

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

УДК 621.21

Зубков Леонід Пилипович

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
ПРОЦЕСІВ ОЧИСТКИ ГАЗІВ В КАТАЛІТИЧНОМУ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

Спеціальність 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 2006

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі інтегрованих технологій, процесів та апаратів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор
Ведь Валерій Євгенович
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри інтегрованих технологій,
процесів та апаратів

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Камбург Володимир Григорович
Хмельницький національний університет,
завідувач кафедри прикладної математики

кандидат технічних наук, доцент
Атаманюк Володимир Михайлович
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри хімічної інженерії та промислової
екології

Провідна установа: Український Державний хіміко-технологічний
університет, МОН України, м. Дніпропетровськ

Захист відбудеться « 6 » 07 2006 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05 Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий « 03 » 06 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05

Тимченко В.К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процеси та методи очистки газових викидів від шкідливих речовин широко використовуються та отримують подальший розвиток практично у всіх галузях промисловості, у транспортних засобах, в житлово-комунальних господарствах та в побуті.

Наукові дослідження, що присвячені удосконаленню технологій очистки газів та контактних апаратів присвячені розробкам нових більш ефективних каталітично активних елементів, які дозволяють проводити процеси конверсії шкідливих домішок з максимальними значеннями ступенів перетворення, створенню носіїв каталізаторів, що дають можливість найповніше здійснювати конверсію та проектування каталітичних перетворювачів для проведення процесів з високими швидкостями. Наразі такі дослідження проводяться по окремим науковим напрямкам без залучення к дослідженню досягнень, отриманих в суміжних галузях знань.

В зв'язку з цим дослідження газодинамічних, з урахуванням тепловиділення і кінетичних процесів конверсії газів та їх моделювання на розроблених матеріалах носіїв і каталізаторів для розробки нової ефективної конструкції каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів має значне народногосподарське, економічне та екологічне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до тематики науково-дослідних робіт НТУ «ХПІ» у межах держбюджетної теми «Теоретичні основи енергозберігаючої інтеграції процесів та технології зменшення шкідливих викидів для промислових підприємств» (ДР № 0103U001521), а здобувач був виконавцем окремого розділу.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є теоретичне обґрунтування й створення нового каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів на основі експериментальних газодинамічних та кінетичних досліджень процесів каталітичної конверсії ненасичених, хлоровмісних й ароматичних вуглеводнів і їх сумішей на розроблених матеріалах носіїв з каталітично активними центрами, опису математичними моделями вивчених процесів й властивостей матеріалів. У відповідності з поставленою метою в дисертації було сформульовано та вирішено наступні задачі:

– проведено оцінку сучасного стану екологічної обстановки в Україні та виконано аналіз відомого апаратного оформлення каталітичних нейтралізаторів для знешкодження газів, що відходять з промислових підприємств, транспортних засобів, сміттєспалювальних установок;

– розроблено експериментальний стенд для проведення кінетичних та газодинамічних досліджень, за допомогою якого можна вивчати й параметри функціонування промислових установок;

– досліджено склади керамічних матеріалів та проведено моделювання їх параметрів для отримання носіїв каталізаторів складної геометрії і з заданими керамічними й каталітичними властивостями;

– визначено кінетичні закономірності каталітичних процесів конверсії шкідливих газових викидів сміттєспалювальних печей, у тому числі й в присутності сполук, що уповільнюють процеси каталізу;

– розроблено математичні моделі і алгоритм чисельного рішення задачі змішування газів та виділення тепла в каталітичному перетворювачі для визначення полів температури, тиску й концентрації домішкових речовин у апараті, що розглядається;

– запропоновано методику проектування каталітичних перетворювачів нової конструкції, які забезпечують проведення процесу очистки газів з максимальним ступенем конверсії та економічною ефективністю.

Об'єкт дослідження: газодинамічні та кінетичні процеси, що протікають в каталітичному перетворювачі шкідливих газових домішок, їх удосконалення, керамічні матеріали для носіїв і їх геометричні параметри.

Предмет дослідження – з'ясування впливу газодинамічних, кінетичних, режимних, конструктивних й матеріалознавських параметрів на ступінь очистки шкідливих газових домішок в каталітичному перетворювачі, а також фізичні і математичні моделі, методи системної й інформаційної технологій моделювання, аналізу фізичних полів.

Методи дослідження. Теоретичні основи роботи базуються на фундаментальних принципах і методах газової динаміки, кінетики хімічних реакцій та фізики горіння. Для побудови системних фізичної, математичної, алгоритмічної моделей плинну використовувалися методи математичної фізики, обчислювальної математики. Для побудови програмних засобів використовувалися принципи теорії інформаційних систем.

Наукова новизна отриманих результатів. Дисертаційною роботою:

– обґрунтовано можливість розробки каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів нового типу;

– трансформовано метод опису багатокомпонентних систем для вивчення впливу вихідного складу кераміки на властивості на основі побудови семимірної симплексу концентрацій у шестимірному просторі та проектування функцій відклику на площину з метою графічного представлення їх у тримірному просторі в вигляді чотирикомпонентних симплексів концентрацій;

– удосконалено метод рішення задачі визначення параметрів тримірного плинну в міжлопаткових каналах каталітичних перетворювачів шкідливих газових викидів сміттєспалювальних печей шляхом врахування виділення тепла, яке визивається горінням горючих складових домішок;

– вперше для міжлопаткових каналів каталітичних перетворювачів отримано результати розрахункових та експериментальних досліджень нових ефектів у тримірній структурі плинну газів, котрі визиваються виділенням тепла внаслідок горіння горючих складових домішок;

– проведено ідентифікацію констант швидкостей перетворення хлоровмісних вуглеводнів у нешкідливі речовини, рівноважних констант речовин, що надходять на каталізатор та відходять з нього, а також визначено величини енергії активації процесів конверсії шкідливих речовин.

