

УДК 66.04

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.166.2016.92850>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ВІД ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Кандидати техн. наук О. П. Крот, О. І. Ровенський, асп. В. В. Конєв

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ВЫБРОСОВ ОТ ПРОЦЕССОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Кандидаты техн. наук. О. П. Крот, А. И. Ровенский асп. В. В. Конев

EXPERIMENTAL STUDY OF METHODS OF REDUCING EMISSIONS FROM THE PROCESSES OF THERMAL DESTRUCTION OF MUNICIPAL WASTE

PhD. tehn. O. P. Krot, sciences, pg. V. V. Koniev, PhD. tehn. O. I. Rovenskyi

Наведено приклад сучасної технологічної схеми очищення викидів після термічного знешкодження побутових відходів. У лабораторних умовах було проведено порівняльний дослід з очищення відпрацьованих газів. Запропонований каталізатор є сумішшю паладію та платини, яка нанесена на керамічний матеріал. Отримані результати можна використовувати при проектуванні очисного обладнання після термічного знешкодження відходів різного походження.

Ключові слова: термічне знешкодження, побутові відходи, очищення викидів, каталізатор.

Представлен пример современной технологической схемы очистки выбросов после термического обезвреживания бытовых отходов. В лабораторных условиях были проведены сравнительные исследования по очистке отработанных газов. Предложенный катализатор представляет собой смесь палладия и платины, которая нанесена на керамический материал. Полученные результаты можно использовать при проектировании очистного оборудования после термического обезвреживания бытовых отходов различного происхождения.

Ключевые слова: термическое обезвреживание, бытовые отходы, очистка выбросов, катализатор.

The example of modern technological emission control circuit after waste incineration was represented. Comparative studies were conducted in laboratory conditions for cleaning gases of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), polychlorinated chlorobenzenes (PCBzs), and of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) on catalyst. Proposed catalyst is a mixture of platinum and palladium, which is applied to the ceramic material. The element-organic compounds is not influence on the catalyst in oxidation, which ensures a long life operation without regeneration. The results can be used in the design of pollution control equipment after the incineration waste of various origins.

Keywords: incineration, municipal waste, emissions purification, catalyst.

Вступ. Останніми роками в Україні дуже гостро стоїть проблема накопичення, переробки і утилізації твердих побутових відходів (ТПВ). Так, тільки за 2014 р. утворилось 343,5 млн т твердих побутових відходів, які поховані на 4,5 тис. сміттєзвалищах і полігонах загальною площею понад 8 тис. га. Поряд з цим, серед 6 тисяч сміттєзвалищ – перевантажені 16 %, а 19 % взагалі не відповідають нормам. Сучасним прикладом небезпеки сміттєзвалища є екологічна катастрофа на полігоні побутових і промислових відходів біля села Грибовичі у Львівській області, на який протягом п'ятдесяти років вивозилося близько 1 млн м³ відходів щороку, тому цей полігон був переповненим та застарілим. А в червні цього року через зсув сміття у декілька тонн під завалами опинилося кілька осіб. Ця трагедія показує, що проблему поводження з відходами необхідно вирішувати невідкладно. Серед основних методів знешкодження ТПВ – є їх спалювання. При спалюванні відходів їх можна вважати альтернативним видом

палива, що є дуже актуальним у час енергетичної кризи в Україні.

Складність створення установок для спалювання ТПВ пов'язана з особливостями цієї технології. Зокрема, спостерігається руйнівний вплив електричних потенціалів і надлишкових зарядів на матеріали і конструкції установок очищення. Проблемами таких впливів на конструкції займалися автори у роботі [1].

