

УДК 621.21

Боглаєнко Д.В.

## АНАЛІЗ ТЕРМІЧНОГО МЕТОДУ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ВІД ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

**Постановка проблеми та актуальність.** В Україні в період 1990-х років обсяг викидів забруднюючих речовин в атмосферу значно зменшився внаслідок спаду промислового виробництва. Але, починаючи з 2001 р., спостерігається тенденція до збільшення викидів [1]. Так, за даними Держкомстату України, загальний обсяг викидів в атмосферне повітря склав у 1990 р. 15549,4 тис. т, у 2000 р. – 5908,6 тис. т; 2005 – 6615,6 тис. т [2]. Сумарні викиди у повітря в 2006 р. становили 7027,6 тис. т, з яких зі стаціонарних джерел, – 11000 промислових підприємств, – надійшло 4822,2 тис. т шкідливих речовин (на 7,3 % більше ніж у 2005 р.). Це становить понад 130 кг у розрахунку на одну особу та у кілька разів більше, ніж у розвинених країнах світу [1]. Викиди вуглеводнів та летучих органічних сполук разом складають понад 1000 тис. т у рік. Серед них виділяють стійкі органічні забруднювачі (СОЗ). Це сполуки класу поліциклічних ароматичних вуглеводнів, дибензофурані, діоксини та ряд інших. Необхідність очистки атмосферного повітря є завжди актуальною темою, що постає при вирішенні проблем охорони навколишнього середовища.

**Ціль.** За мету поставлено проаналізувати основний метод знешкодження газових викидів, що забруднені органічними речовинами.

**Основний матеріал.** Для очистки газових викидів від парів органічних речовин, речовин, що мають запах та піддаються згорянню, використовують термічний метод знезараження. Цей метод реалізується в апаратах термічного розкладу, – допалювачах або пічках (топках, реакторах), – та широко використовується завдяки простоті конструкцій апаратів та їх обслуговування. Але він відноситься до енергоємних методів, бо для підтримання необхідної для знезараження температури (від 650 до 1200 °С) використовується висококалорійне паливо. Частіше за все метод використовується для знешкодження промислових викидів зі складним вмістом органічних речовин.

Пічна система є відкритою системою, бо відбувається постійне введення вихідних матеріалів і енергії та виведення отриманих продуктів і енергії [3].

Метод спалювання шкідливих сумішей, що здатні окислюватись, відрізняється від інших більш високим ступенем очистки, відсутністю в більшості випадків корозійних середовищ й виключенням стічних вод [4]. При цьому процес горіння повинен бути повним; в іншому випадку утворюються проміжні продукти горіння, які можуть бути ще небезпечніше ніж вихідний потік.

Для того, щоб провести повне згорання, необхідно: надлишок кисню, достатньо висока температура, достатньо довгий час перебування при цій температурі та високий ступінь турбулентності, щоб досягти глибокого перемішування забруднювачів та кисню. Відповідний ступінь турбулентності зазвичай протікає, якщо швидкість газу знаходиться у діапазоні 4,5–7,5 м/с. Для високої температури у допалювачі повинно надходити достатньо палива, добре змішаного з киснем. Само паливо також повинно згоряти повністю, без утворення забруднювачів [5]. Розрахунок показника токсичності при спалюванні вугілля, мазуту, газу й бензину показав, що найменший рівень фону внаслідок виділення шкідливих речовин у процесі горіння спостерігається при використанні природного газу [6].

Концентрація кисню впливає на повноту та швидкість вигорання забруднювачів. У вентиляційних викидах концентрація кисню складає 20,9 %, що являє собою повітря, забруднене шкідливими речовинами. При цьому його вміст достатній для підтримування процесу згорання, але при концентрації кисню у суміші повітря й газів, що знешкоджуються, менше 17–16 % цей процес уповільнюється внаслідок дії інертних газів (нітроген, двоокис вуглецю) та водяної пари. При концентрації 14–14,6 % полум'я згасає. В цьому випадку до зони згорання необхідно подавати атмосферне повітря. Процес у топці характеризується коефіцієнтом надлишку повітря, який встановлює ефективність вигорання (від надлишку кисню залежить температура), ефективність використання палива (при підвищеній подачі окислювача у складі забруднених газів підвищується їх питома кількість, що може бути незаражена при спалюванні 1 м<sup>3</sup> палива) і стійкість згорання (наявність баластних домішок зменшує інтенсивність переносу молекул окислювача та його взаємодія з молекулами горючих речовин, що веде до зменшення швидкості розповсюдження полум'я і сталості) [7].

