення контролюються за допомогою програмованого логічного контролера (ПЛК), що дає змогу операторам налаштувати процес відповідно до типу та кількості оброблюваних матеріалів.

Цикли очищення поділяються на:

- довгі цикли для деконтамінації сердечників,
- короткі цикли для очищення корпусів та різних деталей (трубок, болтів, кераміки та ін.)

Як довгі, так і короткі цикли включають:

- завантаження деталей для деконтамінації в автоклав,
- створення вакууму та введення розчинника,
- нагрівання для видалення води,
- деконтамінація та злив ПХД-вмісного розчинника,
- висушування та охолодження вмісту камери автоклаву та остаточний дренаж,

- зняття вакууму та розвантаження.

Видалення ПХД проводиться під вакуумом без відключення насосу.

Розчинник відновлюється шляхом дистиляції. Оскільки точки кипіння ПХД і розчинника не співпадають, звичайної перегонки недостатньо. Дистиляція має відбуватися у вакуумі. Пари конденсуються на охолоджуваному водою теплообміннику. Гази, що не конденсуються, перш ніж бути видаленими пропускаються через фільтри з активованим вугіллям. Продукти перегонки зливають і направляють на тимчасове зберігання перед подальшим термічним знешкодженням.

Конструктивне оформлення технологій

В залежності від обсягів накопичення вибір може бути зроблений на користь мобільного або стаціонарного автоклаву. Якщо в країні є достатній обсяг для обробки (понад 2000 т), то вибір може бути зроблений на користь мобільного автоклаву. Також можливо побудувати і стаціонарний автоклав.

Знешкодження ПХД та очищення обладнання, забрудненого ПХД, має бути пріоритетним перед повним термічним знешкодженням.

Мобільна установка потребує трьох 6-метрових контейнерів і одного 12-метрового контейнера для транспортування.

Таблиця Д2-1

Досвід використання різних модифікацій установок для очищення в автоклаві

Підприємство, що застосовує технологію	Технологія	Рівень впровадження	Компоненти, що обробляються	Кількість установок	Додаткові зауваження
TREDI-Séché Франція	очищення в автоклаві	ПЕ	ПХД/ТХД у різноманітних забруднених матеріалах з обладнання для постачання електроенергії	9	Установка St Vulbas. Близько 12000 т/рік.
TREDI-Séché Франція	очищення в автоклаві	ПЕ	ПХД/ТХД у різноманітних забруднених матеріалах з обладнання для постачання електроенергії	2	Установка GEP (Générale d'Extraction du Pyrallène). Близько 1500 т/рік.

Закінчення таблиці Д2-1

TREDI-Séché Тайвань	очищення в автоклаві	ПЕ	ПХД/ТХД у різноманітних забруднених матеріалах з обладнання для постачання електроенергії	1	Подібна до St Vulbas. Близько 1500 т/рік.
TREDI-Séché Мексика	очищення в автоклаві	ПЕ	ПХД/ТХД у різноманітних забруднених матеріалах з обладнання для постачання електроенергії	3	Подібна GER. Близько 2000 т/рік.
TREDI-Séché Аргентина	очищення в автоклаві	ПЕ	ПХД/ТХД у різноманітних забруднених матеріалах, в основному з обладнання для постачання електроенергії	1	Мобільна установка. Близько 500 т/рік.

ПЕ – промислова експлуатація

Продуктивність. Продуктивність установки (9 автоклавів) може сягати 50 т/день сердечників. Загальна потужність установки – 12000 т/ рік. Продуктивність окремих автоклавів наведена в Таблиці Д2-2. Автоклави можуть бути як стаціонарними, так і мобільними.

Таблиця Д2-2

Параметр	Одиниця вимірювання	Автоклав типу GER	Автоклав типу St.Vulbas
Продуктивність	кг/хв.	0,5	28
	т/міс.	42	125
	т/рік	500	1500

Ефективність деструкції (DE). Повідомляється про значення DE, що перевищує 99,999%, для всіх хлорованих сполук. DRE, що перевищує 99,999%, наведено в Таблиці Д2-3.

Відходи: кераміка – 400 т/рік очищених нейтральних матеріалів розміщується на полігоні.

Викиди Відхідний газ обробляється за допомогою фільтра з активованим вугіллем. Витрати газу 125 нм³/годину.

А. Питомі потреби в енергетичних та матеріальних ресурсах

Дані, наведені для 9 автоклавів разом.

Потужність електроенергії: 1000 кВА

Теплова потужність від природного газу: 1260 кВт

Таблиця Д2-3

Результати очищення в автоклаві

Дата обробки	Виробник	Рік виробництва	Загальна маса (кг)	Маса діелектричної ріднини	Діелектрична речовина	Результати аналізу після очищення	DRE
20 DEC 2004	MERLIN GERIN №745 614	1974	1775	570	пирален	Сталеві деталі- 1 ppm Первинна мідь- 2 ppm Вторинна мідь- 4 ppm	99,9997%
20 DEC 2004	TRANSFORMER № 102 147 D2	1974	860	246	аскарель	Сталеві деталі- 1 ppm Первинна мідь- 1 ppm Вторинна мідь- 2 ppm	99,9997%
06 DEC 2004	TRANSFO N° 344 9302	1977	1220	340	пирален	Сталеві деталі- 1 ppm Первинна мідь- 5 ppm Вторинна мідь- 14 ppm	99,9992%
13 DEC 2004	TRANSFIX N° 28700	1963	626	175	пирален	Сталеві деталі- 1 ppm Первинна мідь- 8 ppm Вторинна мідь- 3 ppm	99,9996%

Дані виміряні у власних лабораторіях підприємств

Питомі потреби в енергетичних та матеріальних ресурсах для одного автоклава наведені в Таблиці Д2-4.

Таблиця Д2-4

Параметр	Одиниця вимірювання	Автоклав типу GEP кількість на місяць	Автоклав типу St.Vulbas кількість на місяць
Електрична енергія	МВт-год	24,3	65,7
Природний газ	МВт-год	27	73
Розчинник	кг	550	1500
Охолоджуюча вода		Замкнений контур	

Матеріальні ресурси

В якості розчинника використовується перхлоретилен. Необхідна кількість для рециркуляції близько 40 м³. Розчинник може використовуватися повторно після регенерації.

Загальне споживання розчинника – 200 т/рік.

Вода використовується у замкненому контурі. Витрати біля 100 м³/год.

В. Експлуатаційні вимоги

Потрібна кількість персоналу: 16 працівників, що працюють у 2 зміни по 8 годин, з них кваліфікована праця – 10, некваліфікована праця – 6.

Вимоги до лабораторії. Зразки мають бути підготовлені до вискоєфективної рідинної хроматографії (РХВЕ).

С. Економічні показники

Досвід проказує, що при наявності забрудненого обладнання в обсязі більше 2000 тон створення установок для очищення в автоклаві є рентабельним і менш затратним, ніж відправлення матеріалів у іншу країну на переробку. Повторне використання матеріалів покращує економічні показники. У деяких випадках доходи від переробки перевищують витрати на очищення в автоклаві.

Для мобільного комплексу загальною вартістю близько 1 млн. дол. США витрати на очищення в автоклаві склали \$3-5 /кг.