Однією з основних причин, яка раніше перешкождала широкому використанню термічного знешкодження твердих побутових відходів, є наявність небезпечних викидів від цих установок, у тому числі так звана «діоксинова» проблема. У роботі [2] автори досліджують утворення діоксинів при спалюванні різних змодельованих зразків відходів, у тому числі різних видів паперу, різних видів деревини, опалого листя, харчових продуктів, поліетилену, полістиролу, полівінілхлориду, полівініліденхлориду та інших видів пластмасових виробів. Були

проведені дослідження на декількох конструкціях муніципальних установок, але необхідне більш досконале вивчення багатьох індивідуальних факторів, що впливають на формування та розпад діоксинів у муніципальних установках для спалювання сміття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом забруднення навколишнього середовища діоксинами стало серйозною проблемою в Україні. Важливим моментом є дослідження процесів трансформації діоксинів, які можуть утворюватися в результаті спалювання багатьох видів відходів та методів очищення газоподібних продуктів згоряння після спалювання твердих побутових відходів. Ці процеси наведені у роботах [3, 4]. В даних дослідженнях зменшення діоксинів у викидах досягається шляхом впливу на температурні та повітряні процеси у спалювальних пристроях, але не враховується можливість утворення діоксинів у газоходах, після печі.

На сьогоднішній день велику кількість досліджень проведено у напрямку видалення токсичних речовин, у наявних викидах сміттєспалювальних підприємств. Результати цих досліджень були введені в практику. Деякі з прикладів – видалення газоподібного хлористого водню з використанням з'єднань кальцію у вигляді вапна та вапняку [5]. У деяких роботах для очищення газів від діоксинів використовують адсорбенти з високою активною поверхнею, наприклад активоване вугілля. Перспективним напрямком є очищення викидів від діоксинів та їх похідних з використанням каталізатора [6]. У перелічених дослідженнях не розглянуто проблему впливу каталітичних отрут на активність каталізатора.

Суттєвим недоліком використання каталізатора є наявність у викидах сміттєспалювальних підприємств сірчаних сполук, таких як етилмеркаптанів і диметилдісульфід, які можуть

деактивувати навіть платиновий каталізатор, як це розглянуто у роботі [7]. Але в цих дослідженнях були використані комерційні каталізатори - NS-10 Pt/ γ -Al₂O₃, які недоступні для українських споживачів внаслідок високої вартості.

Відомим є спосіб очищення відпрацьованих газів від ПАВ, у тому числі канцерогенних, сажистих сполук, що містять сірку, на двошаровому каталізаторі: у першому шарі – марганцева руда, у другому шарі – паладієвий каталізатор [8]. Доокислення проводять на алюмопаладієвому каталізаторі ПКШ-3 при температурі 400-450°C з наступною регенерацією каталізаторів шляхом продування повітрям при температурі 500-600°C. Недоліком цього методу є висока температура запалювання каталізатора та низький ступінь очищення від органічних речовин, що містять хлор, фтор, фосфор та сірку.

Найближчим за технічною суттю до запропонованого способу є спосіб очищення вихлопних та промислових газів від домішок оксиду вуглецю та органічних сполук, згідно з яким газу пропускають через каталізатор, що містить платину у суміші з родієм, яка нанесена на керамічний матеріал, що має у своєму складі цирконіюмуліт, муліт, глинозем, силіманіт, силікати магнію, циркон, петаліт, сподумен, кордієрит та алюмосилікати [9]. Однак при застосуванні цього способу для окислення викидів, що містять домішки елемент-органічних сполук (сполук, що містять S, Cl, F, P, As та ін.), спостерігається часткова або повна дезактивація каталізатора, яка виявляється через підвищення температури його запалювання і через зниження ступеня очищення від вуглеводнів. Це пояснюється тим, що наявні каталізатори є нестійкими до впливу Cl, F, P, S і швидко втрачають свою активність.

Мета статті – на підставі проведеного аналізу процесів утворення діоксинів та інших хлороорганічних сполук

при спалюванні та існуючих методів очищення викидів від них провести дослідження ефективності знешкодження викидів новим каталізатором з керамічного матеріалу, що містить метал групи платини на носії; зробити опис запропонованого авторами способу; визначити оптимальні технологічні режими процесу очищення.