З підвищенням концентрації забруднюючих речовин й кисню та з підвищенням температури час, що необхідний для повного незараження, зменшується. Забезпечується достатній час перебування завдяки збільшенню довжини топки, зміні швидкості потоку забруднених газів, організації закрученого руху потоку газів у циклонних або вихрових пічках.

Для високомолекулярних органічних сполук температура складає зазвичай 900–1000 °С та час – не більше 1 с [7]. Температура повинна бути підвищена при наявності водяної пари у вихідних газах. Усі забруднювачі класу вуглеводнів окислюються до двоокису вуглецю і води. Останньою з продуктів неповного згорання вуглеводнів вигоряє окис вуглецю, бо вона утворюється в процесі згорання вуглеводнів.

Засобом досягнення високого ступеню очищення від органічних речовин є окрім підвищення температури додавання хімічних окислювачів, таких як O<sub>3</sub> та H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Крім того, важливо ураховувати конструктивні особливості пальника.

Таким чином, для проведення процесу термічного незараження необхідно ураховувати особливості впливу всіх основних факторів.

Узагальнено, серед конструктивних особливостей реакторів основними відмінними їхніми характеристиками є: спосіб подачі потоків, що реагують, у топку; спосіб утилізації тепла продуктів згорання.

В залежності від вмісту кисню у забрудненому потоці відрізняється й спосіб подачі потоків, що реагують, у топку. Якщо вміст кисню в газовому потоці понад 17 %, забруднені гази надходять безпосередньо через горілку, приклад – рис. 1, де показана піч для спалювання вентиляційних викидів. Гази, що йдуть на очистку, подаються безпосередньо до горілки й після змішування з природним газом згоряють у топочному об'ємі, що турбулізований за допомогою допалювальної решітки. Температура процесу складає 900–1000 °С [7].

Якщо вміст кисню від 5 до 17 %, забруднені гази одночасно вводяться крізь горілку й до топочного приладу. Незараження повинне відбуватися в обладнанні, що забезпечує гарне перемішування й достатній час контакту гарячих продуктів згорання та викидних газів. Це досягається завдяки тангенційному введенню викидних газів до топки й утворенням у ній вихрового руху за рахунок збільшення довжини камери згорання.

Як приклад – піч для спалювання токсичних домішок газоподібних відходів виробництва жирних кислот, – рис. 2 [4].

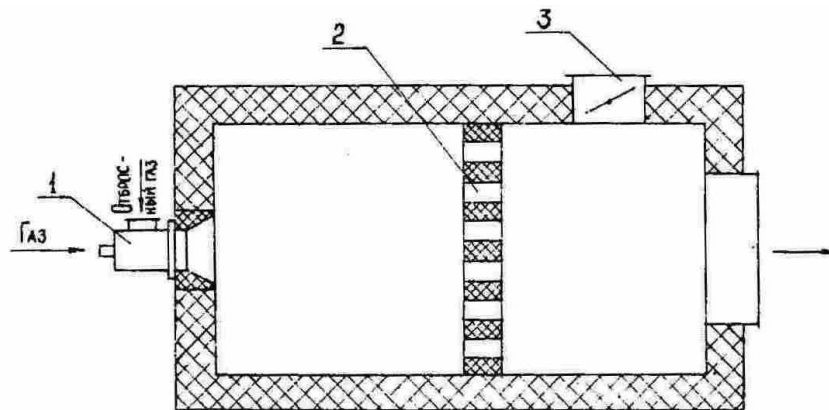


Рисунок 1 – Прилад для спалювання вентиляційних викидів з концентрацією кисню понад 17 %  
1 – палиник; 2 – допалювальна решітка; 3 – регулятор розрідження

