

502.174

Г 95

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

**ГУРЕЦЬ ЛАРИСА ЛЕОНІДІВНА**

УДК 502.174:66.074-963

**НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
ПРИ ЗАБРУДНЕННІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ  
ГАЗОПИЛОВИМИ ВИКИДАМИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

21.06.01 – Екологічна безпека

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Івано-Франківськ – 2017

302.174  
r95



**Дисертацією є рукопис**

Робота виконана в Сумському державному університеті Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор  
**Пляцук Леонід Дмитрович**  
Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри прикладної екології, м. Суми

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Адаменко Микола Ігорович**  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, м. Харків

доктор технічних наук, професор  
**Мальований Мирослав Степанович**  
Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування, м. Львів

доктор технічних наук, професор  
**Дмитриков Валерій Павлович**  
Полтавська державна аграрна академія Міністерства аграрної політики та продовольства, професор кафедри машин та обладнання агропромислового виробництва, м. Полтава

Захист відбудеться 20 квітня 2017 р. об 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки України за адресою: вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019

Автореферат розісланий «16» березня 2017 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05

К.О. Радловська



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забруднення атмосферного повітря, незважаючи на певний спад виробництва в Україні, залишається стабільно високим у великих містах і промислових центрах, що становить серйозну небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я населення. Техногенне навантаження на атмосферне повітря в Україні в кілька разів перевищує відповідні показники в розвинутих країнах світу, що ставить завдання розробки природоохоронних заходів щодо поліпшення якості атмосферного повітря.

Промислові підприємства є основними джерелами забруднення довкілля в цілому й атмосферного повітря зокрема. В містах та промислових центрах основними причинами, що зумовлюють незадовільний стан якості атмосферного повітря, є високий рівень фізичної зношеності обладнання, недотримання підприємствами режиму експлуатації пилогазоочисного обладнання, недостатнє фінансування природоохоронних заходів, низькі темпи впровадження новітніх технологій. Системи газоочиснення підприємств застарілі, часто розроблялися й впроваджувалися без урахування сучасних екологічних вимог. Тому вирішення екологічної проблеми збереження якості атмосферного повітря неможливе без впровадження природоохоронних заходів, які включають застосування високоєфективного газоочисного обладнання, здатного мінімізувати концентрацію забруднюючих речовин у викидах промислових підприємств.

Більша частина викидів промислових підприємств за своєю структурою – це аеродисперсні системи, дисперсну фазу яких складають органічний та неорганічний пил або дрібнодисперсні краплі, а дисперсійну – газоповітряна суміш, яка може включати декілька забруднюючих газоподібних компонентів. Компоненти відхідних газів у багатьох випадках мають адитивну дію або здатні до трансформації в більш небезпечні сполуки, що в умовах фонових концентрацій, характерних для більшості промислово розвинутих районів, робить їх небезпечними навіть при відносно низьких концентраціях у викидах. Ця проблема різко загострюється в умовах зміни промислової інфраструктури, зближення промислових та селітебних зон, появи нових токсичних речовин із недостатньо вивченою дією.

Вирішення проблеми очищення багатокомпонентних викидів традиційно базується на використанні багатоступневих систем очищення. Практика санітарного очищення відхідних газів у цих системах визначила сферу їх економічно обґрунтованого застосування – це великотоннажні викиди зі стабільним складом, властивостями та можливістю утилізації цільових компонентів у промислових масштабах. Але багатоступеневі системи очищення, які мають великі капітальні та експлуатаційні витрати, при зміні складу властивостей або об'ємів викидів стають малоефективними та вимагають переобладнання, пов'язаного з великими капіталовкладеннями.

Перспективним напрямком досягнення нормативних концентрацій забруднюючих речовин при невисоких витратах енергії є впровадження принципу комплексного очищення відхідних газів в одному апараті.

Суміщення в одному апараті процесів газо- та пилоочищення значно розширює його функціональні можливості, дозволяє спростити апаратурне

оформлення та знизити капітальні й експлуатаційні витрати при досягненні високої ефективності очищення. Розвиток цього напрямку пов'язаний із можливістю системного вирішення питань оптимізації режимно-технологічних параметрів очищення, з урахуванням закономірностей впливу, властивостей та складу компонентів відхідних газів. Універсальна можливість суміщення та інтенсифікації фізико-хімічних процесів у газорідних системах за рахунок створення розвинутого турбулентного руху фаз в одному апараті дозволяє досягти високої ефективності газоочищення.

На основі вищенаведеного можна стверджувати, що дослідження, спрямовані на створення наукових основ вибору та дослідження високоефективного газоочисного обладнання для комплексного очищення відхідних газів промислових підприємств, є актуальними й дають можливість підвищити рівень екологічної безпеки атмосферного повітря.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. з розділу «Рациональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2011- 2021 рр. «Широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища».

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології Сумського державного університету, пов'язаних з тематиками «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології» згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти та науки України № держреєстрації 0194U029586 (2003-2008 р.р.), «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної та машинобудівної промисловості» № держреєстрації 0109U008929 (2009-2012 р.р.) та «Розробка шляхів поліпшення екологічної ситуації міст і промислових зон» № держреєстрації 0111 U006335 (2013-2016 р.р.).

Результати роботи були частиною комплексних досліджень у рамках НДР на замовлення ТОВ «Сумителлоенерго» (51.16-01.11СП «Розробка документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів для об'єктів ТОВ «Сумителлоенерго», 51.16-01.12 СП «Інвентаризація викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел», в яких здобувач була керівником.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є обґрунтування та розроблення науково-методологічних засад підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря шляхом застосування високоефективного газоочисного обладнання. Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- провести оцінку стану екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря викидами промислових підприємств та обґрунтувати необхідність застосування високоефективного газоочисного обладнання для зменшення техногенного навантаження на довкілля;

- з метою підвищення рівня екологічної безпеки населених пунктів та прогнозування забруднення атмосферного повітря провести математичне моделювання розповсюдження викидів промислових підприємств в умовах міської забудови;

- провести системний аналіз факторів впливу на стан екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря та методів оптимізації пилогазоочисних процесів;

- розробити методологію вибору пилогазоочисного обладнання та здійснити на її основі вибір високоефективних газоочисних апаратів, які дозволять проводити комплексне очищення відхідних газів промислових підприємств та забезпечують стійку роботу систем газоочищення;

- обґрунтувати принципи вибору абсорбентів для хемосорбційного очищення викидних газів промислових виробництв, з урахуванням вимог екологічної безпеки;

- провести теоретичні та експериментальні дослідження гідродинаміки, масообміну та пиловловлення у вибраних високоефективних газоочисних апаратах та визначити оптимальні режимні параметри проведення процесу газоочищення;

- провести випробування розроблених схем очищення та досліджуваних апаратів на дослідно-промислових установках і перевірку визначених параметрів проведення процесу газоочищення в умовах комплексного забруднення відхідних газів.

**Об'єкт дослідження** – техногенне навантаження на довкілля від забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств.

**Предмет дослідження** – зниження рівня забруднення атмосферного повітря при застосуванні високоефективного газоочисного обладнання.

**Методи дослідження** базуються на системному аналізі теоретичних досліджень, фізичному та математичному моделюванні та прогнозуванні. Використані методи математичного моделювання для дослідження процесу розсіювання дрібнодисперсного пилу в атмосфері, розрахунку параметрів процесу газоочищення, а також експериментальні методи дослідження гідродинаміки та ефективності роботи газоочисних апаратів. У роботі використані фізичні методи для визначення дисперсного складу та механічних властивостей пилу, гравіметричний метод для визначення ефективності пиловловлення та визначення запиленості повітря на межі санітарно-захисної зони підприємства, рентгеноскопічний спектральний аналіз елементного складу пилу, методи хімічного аналізу для визначення ефективності абсорбційних процесів. Теоретичні розрахунки та обробку експериментальних даних виконували із застосуванням комп'ютерних програм MapleSoft 12.0; Statistica 6.0; EOL 2000; Microsoft Excel, Advanced Grapher 2.2.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- дістав подальшого розвитку методологічний підхід аналізу процесів розсіювання забруднюючих речовин, з урахуванням параметрів міської забудови на основі математичного моделювання цих процесів, що дало можливість забезпечити екологічну безпеку атмосферного повітря сільбищних та виробничих територій;

- вперше розроблені науково-методологічні основи екологічної безпеки атмосферного повітря шляхом застосування високоефективного газоочисного обладнання, яке працює в режимі розвинутої турбулентності, що дало можливість підвищити рівень екологічної безпеки міст та промислових зон;

- вперше на основі системного підходу запропонована концепція оптимізації пилогазоочисних процесів на основі використання в якості критерію оптимізації

інтенсивності процесу газоочищення, що дозволило виявити фактори вибору газоочисного обладнання;

- вперше запропонована методологія вибору пилогазоочисного обладнання, яка враховує сучасний рівень наукових розробок та вимоги як споживачів, так і підприємств-виробників газоочисного обладнання, що дало можливість застосувати оптимальні методи газопилоочищення для конкретних екологічних ситуацій;

- удосконалено системний підхід для визначення фактору інтенсифікації процесу хемосорбції та коефіцієнта масовіддачі при протіканні хімічної реакції на основі аналізу положень плівкової теорії, що дозволило забезпечити максимальний ступінь очищення газопилових потоків;

- вперше на основі дисипативного підходу отримані залежності для визначення коефіцієнтів масовіддачі в дисперсному турбулентному потоці рідини, що дало можливість розрахунку та оптимізації процесів газоочищення для досягнення максимального рівня екологічної безпеки атмосферного повітря.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Розроблені математичні моделі розсіювання забруднюючих речовин дозволяють прогнозувати стан атмосферного повітря в промислових містах; застосування розробленої методології вибору газоочисного обладнання в умовах конкретного промислового виробництва дозволяє провести модернізацію існуючих систем газоочищення для мінімізації впливу на атмосферне повітря та підвищення рівня екологічної безпеки; за результатами досліджень отримано два патенти України. Використання апаратів запатентованих конструкцій дозволяє збільшити ефективність очищення відхідних газів, що, в свою чергу, призводить до підвищення рівня екологічної безпеки населених пунктів.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень та запатентовані конструкції газоочисного обладнання пройшли дослідно-промислову апробацію на об'єктах теплоенергетики та хімічної промисловості: в системах газоочищення Сумської ТЕЦ (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 21.01.2015), Охтирської ТЕЦ (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 03.11.2015), ПАТ «Сумхімпром» (акти впровадження результатів дисертаційної роботи від 10.05.2011 та 15.11.2011). Математичні моделі розсіювання забруднюючих речовин в умовах міської забудови та методологія вибору газоочисного обладнання передані в ДП «Український науково-технічний центр «Енергосталь», м. Харків (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 17.05.2016), Державний науково-дослідний і проєктний інститут основної хімії «НІОХІМ», м. Харків (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 09.02.2016) та ПрАТ інститут «Сумипроєкт» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи від 27.05.2014). Впроваджені в навчальний процес Сумського державного університету розроблені математичні моделі розсіювання забруднюючих речовин від стаціонарних джерел в умовах міської забудови у дисципліні «Моделювання та прогнозування стану навколишнього середовища», методологія вибору пилогазоочисного обладнання у дисципліні «Процеси та апарати природоохоронного обладнання», оцінка впливу промислових підприємств на довкілля у дисципліні «Техноекологія» (акт впровадження від 26.05.2016).