Для очищення викидів використовують різні методи і технології очищення газоподібних продуктів згоряння ТПВ. Результати виконаного аналітичного огляду існуючих методів і технологій показують, що практично неможливо організувати одночасне зниження викидів усіх основних регламентованих показників шкідливих речовин у рамках якого-небудь одного методу або на одній технологічній стадії. Тому на сучасних установках, що спалюють відходи різного походження, проблема зниження забруднення атмосферного повітря вирішується комплексно, шляхом впровадження декількох природоохоронних заходів, що реалізуються на різних стадіях технологічного процесу.

Об'єктом досліджень даної роботи є процес очищення газових викидів від продуктів згоряння муніципальних відходів.

Прикладом сучасної технологічної схеми очищення викидів після термічного знешкодження сміття може служити п'ятистадійне газоочищення. Перший ступінь – знешкодження, яке полягає в термічному вогневому розкладанні відходів та утилізації. Другий ступінь – очищення газів в камері допалювання при температурі 11000°C протягом 2–2,5 с, де відбувається окислення органічних речовин до вуглекислого газу і води. Після камери допалювання димові гази проходять через високотемпературний каталітичний реактор І ступеня. На зовнішній та внутрішній поверхнях трубок завдяки контакту з активними елементами каталізатора

відбувається деструкція елемент-органічних сполук до парів HCl, HF, SO₂ і SO₃. Для нейтралізації кислих складових димових газів проводиться впорскування содового розчину за допомогою ежекційної форсунки. Содовий розчин (а не просто вода) призначений для нейтралізації кислих газоподібних HCl, HF, SO₂ і SO₃ шляхом перетворення їх у нешкідливі солі NaCl, NaF, Na₂SO₃, Na₂SO₄. Третій ступінь – очищення від великих частинок у вихровому апараті. Четвертий ступінь – знешкодження хлоровмісних речовин, що залишилися (поліхлорованих дибензодіоксинів (ПХДД) і дибензофуранів (ПХДФ)) у каталітичному реакторі при температурі 550-6000°C. Галогенвмісні ангідриди і кислоти, які можуть утворюватися в процесі спалювання, нейтралізуються лужним розчином, що впорскується в камеру допалювання і до, і після каталітичного реактора. Кристали солей і пил, що утворилися, уловлюються в рукавному фільтрі. Перед димовою трубою встановлюється вугільний фільтр, який вловлює сконденсовані аерозолі ртуті та кобальту – п'ятий ступінь (рис. 1, 2).

Такий процес нейтралізації хлоровмісних відходів забезпечує повне їх розкладання. Високий ступінь уловлювання побічних продуктів, що утворилися в процесі спалювання, гарантує дотримання Європейських нормативів на виході з димової труби. Отримане в теплообмінниках тепло є складовою частиною постачання теплом.

В основу дослідження покладено завдання одночасного очищення газових викидів сміттєспалювальних печей від домішок різного походження, у тому числі стійких хлорорганічних сполук, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), сажистих та інших речовин при підвищеній температурі, з використанням каталізатора.