1. Витрати на монтаж і введення в експлуатацію – 5 %
2. Витрати на підготовку місця розташування – 2 %
3. Витрати на моніторинг – 1 %
4. Витрати на звітність – 1 %
5. Поточні витрати з відходами – \$0,3-0,5 /кг.
6. Експлуатаційні витрати – 2 %

Розділ 3. Інсінерація небезпечних відходів

Опис технології

Технологія передбачає дві зони термічної обробки хлорорганічних забруднювачів. Перша зона це зона десорбції/газифікації має температуру до 850°C, а друга зона це зона термодеструкції при температурах вище 1100°C та часі перебування більше 2 секунд. В залежності від агрегатного стану відходів термодесорбція може здійснюватися в обертових печах (тверді відходи) або реакторі (рідкі відходи), а система очищення газів в різних комбінаціях скрубєрів, рукавних фільтрів та інших засобів очищення. Приклад інсінератору на базі обертової печі наведено на малюнку ДЗ-1.

Інсінератори зазвичай не розробляються під конкретний забруднювач. Технологічний процес може бути застосований для відходів, що складаються, містять або забруднені будь-яким CO₂, і може бути пристосований для оброблення відходів будь-якої концентрації/фізичної форми: газів, рідин, твердих речовин, шлаків і шламів [8]. Частка ПХД в завантажених відходах зазвичай сягає 5-7%.

Очищення димових газів. Гази, що утворюються, можуть вимагати спеціальної обробки для видалення хлориду водню та твердих часток, а також для запобігання утворенню та видалення CO₂, що мимоволі утворилися в процесі. Це досягається шляхом комбінування різних засобів очищення, таких як циклонні уловлювачі, електростатичні фільтри, скрубєри, системи закалювання газів та очищення сорбентами [9]. Зольні залишки та летюча зола залежно від їх характеристик можуть вимагати їх подальшого видалення на спеціально облаштований полігон [10].

Технологічний комплекс може включати засоби для утилізації теплової енергії процесу.

Досвід використання. В процесі інвентаризації потужностей для деструкції ПХД було виявлено багато працюючих по всьому світу інсінераторів [11, 12]. Дані щодо досвіду використання інсінераторів більш детально наведені в таблиці ДЗ-1.

Ефективність деструкції ПХД (DE). Дані щодо ефективності деструкції наведені в таблиці ДЗ-1.

Продуктивність

Інсінератор може переробити від 30000 до 100000 т/рік небезпечних відходів.

Установка повного циклу в Німеччині з двома обертовими печами переробляє тверді, рідкі, пасто- і газоподібні відходи із загальною продуктивністю 110000 т/рік.

Використовуються також напівмобільні установки. В Польщі було застосовано установку продуктивністю 300 кг/год для відходів з теплотворною здатністю 24 МДж/кг, а в Латвії була застосована модульна установка, яка залежно від теплотворної здатності відходів мала продуктивність 2000-4000 т/рік. Відходи можуть містити до 2,5% сірки та до 10% галогенів (переважно хлору).

Продукти переробки

Відходи

Утворення відходів (попіл, зола, пил з фільтрів, активоване вугілля) оцінюються в 30% від маси вихідних відходів. Вторинні відходи видаляються на спеціальний полігон (сольові шахти) з максимальним вмістом діоксинів 33 нг ТЕ/кг для золи і 1200 нг ТЕ/кг для пилу з фільтрів.

Викиди

Викиди включають монооксид вуглецю, діоксид вуглецю, гексахлорбензол, хлорид водню, тверді частинки, ПХДД, ПХДФ, ПХД і водяну пару. ПХДД і ПХДФ були виявлені, переважно, в летючій золі, в зольних залишках і осаді в скрубєрі

А. Потреби в ресурсах

Потреби в ресурсах наведені для установки в Німеччині, що складається з 2 обертових печей загальною продуктивністю 110000 т/рік відходів. Всі показники наведені у розрахунку на тону відходів.

А-1. Потреби в електроенергії складають 170 кВт·ч/т. Установка виробляє енергію на власні потреби та частину в 15% постачає в загальну електроенергетичну мережу.

А-2. Водопостачання здійснюється з власної свердловини в обсязі 1,7 м³/т за рік.

А-3. Витрати палива. Для нагрівання установки після її зупинки використовується 4,4 кг/т рідкого палива. Зазвичай установка працює у автотермічному режимі.

А-4. Обсяги реагентів. Для нейтралізації кислих газів у мокрому скрубєрі використовується 40 кг/т 50% – розчину NaOH. Загальна кількість дуже залежить від вмісту хлору та сірки у відходах. На останній стадії очищення газів від слідів діоксинів та ртуті використовується суміш активованого вугілля та крейди – 1,5 кг/т).

В. Експлуатаційні вимоги

Моніторинг впливів на навколишнє середовище. Проводиться безперервний моніторинг димових газів на відповідність нормам

Таблиця ДЗ-1

Досвід експлуатації інсінераторів для знешкодження ПХД

Підприємство	Забруднювач	Продуктивність / обсяг переробки	Ефективність деструкції	Викиди, скиди, вторинні відходи		
SAVA, Німеччина	Пестициди та ПХД	23000 т/рік	Загальна DE >99,99%	75 кг пилу з фільтрів на тону відходів. Видалена кількість < 5% від загального обробленого обсягу.		
ЕКОЕМ, ОУ АВ, Фінляндія	Пестициди та ПХД		DE >99,9999%			
TREDI, SAINT VULBAS, Франція	Пестициди та ПХД	відходи з ПХД – 1000 т/рік 100% ПХД – 6000 т/рік	DE=99,999999%			
AVG, Німеччина	Пестициди і ПХД	Загальна продуктивність установки – 100000 т/рік	DE=100%	летюча зола, шлак і гіпс складають 33% від спалених відходів –		
НІМ, Німеччина	Пестициди і ПХД	Приблизно 400 т		Показник	HWI 1	HWI 2
					мг/м ³	мг/м ³
				Пил	0,24	0,59
				CO	20,36	23,97
				SO ₂	1,19	1,45
				HCl	0,82	0,2
ТОС	0,82	0,5				
NO _x	128,26	130,34				

Таблиця ДЗ-2

Вид ресурсу	Одиниця вимірювання	Витрати на тону відходів	Витрати за рік
Електроенергія	кВт·ч	170	18700000
Електроенергія, що постачається в електромережу	МВт·ч		1700
50% розчин NaOH*	кг	40	4400000
Виробництво CO ₂	кг	820	90000000
Рідке паливо**	кг	4	440000
Гідроксидна суміш активоване вугілля/кальцій***		1,4	150000
Вода для охолодження та скрубера (власне водопостачання – свердловина)	м3	1,7	187000
Виробництво шлаку	кг	215	23600000
Залишки пилу з фільтрів і розпилювальних сушарок	кг	46	5100000
Продуктивність	т/міс.	9170	
	т/рік		110000

* NaOH використовується для нейтралізації кислого газу у мокрому скрубери

забруднення атмосферного повітря. Проводяться аналізи летучої золи, шлаків та проб води на відповідність забруднення регулюючим нормам.

На деяких об'єктах проводять аналізи на загальний органічний хлор (TOCl), загальний органічний вуглець (TOC), рН та концентрацію важких металів твердих відходів та стічних вод перед їх видаленням.

Для аналізу використовують широкий спектр спектроскопічних, колориметричних та хроматографічних методів, таких як газова хроматографія, мас-спектрометрія, комбінація цих двох методів, мас-спектрометрія з індуктивно-пов'язаною плазмою, іонна хроматографія, інфрачервона спектроскопія.