**Особистий внесок автора** полягає в обґрунтуванні наукового напрямку, формулюванні мети роботи, розробці математичних моделей, установленні теоретичних залежностей, створенні лабораторних стендів для проведення досліджень гідродинаміки, масообміну та пиловловлення, участі у постановці і проведенні експериментальних досліджень та промислових випробувань, а також в аналізі та узагальненні результатів, формулюванні новизни, висновків та основних положень роботи, які виносяться на захист.

**Апробація результатів досліджень.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідались на наукових конференціях різних рівнів: Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету, м. Суми, 2008 р.; Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету ТеСЕТ, м. Суми, 2009 р.; VI Міжнародній конференції «Сотрудничество для решения проблемы отходов», м. Харків, 2009 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы инновационных технологий в образовании и науке», Республіка Казахстан, м. Чимкент, 2009 р.; VIII Міжнародній конференції аспірантів та студентів «Охрана навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів», м. Донецьк, 2009 р.; V Міжнародній ювілейній науково-практичній конференції «Екологія. Економіка. Енергозбереження», м. Суми, 2009 р.; Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві», м. Суми, 2010 р.; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Екологія міст та рекреаційних зон», м. Одеса, 2010 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Карпатська конференція з проблем охорони довкілля “Carpathian environmental conference” – СЕС-2011, м. Мукачеве, 2011р.; VIII Міжнародній науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів», м. Харків, 2013р.; Міжнародній молодіжній науковій конференції «Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов», Російська Федерація, м. Белгород, 2013 р.; II Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальные проблемы инженерных наук в области промышленности, экологии и охраны водных ресурсов», Російська Федерація, м. Пенза, 2013 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки», м. Кременчук, 2013 р.; Міжвузівській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологічний розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», м. Житомир, 2014 р.; XXII Міжгалузевій науково-практичній конференції «КАЗАНТИП-ЭКО–2014. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- ресурсосбережения», м. Харків, 2014 р.; III Всеукраїнській міжвузівській конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві», м. Суми, 2014 р.; I Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ресурсозбереження і хіміко-екологічні проблеми технологічних процесів», м. Харків, 2014 р.; XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки», м. Кременчук, 2015 р.; Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету ТеСЕТ, м. Суми, 2015р.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 50 наукових працях, з них: 20 статей – у наукових фахових виданнях; 4 статті – у виданнях, які входять у наукометричні бази; 6 – в інших виданнях; 13 тез доповідей у збірниках праць конференцій; 2 – патенти України, 1 монографія – в співавторстві; 1 брошура – в співавторстві, 3 підручника.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку джерел літератури, який містить 322 найменувань на 36 сторінок та додатків на 25 сторінках.

Повний обсяг дисертації становить 313 сторінок, робота містить 79 рисунків та 17 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтована актуальність проблеми, сформульовано мету і завдання роботи, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено відомості щодо апробації роботи.

**У першому розділі** наведені результати аналізу науково-технічної літератури стосовно оцінки техногенного впливу промислових підприємств на стан екологічної безпеки довкілля та атмосферного повітря зокрема. Проведено аналіз робіт, присвячених оцінці впливу промислових підприємств на екосистему міст таких провідних науковців, як Я.О. Адаменко, М.М. Биченок, С.О. Боголюбов, М.Д. Гомеля, С.І. Дарагунцов, А.Б. Качинський, Л.Д. Пляцук, Г.І. Рудько, В.М. Шмандій, К.Ф. Фролов та ін.

Проведений аналіз дозволив зробити такі висновки: необхідний комплексний підхід до управління екологічною безпекою, який базується на всебічному вивченні умов формування небезпек і домінуванні технічних методів регулювання її станів; складність проведення оцінки рівня техногенної небезпек промислових об'єктів полягає в особливості технологічних процесів різнопрофільних підприємств, відмінності умов утворення шкідливих речовин, специфічності природоохоронних заходів щодо запобігання надходженню їх у природне середовище.

Вивчення питання стану екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря показало, що поточне завдання управління якістю атмосферного повітря – це визначення оптимальних екологічних вимог до джерел забруднення повітряного басейну. Базисом управління в цьому випадку слугують санітарно-гігієнічні нормативи, прогнозування впливу забруднюючих речовин, впровадження природоохоронних заходів, які включають в себе модернізацію та переоснащення газоочисних систем промислових підприємств. Аналіз апаратного оформлення технологічних схем очистки газів показав, що при їх компонуванні були відсутні науково обґрунтовані критерії вибору. Так, для уловлювання одних і тих же компонентів використовуються різні конструкції масообмінних і пилоуловлювальних пристроїв. Незважаючи на різноманіття конструктивних удосконалень газоочисного обладнання, апарати не завжди забезпечують необхідну ефективність очищення, що висуває завдання системного підходу до вибору та дослідження високоєфективного газоочисного обладнання, здатного проводити комплексне очищення газових викидів.



Проведений аналіз дозволив висвітлити наукове значення та сформулювати завдання і основні етапи досліджень.

**В другому розділі** дисертаційної роботи розглянуті об'єкт та методи дослідження. Промислові підприємства чинять техногенний вплив на атмосферне повітря, довкілля в цілому, негативно впливаючи на рівень екологічної безпеки. При цьому екологічну безпеку можна розглядати як велику систему, що складається з ієрархічно пов'язаних між собою елементів, структур, підсистем різних рівнів організації, між якими існують тісні матеріально-енергетичні та ієрархічні зв'язки. Система екологічної безпеки навколишнього середовища включає в себе взаємозв'язані підсистеми, які характеризують рівень екологічної безпеки в різних компонентах біосфери: екологічна безпека атмосферного повітря, екологічна безпека гідросфери; екологічна безпека літосфери. Кожна із складових системи екологічної безпеки є складною та багаторівневою системою, якій властиві певні функції, характеристики, здатність до розвитку та удосконалення. Оскільки атмосферне повітря є найрухомішим середовищем біосфери, то забруднюючі речовини, які разом із повітряними масами переносяться на значні відстані, можуть впливати на екологічну ситуацію цілих регіонів, порушуючи рівновагу екологічних циклів основних біогенних речовин у всіх компонентах екосистеми.

Розглянемо систему екологічної безпеки атмосферного повітря стосовно території населеного пункту. Одним із компонентів цієї системи є підсистема «атмосферне повітря населеного пункту – промислове підприємство». Компоненти цієї системи можна класифікувати таким чином – природно-кліматичні: кліматичні фактори, які впливають на перенесення та розсіювання забруднюючих речовин (вітровий режим, температурна стратифікація, сонячна радіація, вологість повітря); рельєф місцевості; містобудівні: віддаленість підприємства від районів житлової забудови, щільність та висотність забудови, озеленення території міста, стан санітарно-захисних зон підприємства; пов'язані з підприємством: служби управління екологічною безпекою (контроль за викидами), характеристика джерел викиду (висота, діаметр), характеристика технологічного процесу, об'єм, температура відхідних газів, концентрація та властивості забруднюючих речовин, природоохоронні процеси (системи газоочищення, газоочисне обладнання).

Зв'язок між якістю атмосферного повітря та станом екологічної безпеки встановлюється при оцінці техногенного навантаження на довкілля. Оцінка техногенного навантаження включає в себе такі етапи: ідентифікація джерел викидів; характеристика джерел викидів: об'єм та характеристика забруднюючих речовин; вибір для вивчення передбачуваної схеми міграції забруднювачів у компонентах навколишнього середовища: повітрі, воді, ґрунті; розрахунок розсіювання або міграції шкідливих речовин та їх концентрації; оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на довкілля або здоров'я населення. Для оцінки техногенного навантаження на довкілля при забрудненні атмосферного повітря нами запропоновано поняття «поріг техногенного навантаження», яке спирається на поняття стійкості екосистеми або критичності стану екосистеми, якщо резерв стійкості відсутній. Під принципом пороговості ефекту дії маємо на увазі не взагалі поріг будь-яких змін екосистем під час техногенного впливу, а вихід реакції біоти за межі звичайних фізіологічних коливань, що спостерігаються в процесі гомеостазу.

Пороговість ефекту дії на біогеоценоз розглядають і розцінюють за кінцевим, інтегральним ефектом на всю систему.

Цілеспрямована оптимізація підсистеми «атмосферне повітря населеного пункту – промислове підприємство» з метою підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря вимагає мінімізації впливу підприємства на навколишнє середовище шляхом зменшення маси забруднюючих речовин, які надходять з відхідними газами, та проведення природоохоронних заходів як в населеному пункті, так і на промисловому підприємстві. Природоохоронні заходи на промисловому підприємстві будуть включати в себе удосконалення технологічних процесів, модернізацію технологічного обладнання, з метою попередження потрапляння шкідливих речовин у відхідні гази, та удосконалення систем очищення відхідних газів шляхом застосування вискоелективного газоочисного обладнання, з метою досягнення нормативних показників концентрації забруднюючих речовин на виході із газоочисних установок.

Враховуючи вищенаведене, місце процесів газоочищення, як компонента підсистеми екологічної безпеки атмосферного повітря при забрудненні викидами промислових підприємств у великій системі екологічної безпеки, можна представити таким видом (рис. 1).



Рисунок 1 – Місце газоочисних процесів в системі екологічної безпеки

Таким чином, головні засади екологічної безпеки атмосферного повітря у системі «атмосферне повітря населеного пункту – промислове підприємство» повинні базуватися на таких науково-методологічних принципах:

1. принципи комплексності: екологічна безпека атмосферного повітря повинна становити цілісну систему, яка розглядає фактори впливу на якість

атмосферного повітря та зв'язок між якістю атмосферного повітря та станом довкілля в цілому;

2. принципи стійкого розвитку: розробка та впровадження на промислових підприємствах технологічних процесів та технологічного обладнання, які мінімізують виділення забруднюючих речовин у ході виробничого процесу та відповідають світовим стандартам;

3. принципи мінімізації: зниження концентрації забруднюючих речовин у відхідних газах промислових підприємств шляхом застосування високоефективного газоочисного обладнання; зниження концентрації забруднюючих речовин у середовищі проживання людини за рахунок впровадження містобудівних заходів.

**Третій розділ** присвячено прогнозуванню впливу газопилових викидів промислових підприємств на стан екологічної безпеки міст.