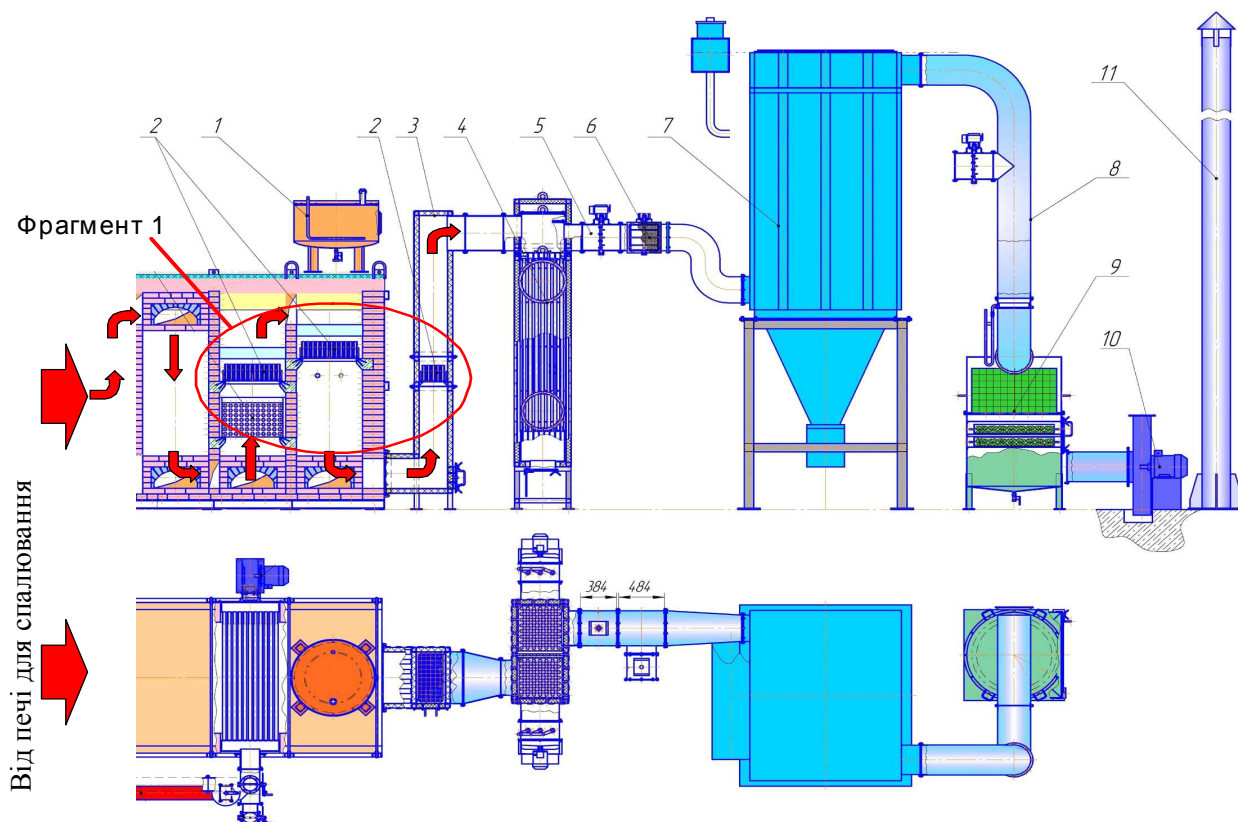


Рис. 1. Можлива компоновка системи каталітичної очистки: 1 – система подачі содової розчину; 2 – каталітичний реактор; 3 – газохід; 4 – димоохолоджувач; 5 – клапан розрідження; 6 – клапан підсосу повітря; 7 – фільтр рукавний; 8 – газохід; 9 – фільтр адсорбційний вуглетканинний; 10 – димосос; 11 – труба димова з дефлектором.