Практичне значення отриманих результатів. Обґрунтовано теоретично, розраховано, спроектовано, виготовлено та впроваджено в експлуатацію каталітичний перетворювач шкідливих газових викидів нової конструкції пе-

ресувної сміттеспалувальної печі ПСУ–150 з параметрами очистки, значно меншими припустимих у діючих нормативних документах на гази, що відходять з контактних апаратів.

Розроблено технологію виробництва керамічних носіїв каталізаторів складної геометрії, форма та спосіб їх розміщення в каталітичному перетворювачі, що дозволило мінімізувати значення його коефіцієнту втрат повного тиску до 0,005.

Орієнтовний ефект від впровадження даної розробки в пересувну сміттеспалувальну установку тільки в плані використання драгметалів для каталізаторів склав біля 95 % економії затрат на їх придбання.

Особистий внесок здобувача. Чільні результати, які становлять основний зміст роботи, отримані здобувачем самостійно. В публікаціях, котрі написано в співавторстві, дисертанту належить: у роботі [1] – запропоновано конструкцію та принцип дії стенду для дослідження аеродинамічних та кінетичних процесів конверсії шкідливих домішок у випускних газах; у роботі [2] – проведено аналіз літературних даних по забрудненню регіонів України, визначено раціональні технології очистки різних шкідливих складових випускних газів; у роботах [3,4] – трансформовано метод планування експериментів для дослідження багатокомпонентних систем; у роботі [5] – визначення ефективності функціонування розробленого каталітичного перетворювача; у роботі [6] – розроблено стратегію прийняття технічних рішень при розробці каталітичних перетворювачів; [7] – запропоновано нова конструкція каталітичного перетворювача; у роботі [8] – проведено випробування каталітичного перетворювача димових газів сміттеспалувальної установки; у роботі [9] – запропоновано каталітичний засіб конверсії газів, що відходять, та місце його розташування в промислових сміттеспалувальних об'єктах; у роботі [10] – проведено оцінку економічної доцільності використання сучасних очисних апаратів; у роботі [11] – проведено екологічну оцінку функціонування установки термічного знешкодження твердих побутових відходів; у роботі [12] – запропоновано використання каталітичних процесів для знешкодження побутових відходів та очистки газів, що відходять, при цьому процесі; у роботі [13] – виконано конструктивні розрахунки реактора; у роботі [14] – проведено порівняльний аналіз газових викидів промислових підприємств.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи повідомлені й обговорені на: 2–й науковій конференції «Енергозбереження при термічній переробці відходів» (м. Алушта, 2002 р.); міжнародній конференції «Інтегровані технології та енергозбереження» – «ІТЕ –2003» (м. Алушта, 2003 р.); IV науково–практичній конференції «Переробка енергоресурсних відходів. Вітчизняний та закордонний досвід по переробці побутових відходів» (м. Алушта, 2003 р.); міжнародній науково–технічній конференції «Вітчизняний та міжнародний досвід поводження з відходами виробництва та споживання» (м. Київ, 2003 р.); 4–й міжнародній міждисциплінарній науково–практичній конференції «Сучасні проблеми науки та освіти» (м. Харків, 2003 р.); міжнародній науково–практичній конференції «Актуальні токсикологічні і санітарно–епідеміологічні аспекти поводження з відходами» (м. Київ, 2003 р.); XII міжнародній науково–практичній конференції «Інфор-

маційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2004 р.); міжнародній конференції «Інтегровані технології та енергозбереження» – «ІТЕ –2005» (м. Алушта, 2005 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 14 друкованих праць, в тому числі 6 праць у фахових виданнях, 7 – труди та матеріали міжнародних та науково-практичних конференцій, одержано один патент України.

Структура й об'єм роботи. Дисертаційна робота складеться із вступу, чотирьох розділів і висновків, викладених на 144 сторінках, містить 44 рисунків, 13 таблиць та додатків на 1 сторінку. Список використаної літератури містить 188 назв.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульована мета та завдання досліджень, наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, наведено інформацію про впровадження роботи, публікації, приведені основні результати та положення, що виносяться на захист.

У першому розділі «Екологічні проблеми повітряного басейну України та шляхи їх розв'язання» розглянуто сучасний стан екологічної обстановки в нашій країні, наведено сукупність прикладів можливості значного поліпшення емісії шкідливих газових викидів промислових підприємств та транспорту за допомогою сучасних методів їх знешкодження та за рахунок застосування новітніх технологій, що базуються на широкому впровадженні каталітичних процесів. Визначено недоліки існуючих апаратів для каталітичних перетворень і наведено можливість значного поліпшення їх функціонування. У цьому зв'язку встановлено цілі та задачі дослідження.

У другому розділі «Стенд для дослідження кінетичних та газодинамічних параметрів каталітичних процесів очищення газів» наведені дані з техніки визначення параметрів вимірювання та оцінювання похибок вимірювання, а також розглянуто конструкцію сконструйованого та виготовленого стенду та методики проведення експериментальних досліджень.

Стенд міститься на станині 1, що задає вертикальне розташування його робочої частини для того, щоб створити можливість досліджувати процеси, що протікають у зваженому шарі, і виключити можливість розділення потоків газів з ламінарною течєю. Введення досліджуваного газу у робочу частину стенду здійснюється через прийомну трубу 2, на якій змонтовано відводи 3 та 4, за допомогою яких визначається тиск газу на вході і його температуру. З прийомної труби газ надходить у колектор 5 з обмежувальною сіткою 6, на якій розташовано силікагель 7 для того, щоб забезпечити осушення досліджуваного газу. Далі потік газу надходить у калорифер 8, де нагрівається до заданої температури тенами 9 спірального типу і надходить у камеру 10, у якій він рівномірно розподіляється потоком однієї структури у горизонтальному напрямку завдяки спеціально виготовленій з кордієрита пористій мембрані 11, що відрізняється завданняю спрямованістю каналів. Потім досліджуваний газ надходить у робочу

частину 12 експериментального стенда, секційованої на сім частин, кожна з котрих оснащена змонтованими датчиками тиску газу 3 і його температури 4.