Значна частина промислових підприємств (понад 80 %) країни розташована в містах та селищах міського типу, де на обмеженій території сконцентровані підприємства різного масштабу та класів небезпеки, часто вкраплені в житлові масиви. Тут же спостерігається найбільша концентрація викидів від автотранспорту, що призводить до комплексного впливу та збільшення концентрації забруднюючих речовин до небезпечних рівнів. Специфічні умови розповсюдження забруднюючих речовин виникають також під впливом забудови. У цільній міській забудові утворення кільцевих вихорів навколо будинків практично неможливе, повітряний потік фактично перетікає через дахи будинків. Забруднюючі речовини потрапляють у приземні шари атмосфери, підхоплюються циркуляцією повітря з підвітряної сторони будівлі, потрапляють усередину кварталів житлової забудови. Амплітуда підвітряної циркуляції залежить від габаритів будівлі, щільності забудови та швидкості вітру. Для урахування цих факторів нами запропоноване поняття коефіцієнта провітрюваності забудови:

$$A = \frac{P_a}{P_a^*} k, \quad (1)$$

де  $P_a$  – нормативний швидкісний напір вітру на відкритій місцевості, який визначається за метеоданими, Па;  $P_a^*$  – напір вітру в житловій забудові, Па;

$P_{бар}$  – середній барометричний тиск, Па;  $P_{нів}$  – тиск нівелірної висоти, Па;  $k = \frac{P_{бар}}{P_{нів}}$ .

Чим більший  $A$ , тим краще провітрювання житлового масиву. Найкраща забудова з  $A \rightarrow 1$ . При  $A \rightarrow 0$  відсутня циркуляція повітря, що призводить до тривалого застою забруднюючих речовин у житловій забудові.

Для розробки математичної моделі розсіювання забруднюючих речовин у населеному пункті розглянемо трансформацію забруднюючих речовин, з урахуванням забудови житлового мікрорайону на місцевості з незначними змінами рельєфу та практично однаковою висотності.

Міська вулиця являє собою відкритий зверху канал висотою  $H$  та довжиною  $L$ . Повітря в ньому рухається під дією ініціюючого потоку, але при цьому на потік діє опір при течії вздовж нерівних поверхонь стін будівель. Приймаємо потік забруднюючої речовини рівномірно розподіленим і враховуємо його як стаціонарне джерело. Для визначення зміни концентрації забруднюючих речовин по висоті

будинків  $H$  розглянемо двовимірну модель, допускаючи, що перенесення речовини відбувається по висоті будинків  $H$  і довжині вулиці  $L$  при постійних параметрах забудови. Для опису процесу розсіювання забруднюючих речовин запишемо систему диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, нерозривності і молекулярної дифузії для вертикального і горизонтального напрямків перенесення забруднюючої речовини в межах розрахункової площі  $S=HL$ :

$$\begin{cases} \rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} u + \frac{\partial u}{\partial y} v \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \sigma_x, \\ \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} u + \frac{\partial v}{\partial y} v \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \sigma_y, \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x} u + \frac{\partial C}{\partial y} v = D \left( \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right), \end{cases} \quad (1)$$

де  $u, v$  – компоненти вектора швидкості повітряного потоку;  $x, y$  – координати ( $x$  – по довжині вулиці;  $y$  – по висоті забудови);  $\sigma$  – опір житлового масиву руху повітря, Па;  $C$  – концентрація забруднюючих речовин, мг/м<sup>3</sup>;  $t$  – час, с;  $p$  – тиск, Па;  $D$  – коефіцієнт молекулярної дифузії, м<sup>2</sup>/с.

Початкові умови:

$$W(0, x, y) = W_s(x, y), \quad C(0, x, y) = C_s(x, y), \quad p(0, x, y) = p_s(x, y), \quad (2)$$

де  $W$  – вектор швидкості повітряного потоку з компонентами  $u, v$ .

Граничні умови:

$$W(\tau, x, y) = W_{zs}(\tau, x, y), \quad C(\tau, x, y) = C_{zs}(\tau, x, y). \quad (3)$$

При вирішенні задачі необхідно врахувати таке: на межі житлової забудови  $\partial S_x$  вертикальна швидкість  $v$  на висоті  $H$  дорівнює нулю, горизонтальна швидкість вітрового потоку стабілізується, тобто при  $y = H$ ,  $v = 0$ ,  $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ ; на межі урбосфери  $\partial S_m$ , на деякій віддалі від житлової забудови повітряний потік стабілізується, тобто  $v = 0$ ,  $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$ ,  $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$ ; у приземному шарі  $\partial S_n$  на поверхні землі  $y = 0$ ,  $u = 0$ ,  $\frac{\partial C}{\partial y} = 0$ . При рівномірному розподілі забруднення приймаємо  $\frac{\partial C}{\partial x} = 0$ .

Опір житлового масиву руху повітря визначається за рівнянням:

$$\sigma = -\xi \rho S W^2 \cdot A, \quad (4)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт аеродинамічного опору житлового масиву, що залежить від форми будинків і режиму обтікання. Для найбільш поширеної призматичної форми будинків з навітряної сторони  $\xi = 0,3 - 0,8$ , з підвітряної сторони  $\xi = (-0,3) - (-0,5)$ .

Розв'язок системи (1) з урахуванням початкових (2) та граничних (3) умов дозволив отримати залежності концентрації забруднюючих речовин від коефіцієнта провітрюваності забудови та розповсюдження забруднюючих речовин по висоті  $H$  від швидкості вітру  $W$  (рис.2, 3). Отримані дані свідчать, що зниження коефіцієнта провітрюваності забудови призводить до того, що в підстильній зоні концентрація забруднюючих речовин залишається високою навіть при великих швидкостях вітру (крива 3, рис. 2), що свідчить про актуальність раціонального планування та забудови населених пунктів. Як видно з рис.2, компоненти повітряної суміші з густиною вище  $1,2 \text{ кг/м}^3$  до швидкості вітру 4-5 м/с знаходяться у приземній зоні висотою 2-2,5 м. При більш високих швидкостях значний вплив чинять вихорові потоки, які мають вертикальний зсув. Це показує, що викиди газоподібних забруднюючих речовин та пилу розповсюджуються у просторі переважного проживання людини.

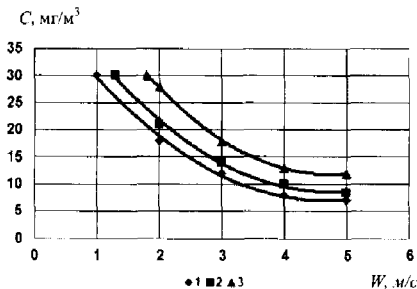


Рисунок 2 – Зниження концентрації забруднюючих речовин при зміні коефіцієнта провітрюваності: 1 –  $A=0,9$ ; 2 –  $A=0,5$ ; 3 –  $A=0,1$

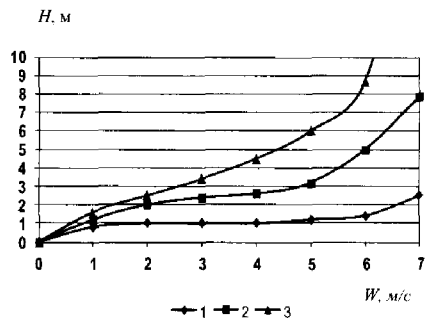


Рисунок 3 – Розповсюдження забруднюючих речовин в залежності від швидкості вітру при густинах компонентів: 1 –  $\rho = 2 \text{ кг/м}^3$ ; 2 –  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ; 3 –  $\rho = 0,8 \text{ кг/м}^3$

Отримані в результаті моделювання дані підтвердили необхідність розробки природоохоронних заходів з метою зменшення концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів.

**В четвертому розділі** дисертаційної роботи проведений теоретичний та методологічний аналіз принципів вибору газоочисного обладнання з метою поліпшення якості атмосферного повітря. При розгляді великої системи «екологічна безпека» встановлено, що природоохоронний процес є компонентом системи «екологічна безпека атмосферного повітря», впливає на системи «екологічна безпека гідросфери» та «екологічна безпека літосфери» і в цілому на стан екологічної безпеки довкілля. Таким чином, ефективні природоохоронні процеси повинні забезпечити відповідний рівень екологічної безпеки. Одним із шляхів досягнення цього результату є вибір більш оптимальних у порівнянні з існуючими природоохоронних технологій, які забезпечують нормативні рівні впливу на довкілля. На промислових підприємствах принцип оптимізації процесів

пилогозоочиснення реалізується шляхом застосування високоінтенсивного газоочисного обладнання. Розглядаємо вирішення оптимізаційного завдання, приймаючи в якості параметра оптимізації інтенсивність  $i$  газоочисного апарата, яка визначається за формулою:

$$i = \frac{M}{V \cdot t} = KF \frac{\Delta}{V}, \quad (5)$$

де  $M$  – маса речовини, кг;  $V$  – об'єм апарата, м<sup>3</sup>;  $F$  – площа поверхні контакту фаз, м<sup>2</sup>;  $K$  – коефіцієнт швидкості процесу;  $\Delta$  – рушійна сила процесу.

Оптимальним буде газоочисний процес  $P$ , який має максимальну величину інтенсивності:

$$P_{opt} = \max i(X), \quad (6)$$

де  $X$  – фактори, які впливають на інтенсивність процесу.

Використовуючи принципи системного підходу та структурної оптимізації, фактори впливу на процес оптимізації газоочисних процесів, виходячи з рівняння (5), можна представити такими взаємопов'язаними та водночас функціонально завершеними підсистемами: 1 – підсистема факторів  $X_1$ , які призводять до збільшення площі поверхні контакту фаз; 2 – підсистема факторів  $X_2$ , які призводять до збільшення середньої рушійної сили; 3 – підсистема факторів  $X_3$ , які призводять до збільшення коефіцієнта швидкості процесу; 4 – підсистема факторів  $X_4$ , які впливають на об'єм апарата.

Перша підсистема включає в себе два види факторів: гідродинамічні та конструктивні методи, які як компоненти взаємопов'язані та впливають як один на одного, так і на підсистему в цілому:

$$X_1 = f(Re, \Gamma), \quad (7)$$

де  $Re$  – критерій Рейнольдса;  $\Gamma$  – характеристика конструктивних параметрів апарата.

При розгляді конструктивних методів підвищення площі контакту фаз нами проведена класифікація апаратів для проведення процесів газоочиснення і пиловловлювання в системі газ-рідина за способом впливу на потоки, що контактують, за двома великими групами: апарати, що використовують механічну енергію; апарати, що використовують енергію потоків газу та рідини, і проаналізовано переваги та недоліки апаратів кожного класу. Аналіз позитивних і негативних ознак обладнання показав переваги газоочисних апаратів, які використовують закономірності взаємодії вихорових, пульсуючих, швидкісних потоків.

Підсистема факторів, які призводять до збільшення середньої рушійної сили процесу, представлена трьома групами: гідродинамічні методи, фізико-хімічні властивості фаз та технологічні параметри проведення процесу:

$$X_2 = f(Re, \Phi, \Pi), \quad (8)$$

де  $\Phi$  – складова, яка враховує фізичні властивості фаз;  $\Pi$  – технологічні параметри проведення процесу.