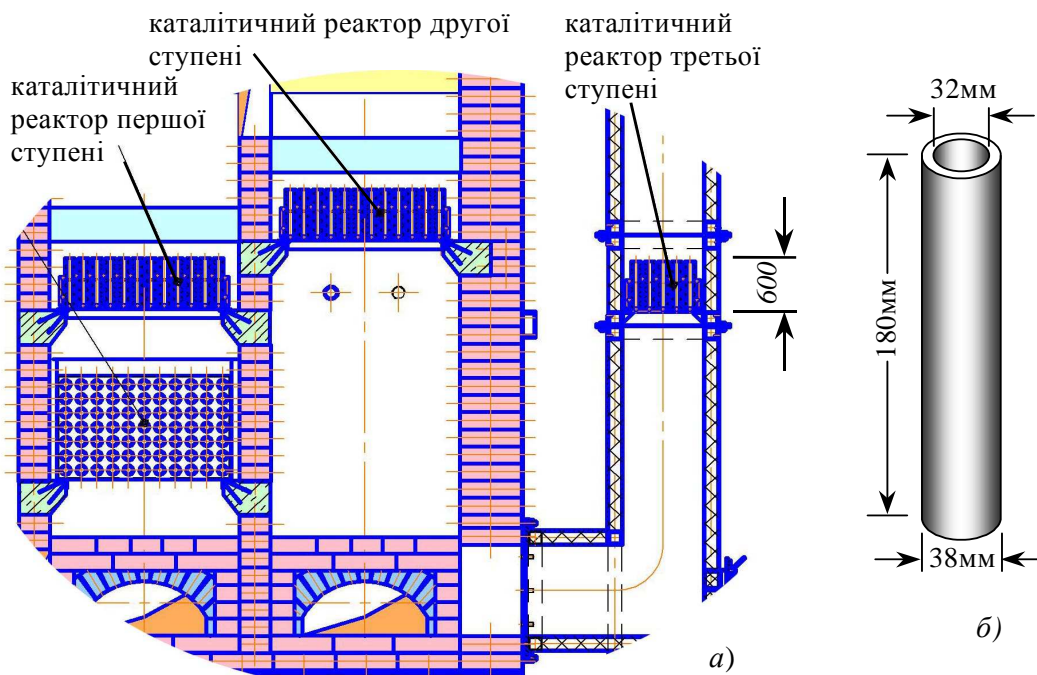


Рис. 2. Фрагменти системи каталітичного очищення: а – фрагмент 1 на рис. 1 (збільшено); б – елемент каталізатора

Методи досліджень та матеріали.

Дослідження проводились на стаціонарній установці з нерухомим шаром каталізатора. Для з'ясування оптимальної об'ємної швидкості газу в реакторі були проведені досліди для кожного типу каталізатора при температурі $50\div 500^{\circ}\text{C}$ з об'ємною швидкістю $10000\div 30000$ год⁻¹. У ході кожного експерименту відбирали 3÷5 проб, отримані результати усереднювали. Активність каталізатора визначалася за ступенем очищення кінцевих компонентів. Хімічний склад газів визначали газоаналізатором ОКСІ 5М-5. Для визначення масового складу забруднювальних речовин використовувався метод газової хроматографії. Звичайне виконання корпусу каталітичного реактора – сталева коробка без кришки, днище якої перфороване.

Дослідження методів зменшення викидів від процесів термічного знешкодження побутових відходів.

Поставлене завдання вирішується тим, що очищення газоподібних викидів від домішок поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), сажистих та елемент-органічних речовин виконують шляхом окислення їх при підвищеній температурі на каталізаторі, що містить метал групи платини на носії з керамічного матеріалу, причому як активну речовину каталізатора використовують суміш паладію та платини у співвідношенні 1:(0,26÷0,5), яку наносять на керамічний матеріал, що має у своєму складі відходи корундового виробництва та зв'язуюче – фосфат натрію у співвідношенні 1:(0,10÷0,15). Поставлене завдання також вирішується тим, що носій каталізатора до нанесення суміші паладію та платини висушують при температурі $800\text{-}900^{\circ}\text{C}$ протягом 2-3 годин, а після нанесення активних речовин каталізатор пропікають при температурі $1200\text{-}1500^{\circ}\text{C}$ протягом 2 годин. Завдання винаходу також вирішується тим, що регенерацію каталізатора проводять шляхом продування

його повітрям і парою у співвідношенні 1:2÷3 при температурі $450\div 500^{\circ}\text{C}$.