Усі деталі стенда виконано з нержавіючої сталі ЭП–538. Зовнішня поверхня стенда теплоізолювана каоліновим волокном 13. Також з метою зменшення втрат тепла зовнішня поверхня стенда, закрита відбиваючим променисту складову теплового потоку нагрітого газу каркасом 14 з полірованої фольги, виготовленої із сплаву ВЖ–98. Щоб запобігти виникненню значних перетоків тепла від більш нагрітих частин установки до менш нагрітих, основні частини її 15 теплоізолювали. Для заміни фрагментів носіїв, що випробовуються, установка була оснащена теплоізолюваною кришкою, яка закріплюється на фронтальній частині робочого органу стенда 12 за допомогою болтових з'єднань 16. Для проведення експериментальних досліджень різні за формою елементи носіїв каталізаторів, які містять різні каталітичні активні елементи, поміщали в спеціальні контейнери 17. Напрямні елементи 18 призначені для фіксації контейнерів в об'ємі робочого органу стенда. В останньому також передбачені вводи для монтажу датчиків тиску 3 і температури 4 в перерізах, котрі дають можливість заміряти ці параметри як безпосередньо в об'ємі контейнера з відповідним носієм, так і на виході газу з нього, а також температури поверхні самого носія каталізатора. Перетворений на каталізаторах газ надходить у випускний теплоізолюваний колектор 19 і далі на хроматограф для проведення аналізів.

Контейнери 17, котрі розміщуються послідовно в робочому об'ємі стенда в напрямку руху газу, можуть мати однотипну або різну конструкцію. В них передбачено розміщення керамічних носіїв, які мають форму куль; порожнистих циліндрів різної геометрії, в тому числі зі спеціальними вибірками (позиція 17г); керамічних лопаток різного профілю конфузорного або дифузорного розміщення – 17а, б; носіїв, які призначені для роботи в завислому шарі – 17в; високопористих матеріалів, які виготовляються із фольги різного профілю 17д, е та ін.

Відмінною особливістю стенда є можливість виконання такої сукупності досліджень параметрів роботи як каталізаторів, так і їх носіїв:

- впливу геометричних параметрів і форми, як керамічних носіїв каталізаторів, так і на основі металів, на інтенсивність процесів конверсії;
- фізичного моделювання газодинамічних параметрів проведення процесу каталітичної конверсії в умовах, що відповідають промисловим;
- каталітичних процесів в заданому тепловому режимі;
- каталітичних процесів безпосередньо на промислових очисних установках;
- проведення селективних послідовних процесів конверсії сумішей різних газів роздільно на оптимальних каталізаторах в умовах, коли один каталітичний процес, що проходить на каталізаторі одного виду, негативно впливає на конверсію іншого.

Також створено лабораторне апаратне оформлення стенду, котре дає можливість реєструвати параметри досліджуваних процесів за допомогою ЕОМ з поданням їх в реальному масштабі часу.

В третьому розділі «Визначення раціональних складів керамічних носіїв каталізаторів та кінетичних параметрів процесів конверсії шкідливих складових газових викидів» наведено результати експериментальних і теоретичних досліджень з розробки раціональних вихідних складів керамічних носіїв на основі корунду, кінетики процесів конверсії шкідливих продуктів згоряння сміття, а також опису та ідентифікації кінетичних параметрів процесу.

На основі сформульованих вимог, котрі повинні ставитися до керамічних носіїв каталізаторів, визначено параметри їх властивостей, яких потрібно досягти, та раціональну технологію безвипалювального формування керамічних виробів складної геометрії – на основі фосфатів полівалентних металів з подальшою термообробкою кераміки при температурах, які забезпечують сублімацію фосфатів.

Найвищу каталітичну активність по відношенню до шкідливих домішок, котрі є в вихідних газах, виявляють алюмооксидні керамічні носії, в складі яких є оксиди рідкісноземельних елементів. В цьому зв'язку видається необхідним ввести їх в склад кераміки на основі корунду так, щоб процес її добування відрізнявся технологічністю, а властивості одержаного матеріалу були раціональними щодо носіїв.

Для вивчення властивостей багатокомпонентних систем, а при цьому як незалежні змінні величини були прийняті: $x_1 - \text{Al}_2\text{O}_3$; $x_2 - \text{V}_2\text{O}_5$; $x_3 - \text{Er}_2\text{O}_3$; $x_4 - \text{CeO}_2$; $x_5 - \text{Sm}_2\text{O}_3$; $x_6 - \text{Tm}_2\text{O}_3$; $x_7 - \text{Lu}_2\text{O}_3$, було трансформовано метод планування експериментів, заснований на використанні симплексних решіток, коли факторний простір показано правильним симплексом концентрацій.

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1; x_i \geq 0; i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (1)$$

с q вершинами в $(q-1)$ мірному просторі.

Оскільки склад кераміки на основі Al_2O_3 модифікували рештою вказаних оксидів, то область змінювання змінних величин є не симплекс, а многогранник:

$$\sum_{i=1}^q x_i = 1; 0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1. \quad (2)$$

Для його показу з накладеними обмеженнями у вигляді правильного симплекса було здійснено переведення натуральних змінних величин (x_i) в кодовані (Z_i), відносно яких було збудовано правильний симплекс:

$$\sum_{i=1}^q z_i = 1; z_i \geq 0; i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (3)$$

Для отримання математичних моделей властивостей складу кераміки розроблено алгоритм, котрий визначає показник властивості у вигляді матриці функції Φ_j від фізичних значень вимірюваних вхідних параметрів U_1 для опису вектора вимірюваних фізичних значень вихідних параметрів y_j

$$\bar{y}_j = \Phi_j(\bar{U}_1), \quad (4)$$

де $i = \overline{1, n}$ – номер вхідного параметра; $j = \overline{1, m}$ – номер вихідного параметра.