Фізико-хімічні властивості фаз будуть впливати на кінетику абсорбції, величину середньої рушійної сили процесу, коефіцієнт масопередачі і, таким чином, є одним із факторів оптимізації процесу газоочищення. Особливе значення це набуває при виборі абсорбенту. При розробці вимог до вибору абсорбенту розглядаємо екологічні аспекти – зменшення впливу на атмосферне повітря за рахунок зменшення концентрації шкідливих речовин, які надходять в атмосферне повітря, та на гідросферу за рахунок зменшення об'ємів стічних вод та споживання води. Також враховуємо економічні аспекти – дешевизну, доступність, можливість регенерації абсорбента або його повернення у технологічний цикл.

При комплексному очищенні відхідних газів високоефективне вилучення газоподібних забруднювачів обумовлене необхідністю їх швидкого відведення або проведення реакції в рідкій фазі, що дозволяє підвищити ємність абсорбенту і, таким чином, скоротити об'єм рідких відходів газоочищення. Для визначення фактору інтенсифікації процесу абсорбції при протіканні хімічної реакції, прийнемо такі допущення: розглядаємо ступінчастий контакт фаз; на кожному ступені відбувається повне перемішування рідкої фази і вирівнювання концентрації розчиненої речовини у всьому обсязі рідини; розглядаємо внутрішню задачу в рідкій фазі; розглядаємо систему з двома реагентами: компонентом, який абсорбується з концентрацією  $C$  і нелетким розчиненим компонентом концентрацією  $b$ .

У цілому по апарату спостерігається деякий перехідний режим від швидкої реакції до миттєвої або до режиму фізичної абсорбції, в залежності від висоти зони контакту. Процес описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} D_1 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{\partial C}{\partial t} + r(b, C); \\ D_2 \frac{\partial^2 b}{\partial x^2} = \frac{\partial b}{\partial t} + r(b, C), \end{cases} \quad (9)$$

де  $D_1$  – коефіцієнт дифузії компонента, що абсорбується,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $D_2$  – коефіцієнт дифузії реагенту в рідкій фазі,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $r$  – швидкість реакції,  $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ .

Граничні умови:

$$x = 0, \quad C = C_0', \quad \frac{\partial b}{\partial x} = 0; \quad (10)$$

$$t = 0, \quad b = b_0, \quad C = C_0; \quad (11)$$

$$x = \delta, \quad C = C_0, \quad b = b_0; \quad (12)$$

де  $C_0$  – початкове значення концентрації абсорбтиву в рідині,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_0'$  – концентрація газу, який абсорбується, на границі розділу фаз,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\delta$  – товщина плівки або радіус краплі, м.

Розв'язок системи дозволив отримати вираз для визначення фактору інтенсифікації масообміну при протіканні хімічної реакції:

$$I_n = \frac{\sqrt{\frac{t_D I_r - I}{t_p I_r - 1}}}{th \sqrt{\frac{t_D I_r - I}{t_p I_r - 1}}}, \quad (13)$$

де  $t_D, t_p$  – час дифузії та час хімічної реакції відповідно;  $I$  – відношення швидкості хімічної абсорбції до швидкості фізичної абсорбції;  $I_\infty$  – величина  $I$ , розрахована для режиму миттєвої реакції;

$$I = \frac{-dC/dx}{C'_0/\delta} x_0; \quad I_r = 1 + \frac{D_2}{D_1} \frac{b_0}{qC'_0}.$$

Підсистема факторів, які призводять до збільшення коефіцієнта швидкості процесу представлена групами: гідродинамічні методи; фізико-хімічні властивості фаз; технологічні параметри проведення процесу:

$$X_3 = f(Re, \Phi, \Pi). \quad (14)$$

Четверта підсистема факторів  $X_4$  – фактори впливу на об'єм апарата.

$$X_4 = f(Re, \Phi, \Pi, L_p). \quad (15)$$

де  $L_p$  – витрата абсорбенту, м<sup>3</sup>/с.

Тоді

$$i = f(X_1, X_2, X_3, X_4) = f(Re, \Gamma, \Phi, \Pi, L_p). \quad (16)$$

Таким чином, виходячи з аналізу функціональної залежності ефективності процесів газоочищення від кінетичних характеристик, механізму формування міжфазної поверхні, чинників розвитку рушійних сил і конструктивних особливостей апаратурного оформлення, показана можливість оптимізації умов проведення процесів при комплексному очищенні відхідних газів за величиною інтенсивності, як інтегральної характеристики ефективності здійснюваних процесів для кожної забруднюючої речовини. Оскільки гідродинамічний режим роботи апаратів впливає на всі складові інтенсифікації процесу, то далі будемо розглядати задачу оптимізації за режимними параметрами роботи газоочисного обладнання.

Результати структурної оптимізації газоочисних процесів покладено в основу розробленої методології вибору та дослідження газоочисних апаратів.

Методологія включає два основних етапи – процес розробки і процес реалізації. Основу процесу розробки складає формулювання завдань і вироблення рішень (рис.4). При формулюванні завдань аналізується стан галузей-споживачів і виробників газоочисного обладнання, а також сучасний рівень науки і техніки. Результатом аналізу є визначення завдань, що стоять при виборі та проектуванні конструкцій газоочисного обладнання. Аналіз систем газоочищення при виборі в якості підприємств-споживачів хімічної промисловості України показав, що більшість технологічних схем очищення газових викидів укомплектовані порожнистими форсунковими, механічними, насадковими і тарілчастими апаратами, циклонами, електричними і рукавними фільтрами. Наявність у відхідних газах великої кількості газоподібних та твердих забруднюючих речовин призводить до



нестійкої роботи обладнання та застосування багатоступеневих систем очищення, які включають апарати сухого та мокрого типу. Причому для проведення одного й того ж процесу застосовуються різні конструкції обладнання, які часто мають невисоку ефективність і характеризуються нестабільною роботою через забивання твердими домішками.

Звідси випливають такі вимоги підприємств-споживачів до пилогазоочисного обладнання: висока ефективність; низька енергоємність; можливість здійснення комплексного очищення відхідних газів, стійка робота при наявності у викидах речовин, які створюють відкладення на робочих поверхнях апаратів; простота виготовлення і ремонту з використанням власної ремонтно-механічної бази; низька вартість.

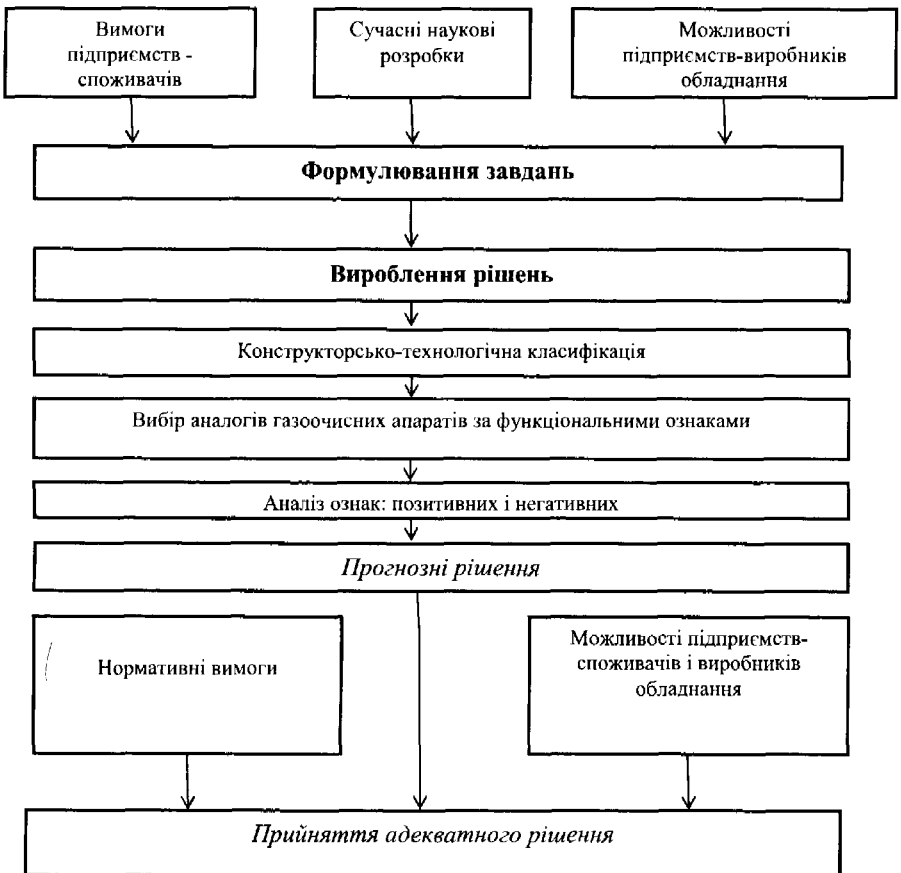


Рисунок 4 – Стадії процесу розробки та вибору газоочисного обладнання

В свою чергу, вимоги підприємств-виробників до створення пилогазоочисного обладнання будуть такими: технологічність конструкції; потреба в масовому виробництві; використання вітчизняних матеріалів, деталей і вузлів; високий технічний рівень обладнання, що дозволяє забезпечити потреби внутрішнього ринку і випускати пилогазоочисні апарати на експорт; патентна захищеність.

Вироблення рішень здійснюється у дві стадії. На першій стадії на підставі конструктивно-технологічної класифікації відомих груп масообмінних і пилоуловлюючих апаратів проводиться вибір аналогів обладнання за функціональними ознаками, і після виявлення їх позитивних і негативних ознак приймаються прогнози рішення. Аналіз конструкцій апаратів проводиться з точки зору витрат енергії на проведення процесів, ефективності їх роботи, матеріалоемності, технологічності. Виділяються загальні позитивні ознаки, властиві групам апаратів, і вибираються конструкції, де ці ознаки найбільш сконцентровані. Прогнози рішення повинні також враховувати вимоги підприємств-споживачів і підприємств-виробників. При цьому необхідно враховувати можливість модернізації існуючого обладнання. На другій стадії прогнози рішення коригуються з урахуванням нормативних вимог, а також враховуються можливості підприємств-виробників і споживачів. У підсумку здійснюється вироблення адекватного рішення.

Процес реалізації, у свою чергу, підрозділяється на два блоки – створення та впровадження (рис. 5). У процесі створення нової конструкції апарата, з метою оптимізації її режимних і конструктивних параметрів, проводяться дослідження вузлів, модулів, а також апарата в цілому.