С. Економічні показники

Інвестиції в новий завод у Німеччині продуктивністю 2 x 50 000 т/рік твердих, рідких, пастоподібних та відходів в бочках, тепловою потужністю (з котлом): 2 x 22 МВт та персоналом у 85 осіб оцінюються в 50 млн. дол. США

Будівництво установок на базі інсінераторів – це складні роботи. Їх можуть виконати лише досвідчені фахівці, які мають великий досвід у будівництві та монтажі таких установок.

Розділ 4. Плазмові технології

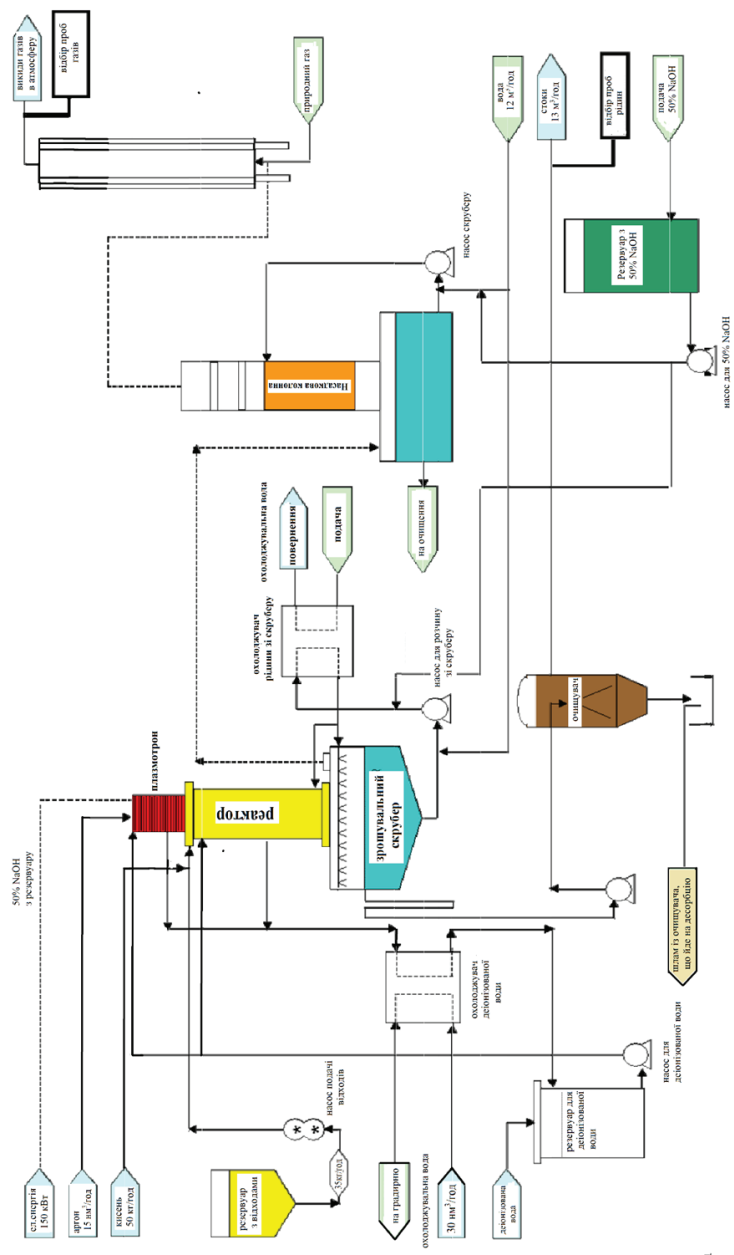
Опис технології

Технологію PLASCON (*"in-flight" Plasma ARC System*) було розроблено Державним об'єднанням наукових і прикладних досліджень (*Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation, CSIRO*) та впроваджено австралійською компанією, що спеціалізується на управлінні відходами.

У плазмовому процесі PLASCON відходи подаються безпосередньо до плазмового аргонного струменю, що витікає в реактор (мал. Д4-1). Аргон був взятий як плазмовий газ, не тільки тому що не приймає участі в формуванні нових хімічних продуктів перероблення, а й тому що забезпечує високий ресурс роботи електродів плазмотрону.

Відходи (рідкі або газоподібні) вприскують безпосередньо в плазмовий струмінь і швидко (<1 мс) нагрівають до температури 3100 °С. Під впливом високої температури хімічні сполуки розкладаються на елементарні компоненти (іони і атоми). Після цього у низькотемпературній зоні реакційної камери проходить швидке охолодження з рекомбінацією, яка веде до утворення простих молекул. Щоб уникнути осідання сажі, контролювана кількість окиснювача додається в плазмовий струмінь для перетворення вуглецю в СО. В якості джерела кисню може використовуватися водяна пара: кисень гарантує, що будь-який вуглець, сформований під час піролізу, перетвориться на двоокис вуглецю, а водень перешкоджає формуванню Cl₂. Наступним кроком є швидке лужне загартовування продуктів термодеструкції з температури 1200-1500 °С до температури менш ніж 100 °С. Таке швидке загартування обмежує формування діоксинів і фуранів. Холодний газ після загартування далі очищається лужним розчином у протитоківій насадковій колоні, щоб нейтралізувати HCl та інші кислі гази. Газ, що відходить з колони складається, головним чином з Ag та СО. Димові гази надалі доопалюються з окисненням СО до СО₂.

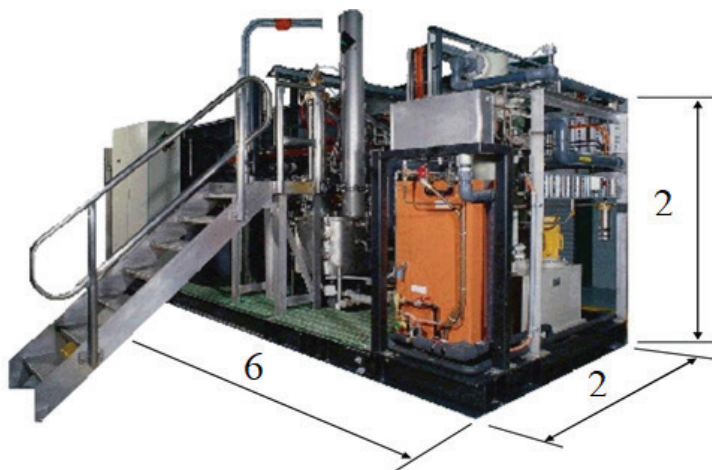
Забруднюючі речовини з твердих і сипких відходів попередньо проходять термічну десорбцію, конденсуються, і потім подаються у рідкому стані в плазмовий реактор для деструкції.



Мал. Д4-1 Технологічна схема знешкодження ПХД у плазмовому реакторі

Конструктивні особливості. Установки PLASCON постачаються в блочній комплектації з плазмовим пальником потужністю 150 кВт. Плазмотрон, реакційна камера, системи охолодження/нейтралізації, електропостачання, подачі матеріалів і система автоматичного контролю монтуються з окремих блоків. Розміри установки: 6м×2м×2м (мал. Д4-2) Всі модулі можуть бути поміщені в контейнери.

Досвід використання. Технологія плазмової деструкції *Plasma ARC PLASCON Technology* комерційно використовується з 1992 р. В Австралії, Великобританії та Японії побудовано 9 промислових установок.



Мал. Д4-2 Габарити установки

В Австралії діє 4 установки PLASCON потужністю 150 кВт. Одна з установок в м. Брісбен застосовується для знешкодження висококонцентрованих розчинів ПХД (>10 %) і широкого переліку хімікатів на базі CO₂. На установці було оброблено більше 1000 т концентрованих ПХД і хлорорганічних пестицидів.