Вихідний параметр y_j показано у вигляді полінома з коефіцієнтами C_j та описами апроксимуючих функцій (Φ) за допомогою формули

$$\overline{y}_j = \sum_{\beta=1}^N C_{j,\beta} \cdot \Phi_{j,\beta}(\overline{U}_i), \quad (5)$$

де N – кількість членів полінома; β – номер коефіцієнта і відповідного опису апроксимуючої функції.

При рішенні системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом найменших квадратів було використано метод Гауса з вибором головного елемента відносно матриці.

Як показники властивостей були вивчені: уявна густина (ρ_{300} , г/см³), відкрита пористість (Π_{300} , %) термооброблених при 300 °С зразків, границя міцності при вигині (σ_{1500} , МПа) і відкрита пористість (Π_{1500} , %) випалених при температурі 1500 °С зразків для розробки складів матеріалів носіїв для каталізаторів.

Згідно з описаним алгоритмом на ЕОМ розраховували коефіцієнти математичних моделей досліджуваних властивостей, котрі показано у вигляді квадратичних поліномів, наприклад як для відкритої пористості зразків, термооброблених при 1500 °С:

$$\begin{aligned} \Pi_{1500} = & 7,09 + 7,77z_1 + 12,58z_2 - 2,34z_2 + 16,47z_4 - 12,5z_5 + 3,84z_6 - 67,16z_7 - \\ & - 60,88z_1z_2 - 4,28z_1z_3 + 18,64z_1z_4 - 28,5z_1z_5 - 114,3z_1z_6 - 19,51z_1z_7 + 28,5z_2z_3 - \\ & - 4,28z_2z_4 - 35,4z_2z_5 - 10,1z_2z_6 - 13,8z_2z_7 + 21,88z_3z_4 + 6,0z_3z_5 - 29,5z_3z_6 - \\ & - 45,6z_3z_7 + 27,4z_4z_5 - 138,44z_4z_6 + 55,04z_4z_7 - 36,6z_5z_6 + 27,4z_5z_7 - \\ & - 53,2z_6z_7 - 28,84z_1^2 + 2,08z_2^2 - 13,22z_3^2 - 10,18z_4^2 + 10,04z_5^2 - 66,6z_6^2 - 78,5z_7^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Адекватність математичних моделей вивчених поверхонь оцінювалась за t – критерієм по розрахунковим та експериментальним значенням функцій відклику в 14 перевірних точках і показано їх відповідність. Такі моделі по кожній із властивостей являють собою (в кодованих змінних величинах) правильні семивимірні фігури в восьмивимірному просторі.

Збудовано проєкції кожної властивості на площину. З метою наочного подавання властивостей та вибору раціонального складу матеріалу були збудовані тетраедри, які відображають взаємний вплив чотирьох незалежних змінних величин, на основі елементарних симплексів концентрацій, суміщенням проєкцій властивостей від трьох незалежних змінних величин з відповідними сторонами симплексів, в котрих присутня основна змінна величина – оксид алюмінію. Отримані таким чином тетраедри концентрацій (усього їх збудовано двадцять – по п'ять на кожний показник), в об'ємі котрих побудовані рівні досліджених властивостей, наведено у дисертації.

Аналіз показаних графічно даних дає можливість зробити висновок, що для алюмооксидної кераміки, яка може бути використана для отримання міцних і, в той же час, достатньо пористих носіїв каталізаторів, потрібно вводити в її вихідний склад домішки CeO_2 і V_2O_5 в кількості до 7 %.

Для розробленої алюмооксидної кераміки відпрацьована технологія нанесення каталізаторів, їх якісний та кількісний склад, в який входять суміш платини і паладію, котрі вводяться в її об'єм і на поверхню. Експерименти з визначення каталітичної активності каталізаторів, нанесених згідно з зазначеною технологією на носії, котрі містять у своєму складі також каталітично активні оксиди рідкісноземельних елементів, показали достатність сумарного вмісту дорогоцінних металів в одиниці маси керамічного носія (г) як $1 \cdot 10^{-3}$ г, щоб забезпечити у повній мірі процеси конверсії шкідливих газових викидів.

Визначено стадію, що лімітує процес конверсії шкідливих газових викидів, яка проходить у змішаній дифузійно-кінетичній ділянці зі зміщенням в дифузійну при високих температурах, а при низьких – в кінетичну.

Проведено дослідження процесів окислення окремих компонентів димового газу ССУ. Показано результати вивчення процесу окислення оксиду вуглецю, ацетону, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), вуглеводнів C_3 – C_{20} та вуглеводнів, що містять хлор (ХМВ). ПАВ містили бензол, толуол, ксилол, фенол, формальдегід, фенатрен, нафталін, карбазол, бенз(а)пірен. До групи хлорорганічних сполук входили: епіхлоргідрин, вінілхлорид, хлорбензол, чотирихлористий вуглець та сажа, котра містила діоксини й фурани.

Дані дали можливість визначити оптимальні температури каталітичного перетворення багатоконпонентної суміші, котрі складають: для оксиду вуглецю – 270 °С, для альдегідів – 380 °С, для ПАВ – 450 °С, для ХМВ – 530 °С та для C_3 – C_{20} 580 °С. При цьому активність перетворення росте прямо пропорційно мольній масі конвертованих речовин: альдегіди і кетони, ароматичні вуглеводні, хлорорганічні вуглеводні, парафіни лінійної та розгалуженої будови. Вищі вуглеводні окислюються легше, ніж нижчі.

Каталітичний процес окислення вуглеводнів, що містять хлор, починається при температурі, вищій за 300 °С, а при 520 °С відбувається їх повне перетворення в діоксид вуглецю та хлористий водень.