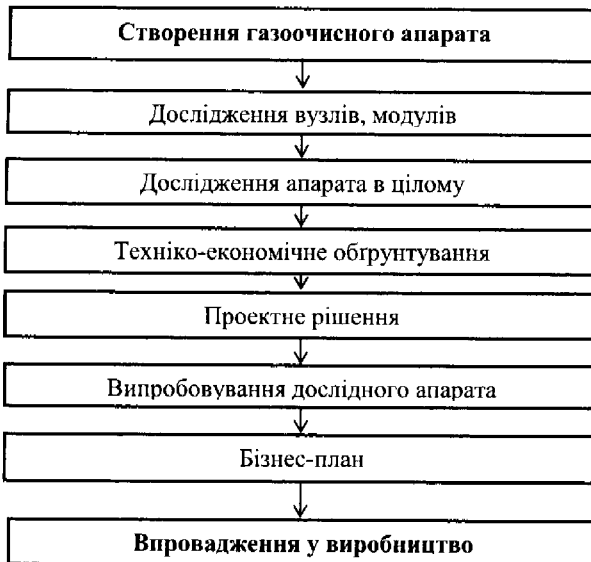


Рисунок 5 – Схема процесу реалізації газоочисного обладнання

На підставі виконаних досліджень здійснюється техніко-економічна оцінка, в якій визначаються технологічні та економічні показники, що порівнюються з вибраними аналогами, які є, як правило, кращими за технічним рівнем зразками. Наявність поліпшених показників є основою для вироблення проектних рішень і проведення випробувань дослідного зразка. Створення нової конструкції апарата закінчується розробкою бізнес-плану.

Розроблена методологія вибору та дослідження газоочисного обладнання дозволила обґрунтувати, з урахуванням конструктивних та гідродинамічних параметрів факторів оптимізації, вибір конструкцій високоінтенсивного газоочисного обладнання для комплексного очищення відхідних газів – це апарати з провальними тарілками великих отворів (ПТВО) та апарати з регулярною рухомою насадкою (РРН).

У п'ятому розділі наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення впливу режимних параметрів процесу на інтенсивність вибраних апаратів для комплексного очищення відхідних газів.

У результаті проведених досліджень гідродинаміки апарата з ПТВО визначено робочий режим роботи апарата при швидкості газу  $w_g = 2,5-3,5$  м/с та щільності зрошення  $L = 15-20$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год), який відповідає режиму вторинного піноутворення. При цьому режимі виникають високі газорідні шари, які мають однорідну структуру та розвинену поверхню контакту фаз.

Для визначення впливу режимних факторів на величину поверхні контакту фаз були проведені дослідження по визначенню газомісту та питомої поверхні контакту фаз в апараті з ПТВО. Результати дослідження газомісту представлені на рис. 6, 7. Локальний газоміст вимірювали за двома напрямками по горизонталі  $x$  та вертикалі  $z$  від площини тарілки. Характерною особливістю зміни газомісту від висоти шару є наявність трьох зон (рис. 6). Перша знаходиться в безпосередній близькості від полотна тарілки. Ріст газомісту на цій ділянці зумовлений різким розширенням струменів, які виходять з отворів тарілки. Друга зона рівномірно розподіленої газорідної суміші характеризується інтенсивною пульсацією газорідного потоку. Третя зона характеризується рухомою поверхнею газорідного шару та виникненням окремих бризок. Проведені дослідження свідчать про рівномірний газоміст по висоті газорідного шару для всіх точок по горизонталі при досягненні відношення  $z/h > 1,2$ ; де  $h$  - висота шару рідини на тарілці, що підтверджує візуальні спостереження за структурою газорідного шару. Дослідження залежності загального газомісту від швидкості газу (рис. 7) показало практично постійне значення газомісту при швидкостях газу, які відповідають робочому режиму апарата. Велику роль у цьому відіграють вихори, якими пронизаний увесь газорідний шар на тарілці. Від висоти шару рідини на тарілці залежить висота газорідного шару та величина поверхні контакту фаз. Експериментальні дослідження показали (рис. 7), що висота шару рідини змінюється по параболічній залежності від швидкості газу, максимальне значення висоти відповідає швидкості газу 4 м/с.

Дослідження питомої поверхні контакту фаз показали (рис.8), що вона залежить від швидкості газу, та залишається практично постійною при зміні

щільності зрошення.

Отримані результати залежності характеристик газорідного шару та утворення розвинутої поверхні контакту фаз від швидкості газу та щільності зрошення підтверджують доцільність оптимізації режимних параметрів для інтенсифікації процесів комплексного очищення відхідних газів.

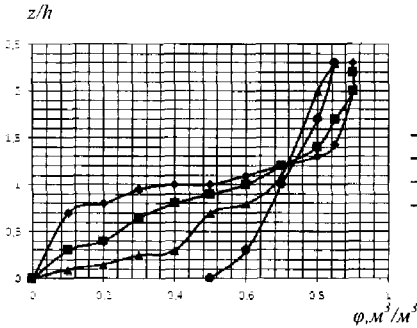


Рисунок 6 – Зміна газовмісту по висоті газорідного шару для різних перерізів при  $d_o=0,15\text{ м}$ ;  $w_o=10\text{ м/с}$ ;  $h=0,15\text{ м}$ ;  $R=0,25\text{ м}$ : 1 –  $x/R=0,6$ ; 2 –  $x/R=0,45$ ; 3 –  $x/R=0,3$ ; 4 –  $x/R=0,15$

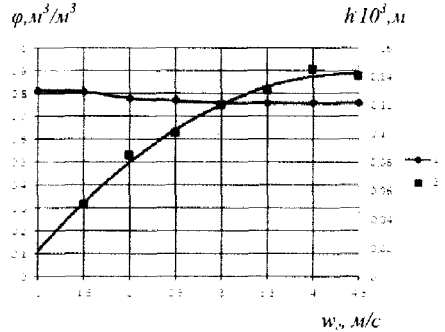


Рисунок 7 – Залежність газовмісту газорідного шару та висоти шару рідини на тарілці від швидкості газу при  $d_o=0,15\text{ м}$ ;  $L=15\text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$

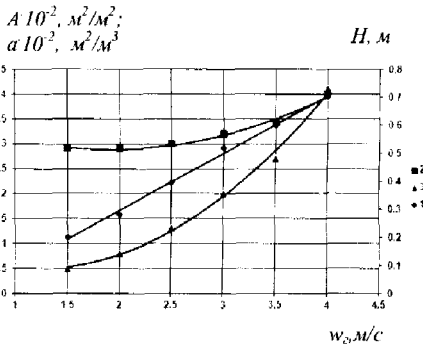


Рисунок 8 – Залежність висоти газорідного шару –  $H$ , поверхні контакту фаз, віднесеної до площі тарілки –  $A$ , поверхні контакту фаз, віднесеної до об'єму апарата –  $a$  від швидкості газу при  $d_o=0,15\text{ м}$ ;  $L=15\text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ : 1– $H$ ; 2– $a$ ; 3– $A$

Дослідження взаємодії фаз в апараті з РРН показали, що в робочій зоні апарата рідина знаходиться у вигляді плівки на поверхні насадки та у вигляді крапель у вільному об'ємі апарата. Рідина, потрапляючи на поверхню насадкового тіла, розтікається по ньому тонкою плівкою, стікає по поверхні у вигляді струменя та під дією газового потоку подрібнюється на краплі. При цьому площа поверхні плівки в апаратах з регулярною рухомою насадкою складає 5-10 % від загальної поверхні контакту фаз. Тому основну роль в ефективності газоочищення відіграють краплі рідини. Утворення крапель та одночасне їх осідання на плівку рідини, що

знаходиться на насадкових елементах, сприяє оновленню поверхні контакту фаз та створює додаткову міжфазну поверхню. Виходячи з теорії локальної ізотропної турбулентності, на основі якої розвинута загальна теорія подрібнення частинок у турбулентному потоці, знайдено вираз для визначення середнього діаметру крапель рідини:

$$d_{кр} = \xi_{кр}^{-2.3} \frac{\sigma}{\rho_r^{2.3} \rho_p^{1.3} w_r^{4.3} w_{m1}^{2/3}}, \quad (17)$$

де  $\xi_{кр}$  – коефіцієнт опору краплі,  $\sigma$  – поверхневий натяг, Н/м.

Для встановлення впливу режимних параметрів на коефіцієнт швидкості процесу проводились дослідження абсорбції та пиловловлення в досліджуваних апаратах. При розгляді кінетики абсорбції визначали коефіцієнти масовіддачі в рідкій та газовій фазах.

Для опису кінетики хемосорбційних процесів використовували модель короткочасного контакту, при цьому розглядався процес хімічної абсорбції в плівці рідини на поверхнях контактних елементів. При визначенні коефіцієнту масовіддачі в рідкій фазі приймаємо, що продукти реакції не впливають на дифузію забруднюючого компонента. Вісь  $y$  направлена перпендикулярно поверхні контакту.

Запишемо диференціальне рівняння дифузії:

$$D_p \frac{\partial^2 x_A}{\partial y^2} = \frac{\partial x_A}{\partial t} \quad (18)$$

з граничними умовами:

$$t = 0 \quad x_A = x_{A0}; \quad (19)$$

$$D_p \left( \frac{\partial x_A}{\partial y} \right)_{y=0} = kx_A; \quad (20)$$

$$D_p \left( \frac{\partial x_A}{\partial y} \right)_{y=l} = 0, \quad (21)$$

де  $x_A$ ,  $x_{A0}$  – концентрація забруднюючого компонента в рідкій фазі, поточна та початкова, відповідно, мг/м<sup>3</sup>;  $k$  – константа швидкості реакції.

У результаті рішення рівняння (18) з використанням перетворення Лапласа отримано вираз для визначення коефіцієнта масовіддачі в рідкій фазі при протіканні хімічної реакції:

$$\beta_p = \frac{q}{(x_{A0} - x_t)t} = \frac{kx_{A0}}{(x_{A0} - x_t)t} \frac{2}{a} \sqrt{\frac{t}{\pi}} = \frac{kx_{A0}}{(x_{A0} - x_t)t} \frac{2\sqrt{D_p}}{k} \sqrt{\frac{t}{\pi}}, \quad (22)$$

де  $q$  – кількість речовини, перенесеної через одиницю площі поверхні контакту фаз,

$$\text{кг/м}^2; \quad q = kx_{A0} \frac{2}{a} \sqrt{\frac{t}{\pi}}; \quad a = \frac{k}{\sqrt{D_p}}.$$

Дослідження гідродинамічних характеристик апаратів з ПТВО та з РРН

показали, що рідина в об'ємі апарата знаходиться у вигляді плівки та крапель рідини. Тому коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі буде визначатись як сумарний в плівці рідини та в краплях:

$$\beta_p = \beta_{p,пл.} + \beta_{p,кр.} \quad (23)$$

Внесок кожної складової буде різний для апаратів з ПТВО та РРН. Вивчення структури рідкої фази показали, що поверхня плівки в апараті з ПТВО складає 20-25%, в апараті з РРН – 5 - 10%.

При описі масоперенесення всередині краплі при вихоровому русі потоку, який її обтікає, враховуємо, що перенесення маси відбувається за рахунок молекулярної та турбулентної дифузії паралельно. Причому вихори, що виникають у граничному шарі на поверхні краплі, зумовлюють інтенсивність турбулентної дифузії.