В Японії велика хімічна компанія встановила 4 установки PLASCON для деструкції відходів ПХД. Установки були введені у дію в травні 2004 р. і до квітня 2004 р. прийняли на оброблення 900 т відходів. Установа, що працює у Великій Британії, знешкодує

хлорорганічні пестициди та озоноруйнівні речовини. На установці було успішно знешкоджено більше 10000 т відходів.

Установками PLASCON оброблено широкий спектр відходів включаючи більшість з CO₃, а також потоки технологічних відходів з виробництва пестицидів, зокрема, ПХД, діоксини і фурани, відходи хлорофенолів, що утворюються при виробництві гербіцидів (2,4-D), а також галони та хлор-фторовуглеводні (озоноруйнівні речовини), толуол, мінеральне масло, хлоровані розчинники, гексафторид сірки та меркаптани.

Продукти технології

Обсяг газових викидів складає близько 0,5 нм³/год. Викиди з технологічного процесу складаються переважно з аргону (79 % по масі), CO₂ (18,5 %), CO (2%) і водяної пари (0,5%). За результатами роботи установки в Японії встановлено, що вміст забруднювачів (ПХДД/ПХДФ та ПХД) в вихідних газах зазвичай менше ніж 0,01 нг-ТЕК/нм³ (норма в Японії – <0,1 нг-ТЕК/нм³), а концентрація CO менше ніж 10 ppm (норма в Японії <200 ppm).

Рідкі скиди складають 1 м³/год., які містять 50 г хлориду натрію, 5 г карбонату натрію.

Вміст забруднювачів (ПХДД/ПХДФ) в рідких скидах – менше ніж 0,01 пг-ТЕК/л (норма в Японії – <10 пг-ТЕК/л)

Незалежний моніторинг роботи установок показав, що DE для CO₃ і OPP (озоноруйнуючих речовин) перевищує 99,9999%. Залишкові CO₃ в очищеній стічній воді зазвичай не виявляються (при нормативному рівні 0,5 мкг/л), а викиди в атмосферу, як правило, менше 1 мг/нм³. Викиди діоксину, як правило, менше 0,01 нг-ТЕК/нм³ (див. Табл. Д4-1).

Продуктивність

Кожна установка PLASCON може обробляти 1-3 т/день відходів CO₃ в залежності від їх характеристик. Так, установка може обробити до 20 т/день відходів з 5% ДДТ та 95% сипкого інертного матеріалу (вапно, тальк), а відходи з 25 % ДДТ та 75% толуолу – 1 т/день.

Питомі потреби в енергетичних та матеріальних ресурсах

1. Потреби в електроенергії

Установки PLASCON обладнані стандартним плазмовим пальником потужністю 150 кВт. Взагалі установка споживає близько 180 кВт енергії.

2. Потреби води

Для охолодження плазмотрону потрібна деіонізована вода. Охолоджуюча вода циркулює у замкненому контурі. Системи очищення газів потребує 1 м³/год. води. Загальне споживання води з врахуванням випаровування – близько 1,4 м³/год.

3. Обсяги реагентів

Витрати аргону – 15 м³/год., витрати 30-60% розчину каустичної соди – 1,4 т на 1 т концентрованих відходів. Витрати каустичної соди прямо пропорційні концентрації забруднювачів, тобто, вмісту в них хлору. Витрати кисню – 0,8 т на 1 т концентрованих відходів (витрати кисню залежать від хімічного складу відходів).

4. Додаткове обладнання

Нижче наведено перелік обладнання, яке використовується на одній з установок PLASCON. Будь-якому оператору потрібне аналітичне обладнання, за винятком мас-спектрометра (він є обов'язковим, це залежить від оброблюваних відходів):

- 2 газових хроматографи, обладнані детекторами електронного захвату (ДЕЗ) та автоматичними пробовідбірниками для взяття проб рідини/газу;

- газовий хроматограф з 4-ма детекторами, включаючи один ДЕЗ для відбору зразків власного газу;

- газовий хроматограф з мас-спектрометром, який використовується в основному для ідентифікації пестицидів.

Потрібна кількість персоналу. Два працівники: 1 –кваліфікована праця; 1 – некваліфікована праця.

Економічні показники

Стандартна установка PLASCON потужністю 150 кВт коштує близько 1 млн. дол. США. Операційні і експлуатаційні витрати складають 1,5 дол. США на 1 кг відходів. Витрати на монтаж і введення в експлуатацію включені в ціну установки. Витрати на підготовку місця розташування – 100 тис. дол. США.

Розділ 5. Дехлорування в газовій фазі

Опис технології

Технологія GPCR передбачає термохімічне дехлорування органічних сполук воднем та водяною парою, яка виступає як теплоносіє та додаткове джерело водню. При температурі вище 850°C і низькому тиску водень вступає в реакцію з хлорорганічними сполуками, в результаті чого утворюються, головним чином, метан і хлорид водню та у незначній кількості вуглеводні з низькою молекулярною масою (бензол та етилен). Під час охолодження технологічного газу соляна кислота нейтралізується шляхом додавання каустичної соди або може бути видалена на утилізацію. Охолоджений, очищений газ з реактору стискається. Газ може бути використаний як паливо для установки або спалений у пальнику.

Технологія GPCR може бути розділена на три основні етапи: 1) попереднє оброблення відходів у зовнішній системі, де забруднені матеріали доводяться до відповідного стану прийняттого для подальшої деструкції в реакторі, 2) дехлорування у реакторі з використанням водню і пари 3) очищення та стиснення газу (див. мал. Д5-1).

Засоби попередньої обробки відрізняються відповідно до властивостей відходів. Наприклад, насипні тверді матеріали та упаковані у бочки хімічні речовини розміщують у апараті термічної обробки (TRBP), де вони нагріваються до приблизно 650°C в насиченій воднем (при дефіциті кисню) атмосфері. У цьому середовищі здійснюється десорбція забруднюючих речовин, які потім поступають безпосередньо в реактор GPCR для подальшої деструкції.

Водовмісні та маслянисті відходи поступають в систему попереднього підігріву, де рідина випаровується. Гази змішують з воднем та парою при температурі 600°C перед введенням до реактору GPCR.

Газ, що виходить з реактору GPCR, очищується у двох скруберах для охолодження та видалення кислоти, води, та дрібних частинок. Кислі газу (HCl) нейтралізуються лужним розчином або очищуються та концентруються відповідно вимог щодо повторного використання в промисловості.

Охолоджений газ після скрубера є сумішшю водню, метану, оксидів вуглецю та низькомолекулярних вуглеводнів. Деяка частина виробленого газу знов нагрівається та повертається назад у реактор GPCR, або поступає в систему TRBP. Надлишок газу відводиться з системи і стискається для тимчасового зберігання. Газ, що зберігається, потім використовується як паливо при нагріванні таких елементів системи як бойлери, або поступає до модуля каталітичної конверсії пари для виробництва водню (в ситуаціях, коли на місці роботи установки неможлива подача водню по трубах).

При обробці ґрунту та осаду, забруднюючі речовини спочатку відокремлюють від твердих речовин шляхом термодесорбції. Оскільки в процесі термічної обробки матеріал не потрібно діставати з бочок, процедура TRBP передбачає мінімальний контакт робітників з хімікатами. Однак, для великогабаритного обладнання та його компонентів, будівельних відходів потрібна додаткова попередня обробка.

Конструктивне оформлення

Установки GPCR можуть бути виконані у транспортабельному або мобільному варіантах. В залежності від продуктивності установки можуть розміщуватися на площі 4000 м² (приблизно 8-10 трейлерів) або 1000 м² (приблизно 4 трейлери) або 75 м² (1 трейлер) [13].