Досліджено процес глибокого окислення вуглеводнів, що містять хлор, хлористого водню та хлору. Визначено температури початку процесу утворення хлористого водню в конвертованій суміші – 200 °С та його кількісного максимуму – 250 °С. Хлор виявляється при 230 °С в незначній кількості; вище 300 °С вихід його збільшується з одночасним зменшенням вмісту HCl , тобто спочатку при каталітичній конверсії вуглеводнів, що містять хлор, утворюється хлористий водень, який у подальшому перетворюється в хлор. Сумарний вміст в окислюваній суміші HCl і Cl_2 практично залишається постійним. Це зумовлено тим, що при температурах вищих за 300 °С відбувається руйнування вуглеводнів, що містять хлор, з відщепленням хлористого водню.

Дослідження кінетики очистки викидів, що містять хлор, в присутності

HCl, Cl₂, SO₂ показало, що підвищення температури проведення процесу до 550 °C призводить до досягнення максимального 98%–ного ступеня конверсії шкідливих газів. Також показано, що при цій температурі відбувається десорбція адсорбційних поверхневих сполук, що містять іони хлору і сульфіту, з подальшим їх розкладом на активних центрах паладієво–платинового каталізатора. На інших типах каталізаторів, навпаки, відбуваються процеси відкладення і кристалізації хлоридів і сульфідів, котрі призводять до зменшення вільної каталітично активної поверхні.

Досліджено процеси каталітичної конверсії груп вуглеводнів – C₃–C₂₀, ПАВ та ХМВ, при різних об'ємних швидкостях руху газового потоку. Застосування методів формальної кінетики при обробці експериментальних даних дає можливість отримати рівняння, які описують швидкості процесів по окремих групах вказаних вуглеводнів. Зіставлення параметрів швидкостей окислення C₃–C₂₀, ПАВ та ХМВ, показало, що реакційна здатність цих вуглеводнів залежить від їх будови.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні перетворюються з меншими енергетичними витратами, ніж вуглеводні, що містять хлор, а останні легше окислюються, ніж граничні вуглеводні, на що вказує порівняння даних щодо величин енергій активації процесу, *E* (табл. 1). На участь одних і тих самих активних центрів каталізатора в процесах окислення різних вуглеводнів вказує також близькість обчислених значень констант адсорбції – десорбції вуглеводнів *K*₂ для різних температур. *K*₁ – константи швидкостей перетворення речовин, що конвертуються у вуглекислий газ і воду, також підтверджують різну реакційну здатність вуглеводнів.

Так само вивчено кінетику окислення сумішей цих вуглеводнів у співвідношенні між ними, котре реально відображало склад димових газів.

Таблиця 1

Ідентифіковані параметри кінетичних рівнянь процесів окислення вуглеводневих сумішей – C₃–C₂₀, ПАВ та ХМВ

Тип вуглеводневої суміші	<i>K</i> ₁ , моль/л·хв ⁻¹	<i>K</i> ₂ , температура, °C				<i>E</i> , кДж/моль
		300	400	500	600	
C ₃ –C ₂₀	0,34	1,54	4,42	10,94	14,14	3,10
ПАВ	0,04	1,4	3,87	12,12	10,70	2,30
ХМВ	0,097	1,48	4,27	11,70	13,36	2,87

За допомогою методу формальної кінетики було отримано рівняння швидкості конверсії сукупності шкідливих домішок в вихідних газах сміттєспалювальної печі

$$W = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_{O_2} \cdot C_{\Sigma Y}^n \cdot C_{O_2}^q}{1 + K_2 \cdot C_{\Sigma Y}^n + K_{O_2} \cdot C_{O_2}^q}, \quad (7)$$

де $C_{\Sigma Y}$ та C_{O_2} – концентрації вуглеводнів та кисню, відповідно, %; n , q – порядки реакції по відповідним компонентам.

У четвертому розділі «Розрахунок параметрів функціонування каталітичного перетворювача шкідливих газових домішок та визначення ефективності його експлуатації» наведено дані щодо розробки математичної моделі процесу тепловиділення, яке було спричинене згорянням горючих домішкових речовин, алгоритму числового рішення задачі тепловиділення для визначення характеристик багатоступінчастого каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів сміттєспалювальних печей та дослідження ефективності експлуатації розробленого керамічного каталітичного перетворювача лопаткового типу у пересувній сміттєспалювальній установці.

В результаті структурного аналізу газодинамічного процесу, який відбувається в каталітичному нейтралізаторі, декомпозиції повної математичної моделі процесу виявлено, що основний вплив на процес справляє інтенсивність тепловиділення в результаті згоряння вуглецю (сажі) та чадного газу, котрі містяться в суміші. Таким чином, для опису процесів змішування двокомпонентного газу у цьому випадку достатньо використати скорочені рівняння, отримані з рівнянь Навьє–Стокса, шляхом відкидання в'язких і дифузних членів – наближення Ейлера.

Розрахунковою областю O став канал перетворювача з криволінійними твірними. O розбита на просторові комірки, розміри граней яких відповідали характерним розмірам каналу. Повна система рівнянь, котра описує нестационарне тривимірне витікання двокомпонентної суміші газів в декартовій системі координат (x, y, z) має вигляд:

$$\frac{\partial \vec{a}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{b}}{\partial x} + \frac{\partial \vec{c}}{\partial y} + \frac{\partial \vec{d}}{\partial z} = \rho \vec{f}, \quad (8)$$

де $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}, \vec{f}$ – вектор – стовбці виду:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= [\rho, \rho u, \rho v, \rho w, E]^T; \\ \vec{b} &= [\rho u, P + \rho u^2, \rho uv, \rho uw, (E + P)u]^T; \\ \vec{c} &= [\rho v, \rho uv, P + \rho v^2, \rho vw, (E + P)v]^T; \\ \vec{d} &= [\rho w, \rho uw, \rho vw, P + \rho w^2, (E + P)w]^T; \\ \vec{f} &= [0, 0 - g, 0 - gv + e_s / \rho]^T, \end{aligned}$$

t – час; u, v, w – складові вектора швидкості q ; P, ρ – тиск та густина; E – пов-

на енергія одиниці об'єму суміші газів $E = \rho \left(e + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2) \right)$; e – внутрішня енергія одиниці маси газу; компоненти вектора f – суть проєкції розподілених об'ємних джерел, g – прискорення вільного падіння, e_s – інтенсивність тепловиділення в одиниці об'єму газу внаслідок хімічної реакції.