Гази від сміттєспалювальних печей, установок хімічної, коксохімічної та металургійної галузей промисловості часто мають у своєму складі, окрім ПАВ та сажі, елемент-органічні речовини (органічні сполуки, що містять хлор, фтор, фосфор, сірку), які в процесі знешкодження газів на каталізаторі окислюються до відповідних кислот, що вступають у взаємодію з оксидами металів каталізатора і утворюють на його поверхні кислі солі: хлориди, фториди, фосфати. Солі, що утворились, є неактивними в реакції глибокого окислення елемент-органічних речовин і їх необхідно зруйнувати із застосуванням високих температур або відновного газу. В результаті знижується активність каталізатора, температура його запалювання, підвищується частота регенерації каталізатора і скорочується період його роботи.

Запропонований каталізатор, що є сумішшю паладію та платини, яка нанесена на керамічний матеріал, що містить цирконіум, циркон, алюмосилікати, відходи корундового виробництва та зв'язуюче – фосфат натрію, був пропечений при $1200\div 1500^{\circ}\text{C}$. Прожарювання каталізатора – одна з важливих операцій при виготовленні контактних мас, внаслідок термічної дисоціації, виходить власне активна речовина каталізатора. Каталізатор практично не зазнає впливу елемент-органічних речовин під час їх окислення, що забезпечує зниження частоти його регенерації. При цьому також знижується температура запалювання каталізатора.

В процесі знешкодження газу, що надходять від сміттєспалювальних печей та інших установок і містять ПАВ, сажисті речовини та сполуки, що мають у своєму складі хлор, фтор, фосфор, сірку, з температурою $50\div 500^{\circ}\text{C}$ подають з об'ємною швидкістю $10000\div 30000$ год⁻¹ на каталізатор, який є сумішшю 0,3-0,5 %

паладію та платини на керамічному носії. Органічні речовини окислюються до CO_2 та H_2O , елемент-органічні сполуки окислюються до відповідних кислот, які виносяться з потоком газу. Цей потік газу, що містить HCl , HF , H_3PO_4 , H_2SO_4 , далі піддають регенерації лужним реагентом. Після 100 годин роботи каталізатор регенерують шляхом продування його повітрям та паром при підвищеній температурі.

У лабораторних умовах було проведено порівняльний дослід з очищення відпрацьованих газів. Спочатку знешкоджували газ, що містить $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ, на каталізаторі, що становив собою 0,3 % суміші паладію та платини (1:0,25) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію у співвідношенні (1:0,12) і був пропечений при 1200°C . При об'ємній швидкості 30000 год^{-1} і температурі запалювання 470°C ступінь очищення складав 95 %. Далі в газ, що підлягали очищенню, додавали чотирхлористий вуглець як елемент-органічну сполуку, що важко видалити, в концентрації $0,1 \text{ г/м}^3$. При об'ємній швидкості 25000 год^{-1} , температурі запалювання 470°C ступінь очищення від ПАВ складав 95 %, ступінь знешкодження чотирхлористого вуглецю – 98 %. При роботі каталізатора протягом 30 годин ступінь очищення від ПАВ складав 95 %, від чотирхлористого вуглецю – 90 %.

Також було виконано порівняльний дослід, аналогічний до попереднього. Спочатку знешкоджували відпрацьовані газ, що містить $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ на каталізаторі, що становив собою 0,3 % суміші паладію та платини (1:0,3) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію (1:0,12) і був пропечений при 1350°C . При температурі запалювання 380°C та об'ємній швидкості 30000 год^{-1} ступінь знешкодження від ПАВ складав 98 % Далі в газ, що підлягали очищенню, додавали чотирхлористий вуглець в концентрації $0,1 \text{ г/м}^3$. При об'ємній

швидкості 30000 год^{-1} і температурі запалювання 380°C ступінь очищення від ПАВ складав 98 %, ступінь знешкодження CCl_4 – 99,9 %. При роботі каталізатора протягом 60 годин ступінь очищення від ПАВ не змінювався і складав 98 %, від CCl_4 – 99,9 %.