Продуктивність

Продуктивність залежить від розміру GPCR- установки та типу відходів, що підлягають обробці. У Таблиці Д5-1 наведені дані щодо продуктивності для різних видів відходів.

Таблиця Д5-1

Вид відходів	Установка	Продуктивність (т/рік)
Масло, забруднене ПХД	Напівмобільна	840
	Повномасштабна	3360
Хлорофторвуглеці (CFC) і галони	Напівмобільна	1680
	Повномасштабна	6720
Конденсатори, забруднені ПХД	Напівмобільна	1400
	Повномасштабна	5600
Хлоровані пестициди (у твердому та/або рідкому стані)	Напівмобільна	840
	Повномасштабна	3360

Досвід впровадження

Промислові установки GPCR в Австралії за термін 5 років обробили більше ніж 2500 т ПХД, ДДТ та інших СОЗ. GPCR може використовуватися в поєднанні з технологіями термічної десорбції для обробки ґрунту та осаду з продуктивністю до 10 т/год.

Технологію GPCR було відібрано UNIDO для пілотного проекту щодо обробки до 6000 т відходів ПХД в Словацькій Республіці.

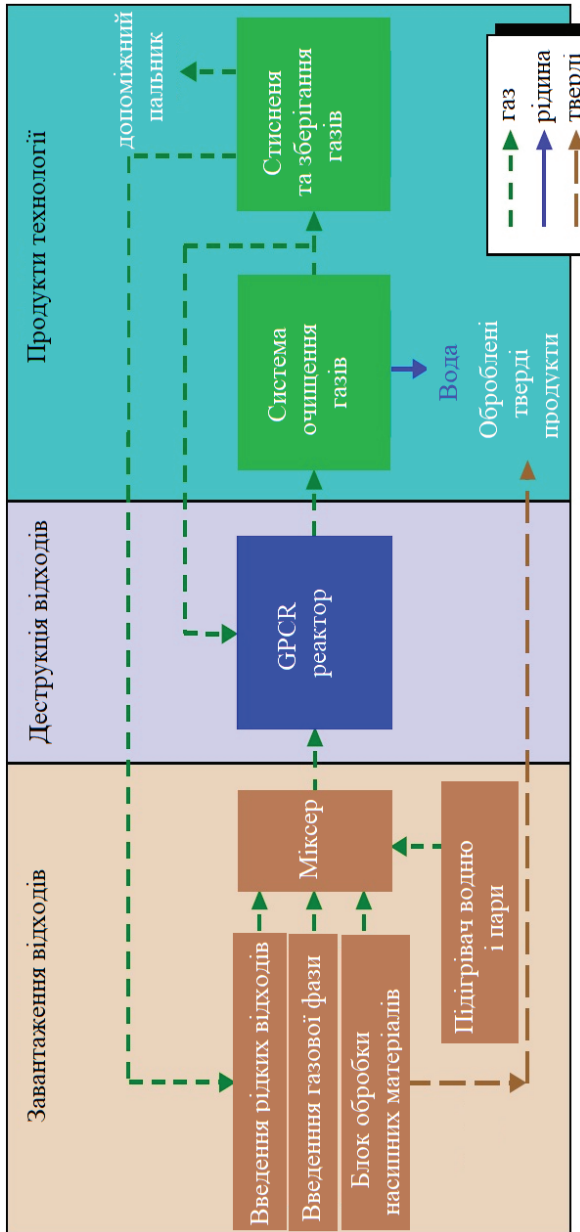
Таблиця Д5-2

Підприємство	Технологія	Речовини, що оброблюються	Пов'язані речовини, що оброблюються	Додаткові зауваження
ECO LOGIC	GPCR	ДДТ	ПХД	промислова повномасштабна установка, що обробляє ДДТ, ПХД та ін. хлорорганічні пестициди
ECO LOGIC	GPCR	ГХБ		дослідження промислового рівня з обробленням гексахлорбензолу
ECO LOGIC	GPCR		ПХД	оброблення ПХД-забруднених матеріалів, в т.ч. електрообладнання, бетон, засоби особистого захисту
ECO LOGIC	GPCR	ДДТ, ДДД, ґрунт з ДДЕ		випробування щодо можливості обробки ґрунту, забрудненого пестицидами

2. Ефективність деструкції (DE)

В Австралії (Куинана, Західна Австралія) для ПХД, ГХБ та ДДТ було досягнуто DE на рівні як мінімум 99.9999% [14; 15; 16]. Ефективність руйнування десорбованих ГХБ та хлорбензолу у реакторі GPCR, як повідомляється, становила 99,99999% та 99,9999% відповідно [13].

Були проведені також випробування технології у промисловому масштабі в Канаді. Досягнуті показники DE для масла з високою концентрацією ПХД та хлорбензолу наведені в таблиці Д5-3.



Мал. Д5-1. Схема технологічного процесу з GPCR-реактором

**Ефективність деструкції галогеновмісних відходів
у технології GPCR**

Проект	Забруднювач	DE (%)*
General Motors Ltd. (Канада) (масло з ПХД – 3 тести)	ПХД	99,9999996
	ПХД	99,9999985
	ПХД	99,9999808
Куинана (масло з ПХД)	ПХД	99,999998
Куинана (ДДТ в толуолі)	ДДТ	99,999984
Японія (масло з ПХД)	ПХД	99,99998098
	ПХД	99,99999977
General Motors Ltd., Канада	50% – ПХД, 30% -хлоробензол	99,9999997%

Продукти перероблення

Продукти перероблення – тверді відходи, вода та газ. Вони очищені і можуть бути використані повторно або видалені на полігон. Усі технологічні залишки збираються і можна провести їх аналіз та прийняти рішення щодо їх подальшої обробки/видалення. Оскільки процес GPCR відбувається у відновлювальному газовому середовищі, можливість утворення неконтрольованих відходів при нормальному протіканні процесу невелика.

При обробці 500 т пестицидів і 1500 т ПХД у м. Куинана ПХД або ДДТ не були виявлені ні в газоподібних, ні в рідких/твердих залишках. Під час проведення контрольних випробувань інші специфічні забруднюючі сполуки також не були виявлені в викидах, рідких/твердих залишках, шлаки не утворювались.

Очищення води. Після проходження через вугільні фільтри, за допомогою чого видаляються будь-які залишки органічних речовин, вода може бути видалена різними шляхами, включаючи випуск до місцевої зрошувальної системи, до поверхневого водоймища або до муніципальної каналізації. Воду також можна використовувати для охолодження системи.

А. Потреба в ресурсах

Вимоги щодо потрібних ресурсів для обробки відходів пестицидів на установках продуктивністю 840 т/рік (напівмобільна установка) та 3360 т/рік (повномасштабна установка) наведені Таблиці Д5-4. Дані наведені в розрахунку на тону відходів.

Таблиця Д5-4

Ресурс	Одиниця вимірювання	Потрібна кількість на місяць		
		на 1 т відходів	напівмобільна установка	повномасштабна установка
Електроенергія*	МВт·ч	2,5	175	700
Каустична сода	т	1,4	98	392
Водень **	нм ³	1000	70000	280000
Азот	нм ³	75	5250	21000
СО2	кг	20,1	1407	5628
Водяна пара	кг	1500	105000	420000
Природний газ	нм ³	600	42000	168000
Охолоджуюча вода	м ³	500	35000	140000
Продуктивність	кг/хв		2	8
	т/міс.		70	280
	т/рік		840	3360

*пікове навантаження – 1000 кВт;

**передбачається, що водень поповнюється з виробленого газу

Потрібна кількість персоналу

Обробка твердих матеріалів (2 агрегати TRBP):

- напівмобільна установка – 4 працівника на зміну;
- повномасштабна установка – 6 працівників на зміну.