Закон перенесення компонента суміші, вважаючи, що швидкість дифузії його набагато менша за швидкість суміші, має вигляд:

$$\frac{\partial(\rho Q)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u Q)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v Q)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w Q)}{\partial z} = \rho Q_s, \quad (9)$$

де Q – відносна масова густина домішки (відношення густини газоподібної речовини домішки до густини суміші), ρQ_s – інтенсивність змінювання густини домішки внаслідок хімічної реакції.

Система рівнянь (8, 9) є незамкнутою. Доповнимо її рівняннями, які визначають теплофізичні властивості компонентів суміші. Для ідеального політропного газу величина e зв'язана з P та ρ суміші за допомогою залежності:

$$e = \frac{P}{(k-1)\rho}$$

Векторне рівняння (7) є наслідком законів збереження маси, імпульсу та енергії, котрі можуть бути показані в інтегральній формі для кожної розрахункової комірки:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \vec{a} dV + \iint_{\sigma} B d\vec{\sigma} = \iiint_V \rho \vec{f} dV, \quad (10)$$

де V – об'єм елементарної розрахункової комірки; σ – обмежуюча поверхня даної комірки, котра має зовнішню нормаль \vec{n} ($\vec{\sigma} = \sigma \vec{n}$); \hat{A} – тензор густини потоку консервативних змінних \vec{a} , стовпцями котрого є вектор \vec{b} , \vec{c} та \vec{d} , відповідно.

Закон перенесення компоненту суміші (9) може бути також подано в інтегральній формі для кожної розрахункової комірки

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho Q dV + \iint_{\sigma} \rho Q q d\sigma = \iiint_V \rho Q_s dV \quad (11)$$

Функції, які задовольняють рівняння (3, 4), можна вважати як узагальнені рішення рівнянь газової динаміки.

Граничні умови на вході задано на поверхнях граней, прилеглих до меж розрахункової області, через які в розрахункову область надходить атмосферне повітря. Потік, що набігає на вході, визначається величинами:

$$\text{– повної ентальпії} \quad I_{00} = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2} (u^2 + v^2 + w^2); \quad (12)$$

– функції ентропії $S_0 = \frac{P}{\rho^k}$; (13)

– напрямку вектора швидкості потоку – кутами α_x, α_z ;
 – відносної масової густини суміші Q ($Q \leq 1$, якщо надходить в газоподібна речовина домішки, наприклад, чадний газ, CO).

Параметри потоку на вході визначаються із рівнянь (12, 13) при заданих α_x, α_z з залученням співвідношення для «лівого» інваріанту Рімана. На непроникливих ділянках, які обмежують розрахункову область поверхонь, виконуються умови непротечі: $q_n = 0$, де \vec{n} – вектор нормалі до межі, що розглядається. Граничні умови на виході були задані на поверхнях граней, які прилягають до меж розрахункової області, через котрі, як припускається, витікає суміш. В вихідних областях, окрім атмосферного тиску P_A , який було задано або взято із експерименту, використовувались співвідношення для «правого» інваріанту Рімана. Як початкове наближення в комірках розрахункової області було задано параметри потоку усередині займаного об'єму, котрі відповідають умовам на вході в розрахункову область.

Повна система рівнянь газової динаміки суміші взаємодіючих газів вирішувалась чисельно методом С.К. Годунова.

Для реалізації запропонованої методики було використано програмний продукт, який являє собою інтегроване інтерактивне середовище користувача, котре об'єднує в собі модулі, що виконуються, САЕ (Computer–Aided Engineering) – системи.

Згідно з розробленою методикою проведено розрахунки проходження в міжлопаткових каналах каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів сміттеспалювальної печі.

Із графіків зміни відносної масової густини чадного газу в потоці повітря, показаної відносно параметрів потоку на вході, та температур суміші вздовж тракту чотиріступінчастого перетворювача виходить, що основна частка домішки згоряє в другому ступеню перетворювача, а для повного згоряння домішки достатньо чотирьох ступенів.

Розрахунки стали основою для проектування каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів пересувної сміттеспалювальної установки, робочий простір котрого був заповнений чотирма рядами керамічних лопаток. Кожний ряд лопаток являв собою ґратки з паралельними торцевими стінками. При цьому ґратки лопаток були двох типів – конфузорні (ґратки з непарними номерами) і дифузорні (ґратки з парними номерами). Послідовне чергування ґраток двох типів забезпечувало близькі до нуля кути атаки на вході в кожні ґратки і, як наслідок, низькі втрати потоку кінетичної енергії при проходженні робочого тіла через робочий простір перетворювача. Лопатки ґраток розміщувались таким чином, що вхідні кромки лопаток ґраток з парними номерами знаходились між вихідними кромками лопаток ґраток з непарними номерами, що забезпечувало інтенсивне перемішування потоку в міжлопаткових каналах ґраток.

Економічний ефект від впровадження розробленого каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів в пересувну сміттєспалювальну установку виражається в більш ніж двадцятикратній економії витрат лише на використання дорогоцінних металів у створеному контактному апараті в порівнянні з існуючими рішеннями його виконання.

ВИСНОВКИ

1. На основі експериментальних кінетичних і газодинамічних досліджень процесів каталітичної конверсії газів, які містять насичені, поліциклічні ароматичні вуглеводні та вуглеводні, що містять хлор, а також їх суміші, їх моделювання, створення матеріалів носіїв каталізаторів та опису їх властивостей, оцінки каталітичної активності розроблено нову конструкцію каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів пересувної сміттєспалювальної установки.

2. Спроековано і виготовлено стенд для дослідження газодинамічних та кінетичних параметрів процесів конверсії шкідливих газових викидів, котрий дає можливість проводити: вивчення впливу геометричних параметрів носіїв та самих каталізаторів на інтенсивність процесів конверсії, в т. ч. в заданому тепловому режимі; фізичне моделювання газодинамічних параметрів процесу в умовах, які відповідають промисловим.