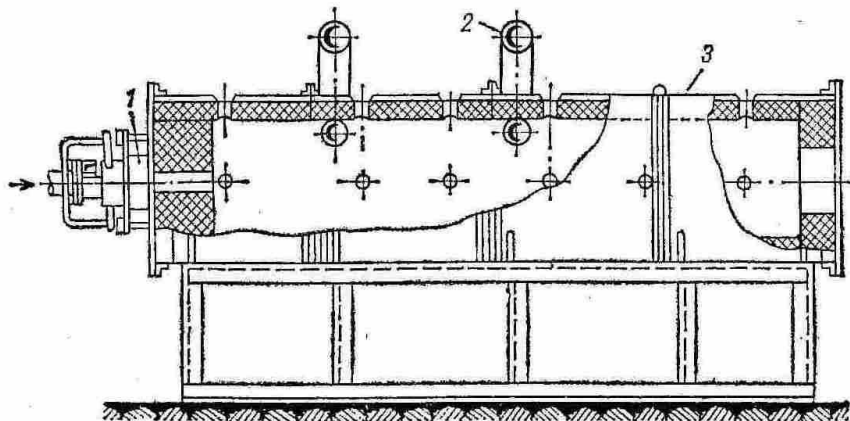


Рисунок 2 – Розріз печі для спалювання газоподібних кислот виробництва жирних кислот  
1 – палиник; 2 – патрубки для викидного газу; 3 – циліндрична камера

Піч являє собою циліндричну футеровану камеру 3 з патрубками для тангенційного підводу викидних газів. В передньому торці камери по осі встановлений палиник 1 з осевим підводом частини викидних газів, тангенційним підводом чистого повітря й кільцевим підводом паливного газу. За такою конструкцією печі більша частина газів спрямовується до топки, а біля 25 % від загальної кількості – прямим незакрученим струменем по осьовому підводу палиника.

Викидні гази з вмістом кисню 5–17 % можуть бути знезаражені у топках котельних агрегатів. Метод знезараження газів у котлах ефективний при великих значеннях теплоти згоряння викидних газів, бо дозволяє при цьому підвищити виробництво пару.

Забруднені гази подаються до топки, коли вміст кисню менш ніж 5 %, у якості окислювача – атмосферне повітря. Приклад – рис. 3.

В печі, що надана на рис. 3, є відбиваюча перегородка 2 на лінії подачі викидних газів, що призводить до більш рівномірного розподілу швидкостей потоку по перетину камери згоряння й забезпечує однакову якість змішування їх з гарячими продуктами згоряння природного газу. Ефективність очистки – 95–98 % при температурі 850–800 °C [7].

В установках, що спалюють забруднені гази з низьким вмістом кисню, повинна бути забезпечена добра якість змішування і швидкий нагрів викидних газів продуктами згоряння палива, інакше утворюються зони з локальною нестачею кисню, де відбувається утворення продуктів неповного згоряння. Це може відбуватися навіть й при загальному надлишку окислювача. Для збільшення часу перебування газів в реакційній зоні в топках створюють вихровий рух газів. Але обладнання подібного типу характеризується меншою ефективністю очистки, збільшеною витратою палива й наявністю продуктів неповного згоряння.

Приклади таких установок неекономічно використовують паливо, бо сам викидний газ не може бути використаний в якості окислювача. Тому для запобігання теплового забруднення актуальною є утилізація тепла газів, що відходять. Подібні установки можуть бути використані як топки сушок, котлів-утилізаторів [7].