Обробка рідин/газів (1 агрегат TRBP):

- напівмобільна установка – 3 працівника на зміну;
- повномасштабна установка – 5 працівників на зміну.

Потрібна кількість фахівців (техніків) (кваліфікована праця)

Обробка твердих матеріалів (2 процесори TRBP):

- напівмобільна установка – 2 працівника на зміну;
- повномасштабна установка – 3 працівника на зміну.

Обробка рідин/газів (1 агрегат TRBP):

- напівмобільна установка – 2 працівника на зміну;
- повномасштабна установка – 3 працівника на зміну.

Потрібна кількість працівників (некваліфікована праця)

Обробка твердих матеріалів (2 агрегати TRBP):

- напівмобільна установка – 2 працівника на зміну;
- повномасштабна установка – 3 працівника на зміну.

Обробка рідин/газів (1 агрегат TRBP):

- напівмобільна установка – 1 працівник на зміну;
- повномасштабна установка – 2 працівника на зміну.

В. Витрати

Розрахункові капітальні витрати, включаючи монтаж, введення в експлуатацію та підготовку ділянки.

Обробка твердих матеріалів (2 процесори TRBP):

- повномасштабна установка – 10,8 млн. дол. США;
- напівмобільна установка – 5 млн. дол. США.

Обробка рідин/газів (1 процесор TRBP):

- повномасштабна установка – 10,3 млн. дол. США;
- напівмобільна установка – 4,75 млн. дол. США.

Експлуатаційні витрати наведені в таблиці Д5-5.

Таблиця Д5-5

Оцінка витрат на ресурси та персонал при обробленні пестицидів

Тип відходів	Установка	Продуктивність (т/рік)	Витрати *	
			ресурси	персонал
хлоровані пестициди (тверді або рідкі)	напівмобільна	840	1317	593
	повномасштабна	3360	1317	222

* наведені лише витрати на ресурси, без врахування накладних витрат чи прибутку.

Викиди в атмосферу

За оцінкою обсяг димових газів складає:

- напівмобільна установка (оброблення 70 т/міс. відходів) – 1,75 млн.м³/міс.;
- повномасштабна установка (оброблення 280 т/міс. відходів) – 7 млн.м³/міс.

До складу газів входять: 16% Н₂О, 4% СО₂, 72% N₂ і 8% О₂. Більш детальна інформація щодо викидів наведена в таблиці Д5-6.

Таблиця Д5-6
Порівняння світових стандартів щодо викидів у повітря при спалюванні з результатами застосування технології GSPR.

Забруднювач	Стандарт ЕС ¹⁾	США	Канада	США (Муниципальні установки для спалювання)	Виміряний рівень технології GSPR	
					Концентрація	Проект
Загальний пил/частки	10 мг/м ³	34 мг/м ³	50 мг/м ³	17 мг/м ³	0,35-0,94 мг/м ³	General Motors Ltd., Canada (масло з ПХД)
Загальний органічний вуглець	10 мг/м ³	10 ppmv	н	100 ppmv (еквівалент метану)	0,4-2,3 ppm	General Motors Ltd., Canada
HCl	10 мг/м ³	21 ppmv	75 мг/м ³	18 ppmv (27 мг/м ³)	<0,00007-0,0025 мг/м ³	General Motors Ltd., Canada
HF	1 мг/м ³	н	н	н	дані відсутні	
SO ²	50 мг/м ³	н	н	21 ppmv (56 мг/м ³)	0-1 ppm	General Motors Ltd., Canada
NOX	200 мг/м ³	н	н	100 ppmv	63-79 ppm	General Motors Ltd., Canada
PCDD/PCDF	0,1 нг/м ³	0,2 нг/м ³	12 нг/м ³	0,14 нг/м ³	0,018-0,02 нг/м ³ 0,000011-0,00041 нг/м ³ 0,0027 нг/м ³ 0,00013-0,00065 нг/м ³	General Motors Ltd., Canada; New Bedford Harbor (осад з діоксином) Японія (тверді матеріали з діоксином); U.S.Army.
CO	50 мг/м ³	100 ppmv	н	н	0-1,5 мг/м ³	U.S.Army.
Напівлегкі метали	н	24 µG/м ³	н	н	1-5 ppm	General Motors Ltd., Canada
леткі метали	н	97 µG/м ³	н	н		
Кадмій	0,05 мг/м ³	н	н	0,014 мг/м ³	0,00019-0,000093 мг/м ³	General Motors Ltd., Canada
Талій	0,05 мг/м ³	н	н	н	<0,0042-<0,0048 мг/м ³	

Закінчення таблиці Д5-6

Забруднювач	Стандарт ЕС ¹⁾	США	Канада	США (Муниципальні установки для спалювання)	Вимірний рівень технології GSPR	
					Концентрація	Проект
Ртуть	0,05 мг/м ³	0,045 мг/м ³	н	0,02 мг/м ³	<0,0000048- <0,000099 мг/м ³	
Сурьма	0,5 мг/м ³	н	н	н	0,0012-0,0021 мг/м ³	
Миш'як	0,5 мг/м ³	н	н	н	<0,00014- <0,00016 мг/м ³	
Свинець	0,5 мг/м ³	н	н	0,142 мг/м ³	0,00053-0,0029 мг/м ³	
Хром	0,5 мг/м ³	н	н	н	0,0056-0,009 мг/м ³	
Кобальт	0,5 мг/м ³	н	н	н	<0,00014- <0,00016 мг/м ³	
Мідь	0,5 мг/м ³	н	н	н	0,00081-0,0016 мг/м ³	
Марганець	0,5 мг/м ³	н	н	н	0,00084-0,0018 мг/м ³	
Нікель	0,5 мг/м ³	н	н	н	<0,00008- <0,0021 мг/м ³	
Ванадій	0,5 мг/м ³	н	н	н	<0,00035- <0,00041 мг/м ³	

н – не внесено в перелік

¹⁾ Основано на щоденній середній величині, крім ПХДД/ПХДФ, щодо яких розрахунки проводяться на основі середньої величини за 6-8 год., і металів, щодо яких за основу береться середня величина за період від 30 хв. до 8 год.

Скиди

Вода зі скрубера пропускається через вугільні фільтри для видалення будь-яких залишків органічних сполук і додатково контролюється перед скиданням або повторним використанням в якості охолоджуючої води. Раніше установкам GPCR було дозволено скидати воду із скрубера напряду у відкриті водойми, муніципальні каналізаційні або зрошувальні системи.

- напівмобільна установка (оброблення 70 т/міс. відходів) – 140 тис. кг/міс.;
- повномасштабна установка (оброблення 280 т/міс. відходів) – 560 тис. кг/міс.

Вторинні відходи

Всі відходи, що утворюються в технологічному циклі обробляються за допомогою TRBP для впевненості щодо відсутності в них забруднюючих речовин. Невеликі кількості вуглецю, який може залишитися в процесорі TRBP, аналізуються і згодом видаляються на полігон. Під час повномасштабного випробування щодо знешкодження ГХБ в м. Куинана в процесор TRBP завантажували цілі бочки, наповнені кристалами ГХБ. Після закінчення процесу залишилось лише 2% від вхідної маси ГХБ. Аналіз показав, що то були залишки кремнію та вуглецю.