3. Для отримання керамічних носіїв каталізаторів складних геометричних форм обґрунтовано і реалізовано технологію безвипалювального фосфатного тверднення. Рациональний склад кераміки визначено на основі подальшого розвитку методу планування багатофакторних експериментів. Побудовано математичні моделі властивостей зразків кераміки на основі оксиду алюмінію в залежності від вмісту в ньому каталітично активних оксидів рідкісноземельних елементів. Моделі являють собою опис функцій відклику за допомогою 7-вимірних симплексів концентрацій компонентів, що складають кераміку, в 6-вимірному просторі.

4. Розроблено каталізатори на керамічних носіях, які містять 0,001% металів платинової групи, що забезпечують 95–98 % ступінь очистки газів від вуглеводнів типу C_3 – C_{20} , ХМВ та ПАВ, котрі не піддаються процесам дезактивації при робочих температурах.

5. Вивчено кінетику перетворення вуглеводнів C_3 – C_{20} , ХМВ, ПАВ та їх сумішей, визначено рівняння швидкостей процесів конверсії, ідентифіковано їх параметри – константи швидкостей перетворення вуглеводнів, що містять хлор, константи рівноваги адсорбції–десорбції каталізаторами сполук, величини енергій активації процесів конверсії. Значення цих параметрів дали можливість визначити та рекомендувати оптимальний інтервал температур проведення процесів конверсії в промислових умовах.

6. Запропоновано математичну модель та алгоритм числового рішення задачі про зміщення газів, котрі описують процес тепловиділення в каталітичному нейтралізаторі, що дало можливість здійснити прогноз полів температури, тиску та концентрації домішок в об'ємі, що розглядається. Проведено

їх верифікацію, отримано задовільну відповідність результатів розрахункових і експериментальних досліджень.

7. Виконані розрахунки проходження в міжлопаткових каналах каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів сміттєспалювальної печі дали можливість запропонувати основні конструктивні параметри профілів керамічних носіїв в формі лопаток турбін та розмістити їх в чотирьох рядах ґраток конфузороного і дифузороного типів в об'ємі апарату.

8. Дослідження ефективності експлуатації каталітичного перетворювача лопаткового типу в пересувній сміттєспалювальній установці ПСУ–150 показало, що розроблений контактний апарат повністю забезпечує кінетику проходження процесу каталітичної конверсії шкідливих домішок зі ступенем перетворення шкідливих газових домішок, що наближається до одиниці, в малому об'ємі реакційного простору з незначним коефіцієнтом втрат повного тиску 0,005.

9. Дано оцінку економічній ефективності використання розробленого каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів в пересувній сміттєспалювальній установці, котра складає більш ніж двадцятикратну економію витрат лише на використання дорогоцінних металів у створеному контактному апараті в порівнянні з існуючими рішеннями.

СПИСОК ПРАЦЬ

1. Зубков Л.П., Вєдь В.Є., Ровєньський А.І., Соловей С.І. Стенд для изучения аэродинамических и кинетических процессов конверсии вредных примесей в выпускных газах // Інтегровані технології та енергозбереження.– Харків: НТУ «ХП», 2003.–№2.– с. 122–126.

2. Остапчук В.М., Вєдь В.Є., Зубков Л.П., Ровєньський О.І. Інтегральний підхід к проблеме очистки газов ДВС и других топливосжигающих агрегатов // Проблеми машиностроєння. – Харьков, 2003. – Т. 6. – № 4. – с.87–94.

3. Зубков Л.П. Математическая модель газодинамических процессов в каталитическом преобразователе отходящих газов мусоросжигательной печи // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 14. – с.59–64.

4. Вєдь В.Є., Зубков Л.П. Определение рациональных составов многокомпонентных систем. // Вісник Національного технічного університету «ХП». –Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 41. – с.72–77.

5. Зубков Л.П., Вєдь В.Є., Остапчук В.М. Исследование эффективности каталитической очистки газов в передвижной мусоросжигательной установке. // Проблеми машиностроєння. – Харьков, 2004. – Т.7. – № 4. –с. 87–91.

6. Вєдь В.Є., Зубков Л.П., Бородин В.І., Соловей С.І. Інтеграція технологий и моделирования процессов при разработках каталитических преобразователей газовых выбросов. // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХП», 2005. –№2.– с.50 – 55.

7. Вєдь В.Є., Бородин В.І., Зубков Л.П., Ляшенко О.М., Ровєньський О.І. Катализатор для очищення газоподібних викидів, що містять пил. //Деклараційний патент України 4261. Бюл. № 1, 17.01.2005.

8. Зубков Л.П., Рижавський А.З., Веприцький С.С., Ровенський О.І. Экологические характеристики и использование тепла мусоросжигающих установок // Збірник матеріалів Другої науково–практичної конференції «Енергозбереження при термічній переробці відходів – значний потенціал енергоресурсів». Досвід, досягнення та перспектива. – Київ: Товариство «Знання» України, 2002. – с.13–15.

9. Зубков Л.П., Веприцький С.С., Ровенський О.І. Экологически безопасные мобильные мусоросжигающие установки. Збірник матеріалів Другої науково–практичної конференції «Енергозбереження при термічній переробці відходів – значний потенціал енергоресурсів». Досвід, досягнення та перспектива. – Київ: Товариство «Знання» України, 2002. – с.15–17.

10. Ровенський О.І., Зубков Л.П., Рижавський А.З. Рациональный путь управления твердыми отходами сферы потребления // Труды 4–ої Міжнародної міждисциплінарної науково–практичної конференції «Сучасні проблеми науки та освіти». – Харків, 2003. – с.78.