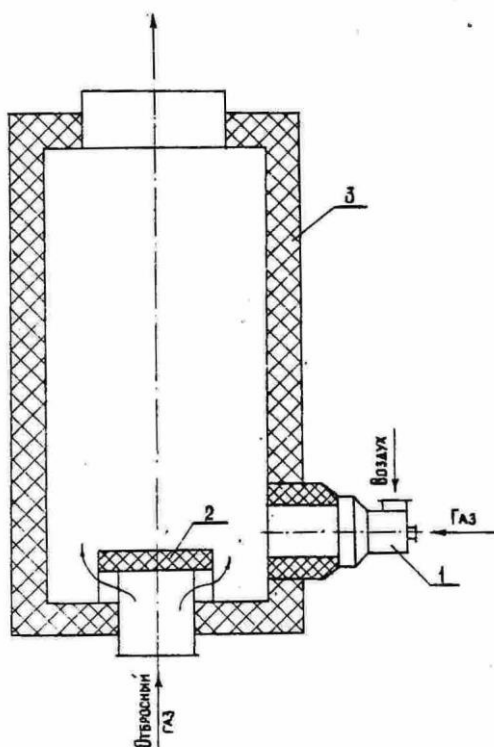


Рисунок 3 – Піч для спалювання викидних газів з вмістом кисню менш 5 %  
1 – пальник; 2 – відбиваюча перегородка; 3 – корпус

В якості апаратів для утилізації тепла вихідних газів використовуються економайзери, економайзери-конденсатори, парогенератори на утилізованому теплі (випарувачі) й перегрівачі пару. Необхідно враховувати як конструктивні особливості кожного теплообмінного апарату, так і склад вихідного газу для правильного вибору конструкційних матеріалів. Підвищення ефективності утилізації тепла вихідних газів й зменшення габаритів теплообмінних апаратів досягаються шляхом розвинутих теплообмінних поверхонь (труби зі спіральними, паралельними ребрами) [8, 9].

В залежності від засобу утилізації тепла продуктів згоряння серед термічних реакторів виділяють:

- 1) установки без утилізації тепла
- 2) установки з утилізацією тепла для нагріву забруднених газів або атмосферного повітря, що надходять на згоряння (рис. 4, 5).

Прилад для спалювання газів з компактним рекуперативним теплообмінником для попереднього нагріву забруднених газів наданий на рис. 4. Гарячі продукти згоряння надходять до міжтрубного простору теплообмінника й віддають тепло забрудненому газу, що подається по трубах 5. Нагріті газу попадають до камери 7 і крізь отвори конічного насадка 2 надходять до топки. Повне окиснення відбувається при 800 °С [7].

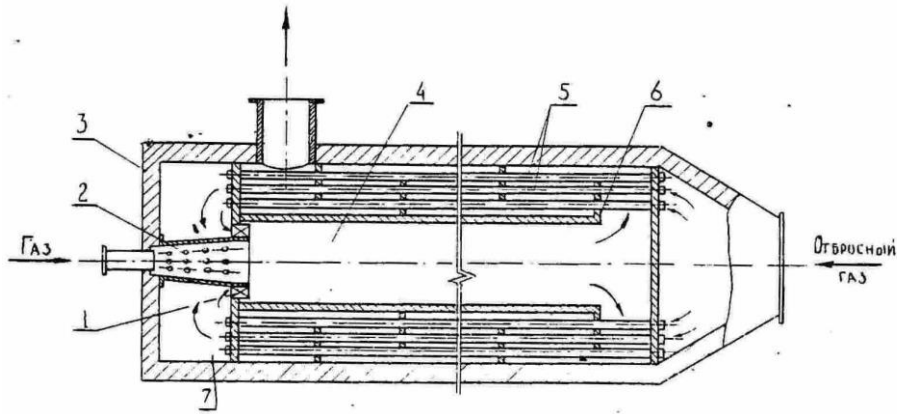


Рисунок 4 – Прилад для спалювання забруднених газів з вмістом кисню понад 17 % та з утилізацією тепла  
 1 – завихрювальні лопатки; 2 – горілочний корпус; 3 – корпус; 4 – камера згоряння;  
 5 – теплообмінник; 6 – перегородки; 7 – камера статичного тиску

В установці, що наведена на рис. 5, утилізація тепла гарячих продуктів згоряння відбувається шляхом тепловіддачі до потоку викидних газів, що рухається в кільцевому зазорі між корпусом печі 2 й металевим кожухом 3. Викидні газу до топки надходять тангенційно крізь два отвори 4. Біля 50 % кількості викидних газів використовується в якості окислювача й подається крізь пальник 1, що дозволяє заощаджувати природний газ. Ступінь очистки при температурі 750–900 °С становить 94–99 %.