Наступний порівняльний дослід. Спочатку знешкоджували відпрацьовані газ, що містять $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ, на каталізаторі, який становив собою 0,5 % суміші паладію та платини (1:0,5) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію (1:0,12) і був пропечений при 1500°C . При температурі запалювання 380°C та об'ємній швидкості 30000 год^{-1} ступінь знешкодження ПАВ складав 98 % Далі в газ, що підлягали очищенню, додавали чотирхлористий вуглець у концентрації $0,1 \text{ г/м}^3$. При об'ємній швидкості 30000 год^{-1} та температурі запалювання 380°C ступінь очищення від ПАВ складав 98 %, ступінь знешкодження CCl_4 – 99,9 % При роботі каталізатора протягом 60 годин ступінь очищення не змінювався і складав щодо ПАВ 98 %, щодо CCl_4 – 99,9 %, тобто залишався на рівні Прикладу 2.

Знешкоджували відпрацьовані газ, що містять $0,5 \text{ г/м}^3$ ПАВ у суміші з чотирхлористим вуглецем (причому концентрація останнього складала $0,1 \text{ г/м}^3$), на каталізаторі, який становив собою 0,3 % суміші паладію та платини (1:0,3) на керамічному носії із зв'язуючим – фосфатом натрію (1:0,12) і був пропечений при 1350°C . Об'ємна швидкість подавання газу складала 30000 год^{-1} . Температура запалювання каталізатора залишалась на тому самому рівні. При роботі каталізатора протягом 100 годин спостерігалось незначне зниження ступеня очищення від ПАВ – 95 %, від CCl_4 – 97 %.

Регенерацію каталізатора виконували шляхом продування сумішшю повітря та пари у співвідношенні 1:(2÷3), переважно 2,75, при температурі $450\text{-}500^\circ\text{C}$ протягом 3,5 годин. Ступінь знешкодження знову

повертався до високих показників і складав щодо ПАВ – 98 %, щодо ССІ4 – 99,9 %.

У таблиці подано аналіз ступеня окислення ПАВ/сажа та чотирихлористого

вуглецю на відомих каталізаторах у порівнянні із запропонованим залежно від тривалості роботи каталізатора та температури його запалювання.

Таблиця

Порівняльний аналіз ступеня окислення ПАВ/сажа та чотирихлористого вуглецю

Каталізатор	Температура запалювання, °С	Концентрація, г/м ³		Ступінь очищення ССІ4 залежно від маси, %			
		ПАВ/сажа	ССІ4	1 г	30 г	60 г	100 г
Марганцева руда + паладієвий каталізатор кульковий-3 (ПКШ-3)	470	0,5/0,3	-	95	93	85	77
			0,1	93	90	75	67
Платино-родієвий каталізатор	470	0,5/0,3	-	90	87	85	70
			0,1	85	78	72	65
Запропонований каталізатор паладієво-платиновий на кераміці	380	0,5/0,3	-	98,5	98	98	95
				99,9	99,9	99,9	98

Як видно із таблиці, запропонований спосіб у порівнянні із відомими дає можливість з високим ступенем знешкоджувати відпрацьовані гази, що мають у своєму складі ПАВ, сажисті, органічні речовини, які містять хлор, фтор, фосфор, сірку. При цьому ступінь очищення практично не змінюється залежно від часу, і лише після 100 годин роботи каталізатор потребує регенерації, продування гарячим повітрям та парою. Температура запалювання каталізатора складає 380°С замість 470°С. Пару кислот, які утворюються при цьому, вловлюють лужним реагентом. Очищені гази викидають в атмосферу.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Проведено дослідження високоефективного очищення на основі

суміші паладію та платини, яка нанесена на керамічний матеріал, що містить цирконію, циркон, алюмосилікати, відходи корундового виробництва та зв'язуюче – фосфат натрію. Каталізатор практично не зазнає впливу елемент-органічних речовин під час їх окислення, що забезпечує довгий термін його роботи без регенерації. За час проведення досліджень активність каталізатора не знижувалася. В промислових установках термін роботи каталізатора складає п'ять років. Термообробка каталізатора при його виготовленні знижує температуру роботи каталізатора. Отримані результати можна використовувати при проектуванні очисного обладнання після термічного знешкодження відходів різного походження.