Вугільні фільтри використовуються в різних системах установки, включаючи систему очищення стічних вод. Насичені органічними речовинами вугільні фільтруючі матеріали обробляються в апараті TRBP, а потім повторно використовуються в технологічному циклі.

Усі тверді відходи, що утворюються в процесі, прийнятні для розміщення на полігонах. Їх кількість – близько 2% від початкового обсягу органічних відходів.

Розділ 6. Каталітична деструкція ПХД

Серед технологій каталітичної деструкції найбільш масштабного впровадження досягла технологія Base Catalyzed Decomposition (BCD). Її попереднє найменування Base Catalyzed Dechlorination.

Опис технології

Процес BCD включає в себе обробку рідких і твердих відходів у присутності суміші реагентів, що складається з нафтопродуктів з високою температурою кипіння, гідроксиду натрію та запатентованого каталізатору. При нагріванні до $\sim 300^{\circ}\text{C}$ реагент продукує високоактивний атомарний водень, який розщеплює хімічні зв'язки, що надають токсичні властивості сполукам.

Залишки, що утворюються при розкладенні це вуглець і натрієві солі з аніонів, які вивільняються під час реакцій повного розкладення. Після реакції термічної обробки неорганічні та вуглецеві тверді продукти відокремлюються від нафтопродукту, що не вступив в реакцію, шляхом гравітаційного розділення або центрифугування. Нафтопродукти та каталізатор можуть бути використані в інших циклах обробки. Якщо необхідне подальше відокремлення твердих залишків, солі та надлишок реагентів можна видалити з залишків вуглецю, промиваючи їх водою. Залишок вуглецю нетоксичний і може бути видалений на полігон як будь-який нетоксичний матеріал. Переваги процесу BCD в тому, що він не потребує високих температур та тиску.

У випадку, коли CO_2 містяться в ґрунті, осаді або інших твердих матеріалах, процес BCD доповнюється стадією попередньої обробки (такою як *термодесорбція*) для екстракції забруднюючих речовин. Відходи що можуть бути оброблені включають ґрунт, осади, шлами, рідини. Розробники технології стверджують, що доведена її ефективність для знищення ПХД на дерев'яних, паперових та металевих поверхнях трансформаторів. Пряма обробка конденсаторів неможлива, потрібна додаткова екстракція розчинником. В деяких технологіях конденсатори подрібнюють і оброблюють гідроксидом натрію. До подрібненого матеріалу може бути застосована каталітична деструкція. Деструкція відходів з концентрацією ПХД у 20% завершується протягом 20-30 хвилин, а відходів з 30% ПХД потрібно 60-90 хвилин.

Блок-схему процесу знешкодження ПХД у BCD-реакторі наведено на малюнку Д6-1.

Досвід використання. В Австралії технологія використовувалася на 2 промислових установках. Всього оброблено приблизно 8000-10000 т ПХД і масла, забрудненого ПХД, 25 т хімікатів для виготовлення пестицидів і застарілих пестицидів, 15 т концентрату пестицидів, що був зібраний в процесі відновлення ґрунтів.

Інша промислова установка працювала в Мексиці. З 1998 року оброблено загалом 1400 т рідких речовин і твердих компонентів, забруднених ПХД. BCD-технологія також застосовувалася в короткотермінових проєктах в Австралії, Іспанії, США.

На початку 1990-х років технологія BCD успішно застосовувалася для відновлення ґрунтів в США в комбінації з процесом термічної десорбції. У Японії був розроблений безперервний процес для обробки масла з низьким рівнем забруднення ПХД.

Відомості щодо попереднього досвіду використання BCD-технології наведено в таблиці Д5-1.

Таблиця Д6-1

Попередній досвід використання BCD-технології.

Підприємство, що застосовує технологію	Технологія	Рівень впровадження	Речовини, що обробляються	Пов'язані речовини, що обробляються	Додаткові зауваження
BCD Technologie, Brisbane, Australia	BCD	ПВ	??	ПХД	стаціонарна установка безперервної дії
Soiltech ATP Systems Inc., USA	АТП* в поєднанні з дехлоринуванням лужним поліетиленгликолем	ПВ	ґрунт з ПХД/ арахлором		повний обсяг 42000 т
Soiltech ATP Systems Inc., USA		ПВ	ПХД у ґрунті		12755 т забрудненого ґрунту і осаду.
ETG		ПВ	забруднений ПХД ґрунт		10000 т ґрунту,

ПВ- промислове впровадження

*-АТП-мобільний анаеробний термальний процесор

Ефективність деструкції (DE)

Існують дані про DE від 99,99 до 99,9999% для ДДТ, ГХБ, ПХД, ПХДД і ПХДФ [5] Міністерство навколишнього середовища Японії повідомляє про DE >99,999% і DRE >99,9999% для хлордану і ГХБ [17]. Також є інформація, що можна досягти зменшення вмісту хлорованих органічних речовин до <2 мг/кг [10].

Продукти технології

Побічні продукти технології це солі, що містить надлишки каустичної соди та вуглець. Ці матеріали видаляються на полігони для нетоксичних речовин. Крім того, є невелика кількість нафтопродуктів (донорів водню), що не містить як органічного, так і неорганічного хлору, і може бути повторно використана.

Сучасні установки розроблені з високим ступенем власної безпеки. Випуск пара йде через подвійні конденсатори, охолоджувачі та подвійні фільтри з активованим вугіллям. Запобіжні клапани скидання тиску відкриваються в утримуючий резервуар.

Продуктивність

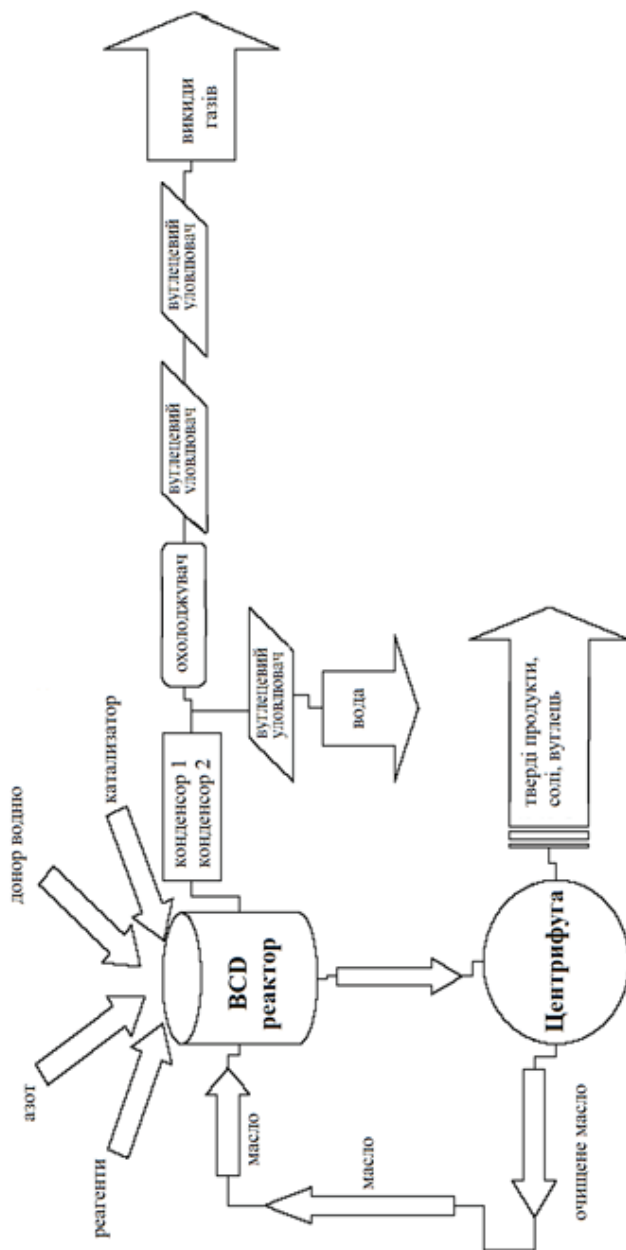
У Мексиці та Чехії VCD реактори побудовані розміром 10 м³ і оснащені масляною системою нагріву на заміну оригінальної системи електронагріву. Результатом стало значне зменшення часу нагріву, що підвищило продуктивність до 1000 т/рік ПХД з високим вмістом хлору і пестицидів (50%). Реактор може також обробляти до 7000 т/рік масла з помірним чи низьким рівнем забруднення ПХД.