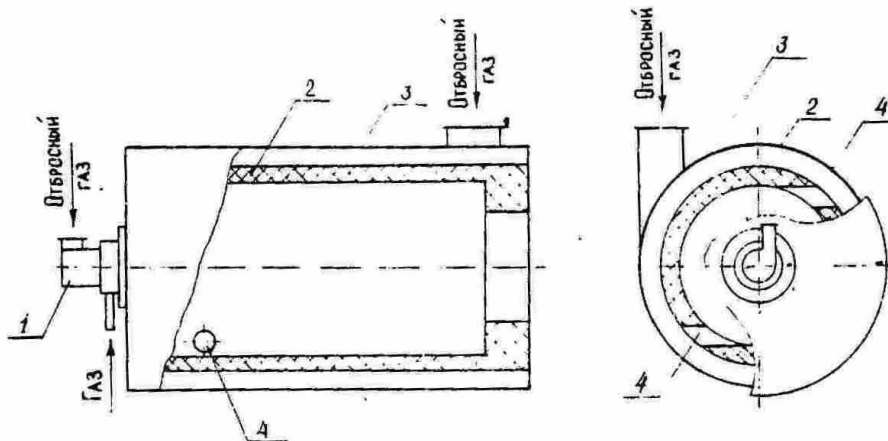


Рисунок 5 – Піч для спалювання викидних газів лакофарбувального виробництва з концентрацією кисню 5–17 %  
 1 – пальник; 2 – корпус печі; 3 – металевий кожух печі;  
 4 – отвори підводу викидних газів

3) установки з утилізацією тепла в інших технологічних процесах, що не впливають на процеси згоряння (вироблення пару у котлах-утилізаторах, сушка, підогрів води й повітря для опалення та інше) [5].

В такому випадку суміш забруднених газів нагрівається в теплообмінному апараті і далі йде в допалювач, де її температура сприяє протіканню процесу згоряння й знезараженню забруднюючих речовин. Гази на виході потім проходять через теплообмінник та викидаються з температурою близько такій, яку мають забруднені газы на вході. Якщо ця температура набагато вище допустимого рівня, то можна застосовувати другий теплообмінний апарат, який буде слугувати для інших цілей.

Окрім установок, що використовують для спалювання шкідливих органічних речовин у газових викидах паливо, був розроблений метод допалювання викидного газу з допомогою електричного обігріву, під дією електромагнітних хвиль. При цьому кисень й пари розчинників нагріваються більше ніж баластний азот, тому середня температура спалювання нижча за звичайну та виключається утворення окислів азоту.

До нетрадиційних реакторів відносять хімічний реактор на базі рідинного ракетного двигуна, який характеризується невеликою масою та габаритами та придатний для створення мобільних модулів в практиці вирішення екологічних задач, таких як, наприклад, знешкодження токсичних органічних відходів. Розглянуто й застосування поршневих приладів у якості хімічних реакторів, де відбувається об'ємний розігрів газу, а стінки реактору залишаються холодними. В реакторах подібного типу також був зроблений ряд експериментів по знешкодженню токсичних речовин [10].

Якщо газові викиди являють собою низькоконцентровану суміш органічних речовин, то відомі процеси й установки не забезпечують належну їх очистку від шкідливих речовин. Обладнання, яке здатне вирішити цю проблему являє собою низькотемпературний реактор, що працює при безпосередньому контакті хладагенту з забрудненим газовим потоком [11].

Галогенвміщуючі хімічні сполуки розкладають з використанням плазми і мікрохвильового випромінювання, детоксикація хімічних речовин відбувається в апаратах з пульсуючою плазмою. Температура у плазмовому реакторі – у діапазоні 2000-6000°C [12]. Як, наприклад, очисний плазмотермічний реактор для знезараження небезпечних органічних відходів вентиляційних викидів [13].