11. Зубков Л.П., Ровенський О.І., Кухтик Є.В. Техничко-экономические и экологические характеристики установок термического обезвреживания твердых бытовых отходов // Материалы IV научно-практической конференции «Переработка энергоресурсных отходов. Отечественный и зарубежный опыт по переработке бытовых отходов». – Киев: Общество «Знание» Украины, 2003. – с. 18–19.

12. Зубков Л.П., Кухтик Є.В. Термическая переработка бытовых и промышленных отходов // Труды Міжнародної науково–технічної конференції «Вітчизняний та міжнародний досвід поводження з відходами виробництва та споживання». – Київ: Товариство «Знання» України, 2003. – с.66–68.

13. Ведь В.С., Зубков Л.П., Ровенський Р.О., Воронков В.О., Ровенський О.І. Разработка и применение каталитического реактора нового поколения при термообезвреживании бытовых отходов // Труды Міжнародної науково–практичної конференції «Актуальні токсикологічні та санітарно-епідеміологічні аспекти поводження з відходами». – Київ: ЕКОГІНТОКС, 2003.–с 34–36.

14. Зубков Л.П., Ровенський О.І., Кухтик М.Є К выбору рационального метода управления отходами. Матеріали 4–ї Міжнародної міждисциплінарної науково–практичної конференції «Сучасні проблеми гуманізації та гармонізації управління». – Харків, 2003. – с.78.

АНОТАЦІЯ

Зубков Л.Ф. Теоретичні та експериментальні дослідження процесів очистки газів в каталітичному перетворювачі нової конструкції. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – «Процеси та обладнання хімічної технології», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2006.

Захищаються результати теоретичних та експериментальних газодинамічних, тепломасообмінних і кінетичних досліджень процесів каталітичної конверсії газових викидів та їх моделювання, створення матеріалів носіїв каталізаторів та опису їх властивостей, виконаних для здійснення каталітичного процесу в новій конструкції каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів. Вивчено кінетику перетворення компонентів шкідливих газових викидів та їх сумішей, визначено рівняння швидкостей процесів конверсії, ідентифіковано їх параметри. Експериментально встановлено оптимальний інтервал температур проведення процесів конверсії в промислових умовах. Запропоновано конструктивні параметри каталітичного перетворювача шкідливих газових викидів сміттеспальвальної печі на основі профілів керамічних носіїв у вигляді лопаток турбін. Розроблений контактний апарат повністю забезпечив процес очищення з коефіцієнтом втрат повного тиску 0,005.

Ключові слова: каталітичний перетворювач, газодинаміка, математичні моделі, кінетика процесів, ступінь очистки, сміттеспальвальна установка.

АННОТАЦИЯ

Зубков Л.Ф. Теоретические и экспериментальные исследования процессов очистки газов в каталитическом преобразователе новой конструкции. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – «Процессы и оборудование химической технологии», Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2006.

Исследованием разработана новая конструкция каталитического преобразователя вредных газовых выбросов на основе экспериментальных газодинамических и кинетических исследований процессов каталитической конверсии выбросов и их моделирования, создания материалов носителей катализаторов и описания их свойств. Создан многофункциональный стенд для исследования газодинамических и кинетических параметров процессов конверсии газов. Получены носители катализаторов на основе построения математических моделей свойств керамики, описывающих изменение функций отклика 7–мерными симплексами концентраций компонентов в 6– мерном пространстве. Разработаны катализаторы на керамических носителях, содержащие 0,001 % металлов платиновой группы, обеспечивающие 95–98 % степень очистки газов от углеводородов, активная поверхность которых не под-

вержена процессам дезактивации при рабочих температурах. Изучена кинетика превращения составляющих вредных газовых выбросов и их смесей, определены уравнения скоростей процессов конверсии, идентифицированы их параметры. Экспериментально установлен оптимальный интервал температур проведения процессов конверсий в промышленных условиях. Предложена математическая модель и алгоритм решения задачи о смешении газов описывающей процесс тепловыделения в каталитическом преобразователе. Расчёты течения в межлопаточных каналах позволили предложить основные конструктивные параметры каталитического преобразователя вредных газовых выбросов мусоросжигательной печи на основе профилей керамических носителей в форме лопаток турбин, которые расположены четырьмя рядами решеток конфузорного и диффузорного типов. Разработанный контактный аппарат полностью обеспечил кинетику протекания процесса каталитической конверсии вредных газовых примесей в передвижной мусоросжигательной установке со степенью их превращения близкой к единице в малом объеме реакционного пространства с незначительным коэффициентом потерь полного давления 0,005.

Ключевые слова: каталитический преобразователь, газодинамика, математические модели, кинетика процессов, степень очистки, мусоросжигательная установка.

SUMMARY

Zubkov L.F. «Theoretical and experimental investigation of gas cleaning processes in the catalytic converter of new design». – Manuscript.

The dissertation for the degree of technical sciences candidate in speciality 05.17.08 – “Processes and equipments of chemical technology”, National Technical University «Kharkov Polytechnical Institute», Kharkov, 2006.

The results of theoretical and experimental gasdynamic, heatmasschanging and kinetic studies, executed for development of the catalytic converter for harmful gas emission conversion process and their simulation, of materials of catalytic agents creation and descriptions of their properties executed for realization of catalytic process in the new design of the harmful gas emissions catalytic converter. Kinetics of transformation of harmful gas emissions components and their mixes are studied, the equation of processes speeds of conversion is defined, their parameters are identified. An optimum interval of conversion processes temperatures in industrial conditions is experimentally determined. Design data for catalytic converter of garbage furnace harmful gas emissions are offered on the basis of ceramic carrying agents profiles in the shape of blade turbines. The contact devise, that have been developed, completely provided process of purification with a pressure loss factor 0,005.

Key words: catalytic converter, gasdynamic, mathematical model, process kinetics, gas cleaning degree, incinerating plant.

Підписано до друку 10.04.2006 р. Формат 60×90/16
Папір ксероксний. Гарнітура Times Roman.
Умовн. друк. арк. 1,0.
Наклад 100 прим. Зам. .