Рівняння конвективної дифузії для сталого процесу запишемо у вигляді:

$$(D + z^2 \omega) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} = 0 \quad (24)$$

при таких граничних умовах:

$$\begin{aligned} C &= C_p \text{ при } z = 0; \\ C &= C_{кр} \text{ при } z \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

де  $C_p$  і  $C_{кр}$  – концентрації компонента на межі фаз (рівноважна) та в ядрі краплі, відповідно,  $\text{мг/м}^3$ ;  $D_m = z^2 \omega$  – коефіцієнт турбулентної дифузії, ;  $z$  – розмір зони масоперенесення, м;  $\omega$  – частота коливання граничного шару,  $\text{с}^{-1}$ .

Вважаємо, що конвективною складовою масообміну можна знехтувати. При цьому рішення рівняння (24) має такий вигляд:

$$\beta_p = \frac{2}{\pi} \omega^{1/2} D_p^{1/2}, \quad (25)$$

де  $D_p$  – коефіцієнт турбулентної дифузії всередині краплі.

Виражаючи частоту коливання граничного шару через енергію дисипації  $E$  в краплі:

$$\omega \approx \left( \frac{E}{v_p} \right)^{1/2} \quad (26)$$

де  $E = \frac{3}{4} \xi_{кр} \frac{\rho_c w_{кр}^3}{\rho_p d_{кр}} \Phi^2$  – енергія дисипації, Дж;  $\Phi$  – коефіцієнт форми краплі;

отримаємо вираз для визначення коефіцієнту масовіддачі в краплі рідини при деформації та коливанні поверхні краплі у високошвидкісному турбулентному потоці газу:

$$\beta_p = \frac{2}{\pi} \left( \frac{3}{4} \xi_{кр} \frac{\rho_c w_{кр}^3}{\rho_p v_p d_{кр}} \right)^{1/4} \Phi D_p^{1/2}. \quad (27)$$

Експериментальні дослідження масообміну в рідкій фазі проводилось у процесі

десорбції  $\text{CO}_2$  з води повітрям.

Дослідження показали, що за рахунок утворення в апараті з ПТВО високих газорідних шарів збільшується час перебування газу в контактній зоні, тому, на відміну від провальних тарілок з дрібними отворами, збільшення швидкості газу призводить до підвищення ефективності масопередачі важкорозчинних газів (рис.9). Також при збільшенні швидкості газу зростає частота подрібнення та коалесценції крапель. В момент утворення та розпаду крапель масообмін проходить з більшою інтенсивністю, ніж під час руху крапель. Крім того, при утворенні краплі, в її середині виникають вихорові токи, які сприяють відведенню забруднюючої речовини з граничного шару та оновленню поверхні контакту фаз. Всі ці фактори приводять до інтенсифікації процесу масоперенесення важкорозчинних газів. Збільшення щільності зрошування призводить до росту висоти газорідного шару та накопичення рідини в шарі, збільшення кількості крапель і поверхні контакту фаз. Стиснутий рух крапель призводить до підвищення частоти подрібнення і утворення крапель при ударах між собою, що сприяє оновленню поверхні контакту фаз і, як наслідок, збільшенню ефективності масовіддачі. Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 9.

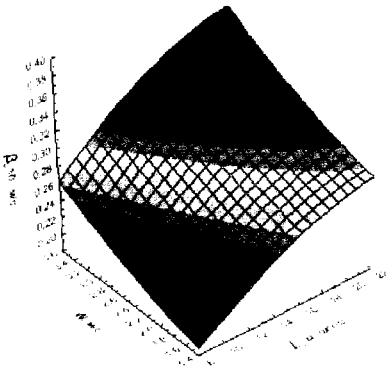


Рисунок 9 – Залежність коефіцієнта масовіддачі в рідкій фазі від швидкості газу й щільності зрошення в апараті

запропонованого теоретичного підходу, який базується на теорії оновлення, з урахуванням положень локально-ізотропної турбулентності, для визначення коефіцієнта масовіддачі в рідкій фазі.

Дослідження енергетичного фактору  $\beta_p/\Delta P$  при зміні швидкості газу показало, що для важкорозчинних газів значення коефіцієнта корисної дії збільшується із зростанням швидкості газу, тобто енергетичні витрати на проведення процесу компенсуються підвищенням ефективності процесу масообміну.

Для знаходження коефіцієнту масовіддачі в газовій фазі використовували гідродинамічну аналогію між масопередачею та тертям:

$$Nu' = \frac{\xi}{8} \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}^{0,5} \quad (29)$$

У результаті обробки експериментальних даних було отримано залежність для розрахунку коефіцієнта масовіддачі:

$$\beta_p = 0,405 w_s^{0,327} L^{0,35} \quad (28)$$

Порівняння даних розрахунку за рівнянням (27) для визначення коефіцієнта масовіддачі в краплі та експериментальних даних показало, що відхилення отриманих результатів становить 10-15%, що підтверджує дані про структуру газорідного шару в апараті з ПТВО та правомірність

де  $Nu'$  – дифузійний критерій Нуссельта,  $Re$  – критерій Рейнольдса,  $Pr'$  – дифузійний критерій Прандтля.

Для дисперсного крапельного потоку рідини вираз (29) запишемо у вигляді:

$$\frac{\beta_{zS} \cdot d_{кр}}{D_c} = \frac{\xi_{кр}}{8} \cdot \frac{w_{кр} \cdot d_{кр}}{\varphi \cdot v_c} \cdot \left( \frac{v_c}{D_c} \right)^{0,5}. \quad (30)$$

У результаті перетворення рівняння (30) з урахуванням режиму руху крапель та значень коефіцієнта опору краплі  $\xi_{кр}$ , отримали залежності для розрахунку коефіцієнта масовіддачі в газовій фазі  $\beta_{zS}$ :

при  $100 < Re_{кр} \leq 800$

$$\beta_{zS} = A \frac{w_{кр}^{0,2} \cdot \rho_c^{0,4} \cdot D_c^{0,5} \cdot v_c^{0,9}}{\sigma^{0,4} \cdot d_{кр}}; \quad (31)$$

при  $Re_{кр} > 800$

$$\beta_{zS} = B \frac{w_{кр}^{0,5} \cdot \rho_c \cdot D_c^{0,5} \cdot v_c}{\sigma^{0,4} \cdot d_{кр}^{0,9}}. \quad (32)$$

Обробкою експериментальних даних визначені коефіцієнти  $A=12,8$ ;  $B=615$ .

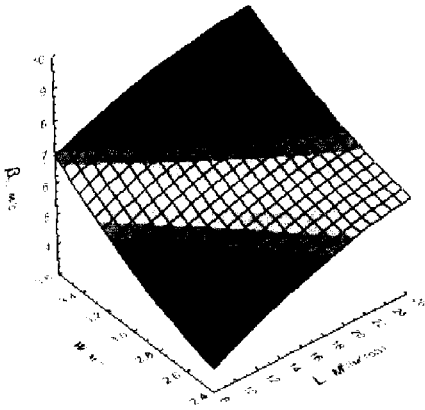


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнта масовіддачі в газовій фазі від швидкості газу й щільності зрошення в апараті

Експериментальні дослідження абсорбції легкокорозивних газів проводились на системі амоніак – вода. Встановлено, що найбільший вплив на ефективність абсорбції чинить швидкість газу (рис.10). Зростання коефіцієнта масовіддачі, в залежності від збільшення щільності зрошення, несуттєве і пояснюється в основному збільшенням шару рідини на полотні тарілки. При цьому зменшується газоміст  $\varphi$  і, відповідно, росте дійсна швидкість газу в газорідному шарі, що і призводить до росту коефіцієнта масовіддачі. Енергетичний фактор апарата мало залежить від швидкості газу. Це пояснюється утворенням високих газорідних шарів та виникненням великої поверхні контакту фаз, що призводить до

зростання інтенсивності процесу абсорбції та компенсації енергетичних втрат при збільшенні швидкості газу.

У результаті обробки експериментальних даних було отримано рівняння для визначення коефіцієнта масовіддачі в газовій фазі  $\beta_{zS}$ , м/с:



$$\beta_{c,s} = 0,74 w_s^{1,15} L^{0,325}, \quad (33)$$

$$\beta_{c,s} = 11,25 w_s^{-0,17} H^{0,23}, \quad (34)$$

де  $H$  – висота газорідного шару на тарілці.

Аналіз отриманих результатів показав, що коефіцієнти масовіддачі в рідкій і в газовій фазах апаратів з ПТВО більше, ніж у 2 рази перевищують коефіцієнти масовіддачі в апаратах з провальними тарілками з дрібними отворами, що свідчить про доцільність застосування апаратів цієї конструкції для інтенсифікації процесів газоочищення. Конструкція контактної пристрою сприяє виникненню інтенсивного вихорового руху взаємодіючих потоків в апараті, утворенню високих газорідних шарів, зростанню величини поверхні контакту фаз та швидкості її оновлення.

Дослідження ефективності пиловловлення в апараті з ПТВО проводилось в системі вода – пил  $TiO_2$ . Пил  $TiO_2$  характеризується високим кутом змочування та адгезійними властивостями, що під час контакту з рідиною призводить до налипання на внутрішніх поверхнях пилоочисних апаратів. Проведення досліджень у такій системі дозволило оцінити ефективність роботи апарата та його здатність до стійкої роботи.

Пиловловлення в апаратах з ПТВО відбувається за рахунок турбулентно-інерційного та турбулентно-дифузійного механізмів пилоосадження в залежності від дисперсності пилу. Тверді частинки осідають на плівку рідини на поверхні тарілок та поверхню крапель у газорідному шарі, при цьому збільшення ступеню очищення зумовлене динамічною висотою газорідного шару. Частинки твердої фази мають розмір значно менший за розмір турбулентних пульсацій потоку і тому втягуються у пульсаційний вихровий рух газового потоку, що призводить до збільшення ефективності пилоочищення. Основна частина дрібнодисперсного пилу в апаратах з ПТВО вловлюється завдяки турбулентно-дифузійному механізму. Виникнення розвинутої поверхні контакту фаз та турбулентних пульсацій у газорідному шарі сприяє збільшенню ефективності пилоочищення.

Результати досліджень показали (рис. 11), що максимальна ефективність пиловловлення у досліджуваному апараті становила 99,6% при швидкості газу 3,5 м/с та щільності зрошення 18-20 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>год). У результаті обробки експериментальних даних було отримано рівняння для визначення ефективності пилоочищення:

$$\eta = 29,15 w_s^{0,282} L^{0,307} \quad (35)$$

Дослідження енергетичного фактору процесу пиловловлення показали незначний вплив швидкості газу в апараті на цей параметр. Таким чином, енергетичні витрати компенсуються підвищенням ефективності пиловловлення.