**Висновки.** Для знезараження газових викидів від органічних речовин прийнятним для застосування є термічний метод знешкодження, в результаті якого сполуки окислюються до двоокису вуглецю та води; достатня температура становить 650–1200 °C (при часі перебування не більш 1 с); за умовою вмісту кисню у викидних газів розрізняються засоби подачі їх до реактору; існує велика кількість реакторів, що відрізняються за конструктивними та технологічними особливостями. Термічне знезараження доцільно поєднувати з регенеративною або рекуперативною утилізацією тепла.

#### Література

1. Дотримання екологічних прав в Україні – 2006 / під ред. О. Степаненка. – Х.: «Права людини», 2007. – С. 51–53.
2. Довкілля України. Статистичний збірник / Держкомстат України. – Київ, 2007. – 244.
3. Исламов, М.Ш. Проектирование и эксплуатация промышленных печей / М. Ш. Исламов. – Л.: Химия, 1986. – 280 с.

4. Термические методы обезвреживания отходов / под ред. К.К. Богушевой, Г.П. Беспятого. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1975. – 176 с.
5. Crawford, M. Air pollution control theory / M. Crawford. – New York: Mc Graw-Hill, 1996. – 624 p.
6. Сигал, И.Я. Оценка влияния различных источников газовых выбросов на загрязнение атмосферного воздуха / И.Я. Сигал, Н.А. Гуревич. – Укр.хим.ж-л. – Киев: изд. АН УССР, 1971. – №2, С. 140–145.
7. Колиенко, А.Г. Применение природного газа для термического обезвреживания парогазовых выбросов / А.Г. Колиенко, А.Л. Шкаровский – М.: ВНИИЭгазпром, 1978. – 54 с.
8. А.с. 1643882 СССР МКИ F 24 F 3/147. Устройство для утилизации тепловой энергии / Динцин В.А., Бялый В.И., Розенштейн И.Л., Кузнецов Н.А., Владимиров В.И., Лядухин В.И. Всес. н.-и. и проект.-конструкт. ин-т по оборуд. для кондиционир. воздуха и вентиляции (СССР). – 4463584/29; заявл. 19.07.88; опубл. 23.04.91, Бюл. № 15.
9. Зайцев, О.Н. Исследования процессов локализации тепловых выбросов закрученными потоками / О.Н. Зайцев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 6. – С. 70–72.
10. Буравцев, Н.Н. Нетрадиционные химические реакторы на базе энергетических установок / Н.Н. Буравцев, Ю.А. Колбановский, А.А. Овсянников, Н.А. Платэ // Химическая промышленность. – 1995. – № 1. – С. 4–7.
11. Егоров, А.А. Реактор низкотемпературной очистки малоконцентрированных газовых потоков от паров веществ / А.А. Егоров, В.Н. Подвезенный // Химическая промышленность. – 1995. – № 1. – С. 70–72.
12. Система декомпозиции органических галогеносодержащих химических соединений / Organic halogen compound decomposing device: Заявка 193848 ЕПВ, МПК В 01 J 19/08, В 01 D 53/70 Mitsubishi Heavy Ind. Ltd, Bessho Masahiro, Hattori Toshio, Tsubaki Yasuhiro. – № 00917283.4; заявл. 12.04.00; опубл. 25.04.01. Англ.
13. Плазмотермическая технология очистки вентиляционного воздуха от органических загрязнителей : тез. докл. науч. / Монсуров Р.М., Басин А.С. (НГАСУ, Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск, Россия) / Нетрадиционные технологии в строительстве: Материалы Международного научно-технического семинара, Томск, 1999. – С. 147–148.

УДК 621.21

Боглаенко Д.В.

### **АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

В статье рассмотрен термический метод обезвреживания газовых выбросов от органических соединений. Приведены примеры некоторых типов термических реакторов для реализации процесса. Статья имеет обзорный характер, тематика связана с подходами решения одной из основных экологических проблем – загрязнения атмосферного воздуха.

*статья надійшла до редакції 22.09.2008 р.*