Мобільні установки можуть складатися з реакторів обсягом 2-5 м³. Установки з реакторами об'ємом 10 м³ також можуть бути пересувними.

Вторинні відходи

Залишки, що утворюються під час реакції VCD, включають шлам, що містить, перш за все, воду, сіль, невикористаний нафтопродукт (донор водню) та залишок вуглецю. Вуглецевий залишок є інертними та нетоксичними.

При використанні в процесі більш дешевого палива або нафтопродуктів високого ступеню очищення, шлам в якості палива подається в цементні печі. При використанні нафтопродуктів з більш високого ступеню очищення їх можна видалити із суміші методом гравітаційного розділення або центрифугування та повторно використати (90-95% нафтопродукту), що значно покращує економичність процесу та зменшує виробництво відходів практично



Мал. Д6-1 Блок-схему процесу знешкодження ПХД у WCD-реакторі

до твердих часток хлориду натрію та вуглецю. На полігон видаляються близько 1,5% від вхідного обсягу відходів.

Викиди в атмосферу складаються з 90% азоту, решта – H_2 . Витрати складають 2-5 м³/год., в середньому 3,5 м³/год. Установки ВСД обладнані уловлювачами з активованим вугіллям для мінімізації вмісту летючих органічних сполук в газових викидах.

А. Потреба в ресурсах:

До цього розділу включено деякі дані для ВСД системи з великим реактором продуктивністю обробки 1000 т/рік та можливостями щодо відновлення нафтопродукту.

В ВСД процесі витрати енергії досить низькі внаслідок низьких температур процесу – 100-125 кВт·год.

Потреби у воді для охолодження 10-15 м³/год.

Обсяг палива: газове паливо 40 м³/год.

Обсяги реагентів:

- нафтопродукти-донори водню, такі як пічне паливо в обсязі 150-200 т/рік;
- карбонат лужних або лужноземельних металів, бікарбонат або гідроксид, такий як бікарбонат натрію. Необхідна кількість луку залежить від концентрації галогенованих забруднювачів, які містяться в матеріалі, що оброблюється [18]. Кількість – від 1% до ~ 20% маси забрудненого матеріалу;
- каталізатор у кількості до 1% обсягу нафтопродукту (донора водню) – 0,5 т/рік.

В. Витрати

Для установки ВСД в Сполані (Чехія) для хлорорганічних сполук з 50%-вмістом Сl продуктивністю 150 т/міс витрати складають 1400-1700 Євро/т.

ПОСИЛАННЯ

1. Методичні настанови щодо проведення інвентаризації поліхлорованих дифенілів в Україні. Державна екологічна академія Мінекології України. 2017.
2. Destruction and Decontamination Technologies for PCBs and Other POPs Wastes. A Training Manual for Hazardous Waste Project Managers. Secretariat of the Basel Convention, 2002.
3. Звіт за відомчою темою №327В: «Дослідження процесів газифікації вуглецьвміщуючих матеріалів в розплавах сполук лужних металів з метою розроблення ефективних технологій утилізації енергетичного потенціалу відходів та знешкодження їх токсичних компонентів». Інститут газу НАН України, 2012.
4. Ariizumi Otsuka, Kamiyama and Hosani, 1997, and Japan Industrial Waste Management Foundation, 1999. Ariizumi and others, 1997.
5. Review of the Emerging, Innovative Technologies for the Destruction and Decontamination of POPs and the Identification of Promising Technologies for Use in Developing Countries. UNEP, 2004b. Available at www.unep.org/stagef
6. Weber, Roland, 2004, Relevance of PCDD/PCDF Formation for the Evaluation of POPs Destruction Technologies – Necessity and Current Status. *Organohalogen Cpd*s 66: 1282-1288.
7. Survey of currently available non-incineration PCB destruction technologies. UNEP. 2004. Available at www.chem.unep.ch
8. Technical Guidelines on Incineration on Land (D10) UNEP, 1995c
9. Draft Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices. UNEP, 2004c Available at www.pops.int
10. United States Army Corps of Engineers, 2003. Safety and Health Aspects of HTRW Remediation Technologies. Available at www.usace.army.mil
11. Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity, UNEP, 2004
12. Destruction and Decontamination Technologies for PCBs and Other POPs Wastes under the Basel Convention, Volume A, B,C, UNEP, 2001 Secretariat of the Basel Convention. Available at www.basel.int
13. W. E. Schwinkendorf, B. C. Musgrave, R. N. Drake. Evaluation of Alternative Nonflame Technologies for Destruction of Hazardous

Organic Waste, Report INEL/EXT-97-00123, Idaho National Engineering Laboratory, Mixed Waste Focus Area, Lockheed Martin Idaho Technologies Company, Idaho Falls, Idaho, April 1997.

14. Kummling, K. E., Gray D.J., Power J.P., Woodland S.E., Gas-phase chemical reduction of hexachlorobenzene and other chlorinated compounds: Waste treatment experience and applications, 6th Int. HCH & Pesticides Forum, 20-22 March 2001, Poznan, Poland, February 2002.

15. Woodland S.E., Kummling, K. E., Gray D.J., Cosby, M., Gas-phase chemical reduction of chlorinated benzenes using the Eco Logic process, 5th Int. HCH & Pesticides Forum, 25-27 June 1998, Bilbao, Spain, February 1999.

16. Eco Logic, DDT Treatment using ECO LOGIC's Gas Phase Chemical Reduction Process, A Summary of DDT Research and Development Testing Programs, Commercial Regulatory Testing and Commercial DDT Waste Processing, June 8, 1998.

17. Ministry of the Environment of Japan, 2004. Report on study of the treatment standards for POPs waste in fiscal year 2003.

18. CMPS&F – Environment Australia. Appropriate Technologies for the Treatment of Scheduled Wastes, Review Report Number 4 – November 1997, Canberra, Australia.

Методичне видання

**В. В. Четвериков, С. М. Коваль,
А. В. Россоха, О. І. Бондар**

**ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ
ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНОГО
ВИДАЛЕННЯ ПХД В УКРАЇНІ**

Методичний посібник

Українською мовою

Верстка – Н.М. Ковальчук

Підписано до друку 05.03.2018.
Формат 60x841/16. Гарнітура Cambria.
Папір офсет. Цифровий друк.
Умовно-друк. арк. 3,95.
Наклад 200. Замовлення № 0307-10.

Видавництво та друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»
73033, м. Херсон, а/с 15
E-mail: oldi-ks@i.ua
Свід. ХС № 2 від 16.08.2000 р.