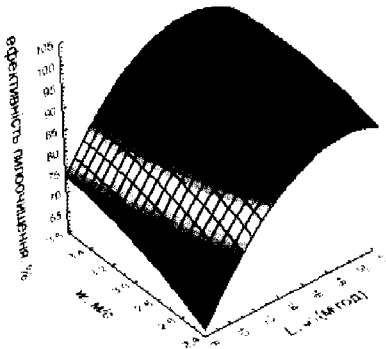


Рисунок 11 – Залежність ефективності пилоочищення в апараті з ПТВО від швидкості газу та щільності зрощення

рідини під впливом турбулентно-дифузійного механізму. Крупні частинки, які мають велику інерційність, осідають на краплях рідини під впливом турбулентно-інерційного механізму, зумовленого різною швидкістю руху частинок і крапель у газовому потоці. Розрахунки швидкості руху крапель в апараті з регулярною рухомою насадкою показали, що різниця в швидкостях газу та крапель рідини складає 4-5 м/с, що призводить до підвищення ефективності пиловловлення в апаратах з РРН.

Дослідження процесу пиловловлення в апараті з РРН дозволило виявити залежність ефективності від конструктивних та режимних параметрів апарата. Дослідження залежності ефективності пиловловлення від кроку розміщення насадкових тіл показали, що вертикальний та горизонтальний кроки розміщення насадки, при яких досягається найбільша ефективність процесу:  $t_v = 2,5d_n$ ,  $t_g = 4,5d_n$ .

Вивчення впливу режимних параметрів апарата з РРН на ефективність пиловловлення показало різну залежність інерційного та дифузійного механізмів пилоосадження від швидкості газу. Із зростанням швидкості газу збільшується відносна швидкість руху фаз, а також зменшується діаметр крапель, що утворюються у вихрових зонах апарата. Ці фактори призводять до зростання ефективності інерційного пиловловлення.

Для дифузійного механізму максимум ефективності спостерігається при швидкостях газу від 12 до 14 м/с. Подальше збільшення швидкості газу приводить до зростання сили інерції, що діє на частинку. Це призводить до зменшення ступеню захоплення частинок аерозолі турбулентними пульсаціями.

Дослідження залежності ефективності пиловловлення від питомого зрощення

Узагальнюючи дані експериментальних досліджень, потрібно відзначити позитивний вплив підвищення швидкості газу в апаратах з ПТВО на ефективність пиловловлення.

Експериментальні дослідження пиловловлення в апараті з ПТВО показали високу ефективність роботи апарата та стійку роботу, що дозволяє рекомендувати його для комплексного очищення відхідних газів.

В апаратах з регулярною рухомою насадкою реалізуються два механізми пилоосадження: турбулентно-інерційний і турбулентно-дифузійний – у залежності від густини і розміру частинок. Дрібні частинки, які характеризуються високим ступенем захоплення, осідають на поверхню

показує, що ефективність пиловловлення зростає до значення питомого зрошення  $m=1 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ . За умови  $m=(1-1,2) \text{ дм}^3/\text{м}^3$  питоме зрошення незначно впливає на ефективність пиловловлення.

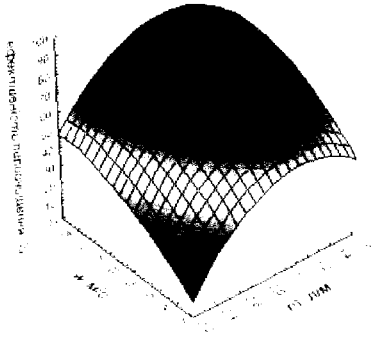


Рисунок 12 – Залежність ефективності пилоочищення в апараті з РРН від швидкості газу та щільності зрошення

У результаті обробки експериментальних даних (рис. 12) було отримано рівняння для визначення ефективності пилоочищення:

$$\eta = 13,172w_2^{0,772}m^{0,34}. \quad (36)$$

Отримані експериментальні дані дозволяють рекомендувати апарати з РРН, які працюють у режимі низхідної прямотечії, для уловлення крупнодисперсного пилу.

Таким чином, проведені теоретичні та експериментальні дослідження показали високу інтенсивність, низьку енергоємність та стійку роботу вибраних у результаті застосування розробленої методології конструкцій газоочисного

обладнання, що дозволяє рекомендувати їх для комплексного очищення відхідних газів промислових підприємств.

Формулювання завдання оптимізації режимних параметрів для апарата з ПТВО запишемо в наступному вигляді:

$$i = f(w_2, L) \Rightarrow \max. \quad (37)$$

Реалізація задачі оптимізації здійснювалась в програмному продукті WolframAlpha, із застосуванням методу простого випадкового пошуку.

Рішення оптимізаційної задачі дало наступні значення оптимальних режимних параметрів проведення процесу:  $w_2=3,5 \text{ м/с}$ ;  $L=20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

Для визначення оптимальних режимних параметрів проведення процесу в апараті з РРН використовували показник:

$$\Pi = \frac{i \cdot \eta}{\Delta P}. \quad (38)$$

Формулювання задачі оптимізації запишемо в такому вигляді:

$$\Pi = f(w_2, L) \Rightarrow \max. \quad (39)$$

Рішення оптимізаційної задачі дало результати:  $w_2=12 \text{ м/с}$ ;  $L_p=40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

У шостому розділі наведені результати дослідно-промислової апробації запатентованих конструкцій вискоелективного пилогазоочисного обладнання. Реалізація розробленої методології вибору пилогазоочисного обладнання проводилась на підприємствах теплоенергетики та хімічної промисловості. Проведені дослідно-промислові дослідження підтвердили високу ефективність

запропонованих конструкцій апаратів та стабільну роботу систем пилогазоочищення, що призводить до покращення якості атмосферного повітря та підвищення рівня екологічної безпеки.

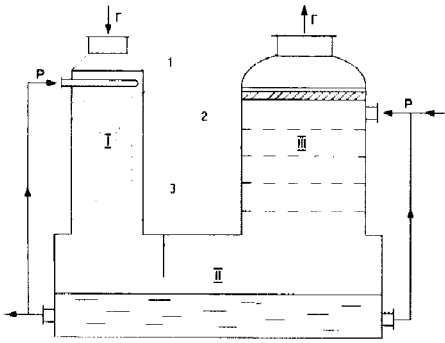


Рисунок 13 – Схема апарата: I – блок високоінтенсивного очищення; II – блок сепарації; III – блок тонкого очищення; 1 – регулярна рухома насадка; 2 – ПТВО; 3 – відбійник

Дослідно-промислові дослідження на Сумській ТЕЦ проводили при застосуванні розробленого пилогазоочисного апарата (патент № 57669). Апарат складається з трьох блоків (рис. 13) – високоінтенсивного очищення (БВО), сепарації (БС) і тонкого очищення (БТО).

БВО має циліндричний корпус діаметром 1,5 м і висотою 2,5 м, оснащений розподільними ґратами з вільним перетином  $0,87 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . У площі встановлена регулярна рухома насадка, закріплена на вертикальних струнах. Насадкові елементи діаметром 40 мм виготовлені з пористої гуми і кріпляться на струнах із кроком по горизонталі 100 мм і по вертикалі – 180 мм. БТО виконаний діаметром 3,5 м, висотою – 4,0 м і містить дві ПТВО з отворами діаметром 60 мм і вільним перетином  $0,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , крок тарілок по вертикалі – 1,4 м.

Продуктивність апарата –  $100 \text{ тис. м}^3/\text{год}$ .

Розроблений апарат включається в технологічну схему газоочищення замість золоуловлювача ВТИ з турбулентними коагуляторами Вентурі, в якому здійснюється очищення від золи з ефективністю 83 - 85%. В якості абсорбенту використовувалася 15% водна суспензія вапняку, рН суспензії 6 - 6,2, що дозволило проводити комплексне очищення газів від золи та сульфур (IV) оксиду. Запилений газ надходить у верхню частину БВО, який працює в режимі спадної прямотечії. Одночасно з подачею газу у верхню частину блоку через розподільний колектор подається абсорбент на зрошення. У результаті прямоточного контакту фаз відбувається грубе очищення газів, які відходять, від дрібнодисперсних і середньодисперсних частинок золи і сульфур (IV) оксиду. Після БВО високошвидкісний газорідний потік потрапляє в блок сепарації, де відбувається поділ фаз і інерційне осадження крупно дисперсних твердих частинок. У БТО, який працює в протитечійному режимі, відбувається остаточне доочищення викидних газів від твердих частинок і сульфур (IV) оксиду.

Застосування в досліджуваному апараті регулярної рухомої насадки та провальних тарілок великих отворів дозволяє уникнути заростання внутрішніх поверхонь гіпсом за рахунок реалізації інтенсивного гідродинамічного режиму. Це забезпечує високу ефективність та стійку роботу газоочисної установки. Застосування апарата дозволило підвищити ступінь очищення газів, які відходять, при зниженні металоємності устаткування й енергетичних витрат на проведення

процесу. Випробування показали, що запропонований апарат має ступінь очищення від сульфур (IV) оксиду 97-98,5 від твердих частинок 99 - 99,3%, гідравлічний опір складає 1500 Па і забезпечує стійку роботу за умов тривалої експлуатації (табл.1).

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика систем газоочищення

Найменування показників	Існуюча система	Розроблений апарат
Ефективність пилоочищення, %	83 - 85	99 - 99,3
Ефективність очищення від сульфур (IV) оксиду, %	-	97-98,5
Гідравлічний опір, Па	12500	1500

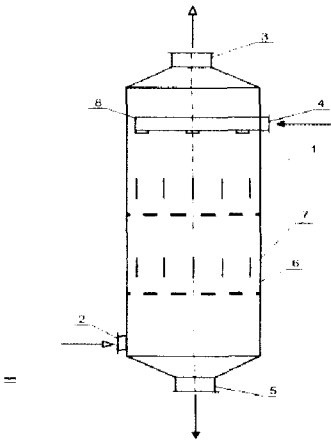


Рисунок 14 – Схема апарата:  
1 – корпус; 2 – вхід газу;  
3 – вихід газу; 4 – подача рідини;  
5 – виведення рідини;  
6 – тарілка; 7 – стабілізатор;  
8 – розподільний пристрій для рідини

Шлам, який утворюється в результаті очищення газів і містить сульфід кальцію і до 65% води, надходить у вакуум-фільтр для зневоднення. Можлива його переробка в матеріал для дорожнього будівництва, що включає попереднє окислення сульфїту в сульфат.

На Охтирській ТЕЦ для очищення відхідних газів від нітрогену (IV) оксиду застосовувався запатентований апарат (патент № 44700) (рис. 14) виконаний діаметром 2,4 м, висотою 5,0 м, який містить дві провальні тарілки з отворами 150 мм і вільним перерізом  $\tau$  21,5%. Продуктивність апарата – 100 тис. м<sup>3</sup>/год. Колона оснащена стабілізаторами, розміщеними в пінному шарі над тарілкою, з метою запобігання появі повздовжніх коливань газорідинного шару. З метою досягнення високої ефективності газоочищення нами запропоновано застосування в якості абсорбенту розчину діамінометаналу.