Список використаних джерел

1. Пругин, А. Н. Влияние постоянных токов утечки на трещинообразование бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Пругин, Ал.А. Пругин, А.А. Конев, С.Г. Нестеренко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 130. – С. 64-71.

2. Shibamoto T, Yasuhara A, Katami T. Dioxin formation from waste incineration [Text] / Shibamoto T, Yasuhara A, Katami T. // *Rev Environ Contam Toxicol.* – 2007. – №190. – P. 1-41.
3. Gordon, M. Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review [Text] / Gordon M. // *Chemical Engineering Journal.* — 2002. – №86. – P. 343–368.
4. Hester R. E., Harrison R. M., Eduljee Gev H. Control of PCDD and PCDF emissions from waste combustors [Text] / R. E. Hester, R. M. Harrison, Gev H. Eduljee // *Chlorinated Organic Micropollutants.* — 2006. — №6.— P. 53-72.
5. Bodéan, F. Characterization of flue gas cleaning residues from European solid waste incinerators: assessment of various Ca-based sorbent processes [Text] /Bodéan F., Deniard Ph. // *Chemosphere.* — 2003. — №51.— P. 335–347.
6. Okumura M., Akita T., Haruta M., Wang X., Kajikawa, O., Okada O. Multi-component noble metal catalysts prepared by sequential deposition precipitation for low temperature decomposition of dioxin [Text] / Okumura M., Akita T., Haruta M., Wang X., Kajikawa O., Okada O. // *Applied Catalysis B: Environmental.* – 2003. – №41. – P. 43–52.
7. H.Chu , W.T. Lee , Y.Y. Chiou , T.K. Tseng. The Kinetics of Catalytic Incineration of C₂H₅SH and (CH₃)₂S₂ over a Pt/Al₂O₃ Catalyst [Text] /H. Chu , W.T. Lee , Y.Y. Chiou , T.K. Tseng. // *Environmental Technology.* — 2010. — P.515-522.
8. Спосіб очищення газоподібних викидів від речовин, що містять канцерогени [Текст]: пат. №33262А України: МПК ВО1D 53/46 / Крот О.П. ; заявитель и патентообладатель Крот О.П.; заявл. 15.02.01. — 4 с.
9. Установка термokatалітичного знешкодження муніципальних відходів з утилізацією вторинних ресурсів [Текст]: пат. 69201 України: МПК (2012. 01) F23G5/00/Остапчук В.М.; заявитель и патентообладатель Остапчук В.М. — № u 2011 11073; заявл. 16.09.11; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8. – 4 с.

Крот Ольга Петрівна, канд. техн. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та інженерної екології Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (098) 204-71-65.

E-mail: uch.opk@gmail.com.

Ровенський Олександр Іванович, канд. техн. наук, завідувачий відділом регіональної екології, Північно-Східний Науковий Центр Національної академії наук України. Тел.: (050) 402-08-10. E-mail: uch.opk@gmail.com.

Конев Віталій Васильович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (067) 575-05-51. E-mail: ukrainoslav@ukr.net.

Krot Olga, PhD. tehn., Associate Professor the department safety life and environmental engineering Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture. Tel. : (098) 204-71-65. E-mail: uch.opk@gmail.com.

Rovenskyi Oleksandr, PhD. tehn., Head of the regional ecology department North-East Scientific Center of the National Academy of Sciences of Ukraine. Te. : (050) 402-08-10. E-mail: uch.opk@gmail.com.

Koniev Vitalii, graduate student the department building materials, structures and constructions Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.:(067) 575-05-51. E-mail: ukrainoslav@ukr.net.

Стаття прийнята 10.11.2016 р.