Результати дослідно-промислових досліджень наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Результати дослідно-промислових випробувань на Охтирській ТЕЦ

Температура відхідних газів	Концентрація на вході в апарат $C_{в}$ , мг/м <sup>3</sup>	Концентрація на виході із апарата $C_{к}$ , мг/м <sup>3</sup>	Ефективність очищення, %
96	600	33	94,5

На ПАТ «Сумихіпром» дослідно-промислові дослідження запатентованого апарата (патент № 44700) проводились з метою модернізації існуючих систем газоочищення на різних стадіях виробництва титану (IV) оксиду. Дослідження пилловловлення проводилося для двох видів пилу – ільменіту і титану (IV) оксиду.

Проведені дослідження показали високу ефективність очищення відхідних газів (94,5%) від пилу ільменіту та титану (IV) оксиду при стійкій роботі обладнання в режимі вторинного піноутворення. Результати дослідження ефективності пилловловлення наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати дослідно-промислових випробувань на ПАТ «Сумихіпром»

Вид пилу	Концентрація на вході в апарат $C_p$ , мг/м <sup>3</sup>	Концентрація на виході із апарата $C_v$ , мг/м <sup>3</sup>	Ефективність очищення, %
Пил TiO <sub>2</sub>	3000	24	99,2
Пил ільменіту	3000	12	99,6

Розроблений апарат пропонується включити в технологічну схему на стадіях сушіння та розмелу ільменіту, прожарювання, сушки та розмелу титану (IV) оксиду виробництва титану (IV) оксиду замість існуючого пилоочисного обладнання.

Еколого-економічний ефект від застосування високоінтенсивного газоочисного обладнання запатентованих конструкцій становить: по Сумській ТЕЦ – 2 282 666,26 грн; Охтирській ТЕЦ – 977 812,71 грн; ПАТ «Сумихіпром» – 75 391,95 грн.

Таким чином, випробуваннями дослідно-промислових установок в умовах очищення газових викидів неоднорідного компонентного складу підприємств теплоенергетики та хімічної промисловості, підтверджена висока ефективність і можливість комплексного очищення відхідних газів на основі інтенсифікації процесів газоочищення за рахунок вибору оптимальних режимних параметрів проведення процесу. Проведені дослідження показали ефективність застосування розробленої методології вибору газоочисного обладнання для зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря та підвищення рівня екологічної безпеки.

### Висновки

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-технічну проблему – розроблено наукові засади підвищення рівня екологічної безпеки промислових підприємств та поліпшення якості атмосферного повітря населених пунктів при удосконаленні систем газоочищення. Отримані результати дали можливість обґрунтувати вибір, дослідити та впровадити високоефективні конструкції газоочисного обладнання для комплексного очищення відхідних газів – апарати з регулярною рухомою насадкою та апарати з провальними тарілками великих отворів.

1. Розглянуті основні компоненти управління екологічною безпекою при забрудненні атмосферного повітря відхідними газами промислових підприємств. Для оцінки стану екосистем та здоров'я людини при забрудненні атмосферного повітря введене поняття «поріг техногенного впливу». Показано, що одним із факторів, які сприяють досягненню прийняттого рівня екологічної безпеки, є впровадження природоохоронних заходів щодо удосконалення газоочисного обладнання.

2. Проведене прогнозування впливу газопилових викидів промислових підприємств на стан екологічної безпеки населених пунктів шляхом розробки математичних моделей розсіювання шкідливих речовин на основі рівняння конвективної дифузії. Урахування опору житлової забудови та дисперсності пилу дозволило отримати вирази для визначення концентрації забруднюючих речовин та підтвердило необхідність розробки природоохоронних заходів щодо зменшення концентрації шкідливих речовин у відхідних газах промислових підприємств для забезпечення екологічної безпеки атмосферного повітря населених пунктів.

3. Проведений системний аналіз факторів впливу на стан екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря, що дозволило при розгляді факторів впливу на велику систему «екологічна безпека» виявити місце конкретного природоохоронного процесу в забезпеченні рівня екологічної безпеки та визначити шляхи оптимізації процесів газопилоочищення. В якості параметра оптимізації прийнято інтенсивність процесу, що дозволило виявити фактори, які враховуються при виборі газоочисного обладнання: гідродинамічний режим та конструктивні особливості апарата.

4. На основі проведеного аналізу розроблена методологія вибору пилогазоочисного обладнання для очищення відхідних газів промислових підприємств, яка враховує вимоги підприємств-споживачів і підприємств-виробників газоочисного обладнання, а також сучасний рівень наукових розробок, дозволяє сформулювати блок основних завдань та виробити шляхи їх реалізації. Розроблена класифікація газоочисного обладнання, при використанні гідродинамічних та конструктивних параметрів інтенсифікації газоочисних процесів, а також енергетичних витрат на проведення процесу, дозволила виявити позитивні ознаки апаратів з вихоровою та швидкісною взаємодією потоків і вибрати для дослідження апарати з ПТВО та РРН.

5. Врахування кінетичних параметрів оптимізації процесу газоочищення дозволило розробити вимоги до вибору абсорбенту. Розроблена математична модель процесу хемосорбції, яка з використанням положень плівкової теорії дозволила отримати вирази для визначення концентрації абсорбенту по висоті контактної зони та для визначення фактору інтенсифікації процесу абсорбції при протіканні хімічної реакції.

6. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження апаратів з ПТВО та РРН показали їх високу ефективність та низьку енергоємність, що свідчить про правильність розроблених положень методології вибору газоочисного обладнання та застосування критеріїв оптимізації. У результаті проведених досліджень встановлені робочі режими роботи апаратів, вплив гідродинамічних та конструктивних параметрів на ефективність процесів газоочищення та

пиловловлення. Отримані регресійні залежності впливу режимних та конструктивних параметрів на ефективність процесів пилогазоочищення в апаратах з ПТВО; залежності ефективності пиловловлення від горизонтального та вертикального кроку розташування насадкових тіл в апараті з РРН. Отримані теоретичні залежності для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі в рідкій та газовій фазах на основі використання гідродинамічної аналогії між тертям та масоперенесенням, дисипативного підходу, моделі короткочасного контакту фаз.

7. За результатами досліджень отримано два патенти України на конструкції пилогазоочисних апаратів. Реалізація розробленої методології вибору газоочисного обладнання та запатентованих конструкцій пилогазоочисного обладнання проводилась на Сумській ТЕЦ, Охтирській ТЕЦ та на ПАТ «Сумхімпром», у системі пилоочищення виробництва титану (IV) оксиду. Результати дисертаційних досліджень передані до ДП «Український науково-технічний центр «Енергосталь», м. Харків, Державного науково-дослідного і проєктного інституту основної хімії «НЮХІМ», м. Харків та ПрАТ Інститут «Суміпроект».

### Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Сучасні напрями підвищення екологічної безпеки виробництва соди: монографія / В.П. Шаповров, М.А. Цейтлін, В.Ф. Райко, Л.Л. Гурець та ін. – Суми: Сумський державний університет, 2014. – 246 с.

(Особистий внесок здобувача – огляд сучасних тенденцій у вдосконаленні абсорбційного обладнання содового виробництва, дослідження апаратів з ПТВО).

2. Гурець Л. Газоочистное оборудование для комплексной очистки газов / Л. Гурець, И. Козий, Д. Пляцук. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 57 с.

(Особистий внесок здобувача – методологія вибору газоочисного обладнання; модель масовіддачі в рідкій фазі).

3. Пляцук Л.Д. Очистка отходящих газов в производстве суперфосфата/ Л.Д. Пляцук, О.М. Кетанех, Л.Л. Гурець, Д.О. Лазненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – Вип. 16, № 5. – С. 57–59.

(Особистий внесок здобувача – вибір абсорбенту для абсорбції фтористих газів).

4. Пляцук Л.Д. Очистка отходящих газов от соединений фтора / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, Д.О. Лазненко, О. М. Кетанех // Вісник СумДУ. – 2003. – Вип. 49, № 3. – С. 121–126.

(Особистий внесок здобувача – математична модель для визначення фактору інтенсифікації масообміну при протіканні хімічної реакції).

5. Пляцук Л.Д. Гидродинамика аппарата для мокрой пылегазоочистки / Л.Д. Пляцук, О.М. Кетанех, Л.Л. Гурець, Д.О. Лазненко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2003. – Вип. 21, № 4. – С. 181–182.

(Особистий внесок здобувача – залежності для розрахунку гідравлічного опору запатентованого апарата).

6. Пляцук Л.Д. Производство гранулированного суперфосфата. Защита окружающей среды от пылевых выбросов / Л.Д. Пляцук, Д.А. Лазненко, Л.Л. Гурець,



Кетенех Осама Мостафа Махмуд // Хімічна промисловість України. – 2003. – Вип. 56, № 3. – С. 9 – 12.

(Особистий внесок здобувача – дослідження ефективності пилоочищення в апаратах з РРН).

7. Пляцук Л.Д. Зниження рівнів екологічних ризиків – умова раціонального природокористування / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, О.А. Положий // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – Вип. 6, № 41. – С. 127–129.

(Особистий внесок здобувача – визначення екологічних ризиків при впливі промислових підприємств).

8. Гурець Л.Л. Комплексний підхід до очищення газів, що відходять, у апаратах з регулярною рухомою насадкою/ Л.Л. Гурець // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – Вип. 1, № 42, ч.1. – С. 132 –133.

9. Гурець Л.Л. Очистка промислових газів в апаратах із провальними тарілками великих отворів / Л.Л. Гурець, І.С. Козій // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – 2008. – № 5 (52), ч.2. – С. 162 – 164.

(Особистий внесок здобувача – проведений огляд даних по гідродинаміці апаратів з ПТВО, обґрунтовано застосування апаратів цього класу для комплексного очищення газів).

10. Пляцук Л.Д. Експериментальні дослідження гідродинаміки провальних тарілок великих отворів / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, І.С. Козій // Вісник СумДУ. – 2009. – № 1. – С. 61–66.

(Особистий внесок здобувача – дослідження структури газорідного шару, режимів роботи апарата).

11. Гурець Л.Л. Вибір вискоефективного газоочисного обладнання з метою запобігання забрудненню атмосфери / Л.Л. Гурець // Екологічна безпека. – Вип. 2/2009 (6). – С. 69–72.

12. Козій І.С. Паспортизація пилу двоокису титану та пошук шляхів для зменшення його втрат на ВАТ «Сумхімпром» / І.С. Козій, Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, С.В. Вакал // Вісник КДПУ ім. М.Остроградського – 2009. – № 6 (59). – С. 193–195.

(Особистий внесок здобувача – дослідження джерел пилоутворення в процесі виробництва двоокису титану та характеристик пилу).

13. Козій І.С. Расчет высоты газожидкостного слоя в аппарате с провальными тарелками больших отверстий / И.С. Козий, Л.Л. Гурець, А.А. Чаплыгин // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 61–67.

(Особистий внесок здобувача – регресійне рівняння для визначення висоти шару рідини).

14. Козій І.С. Дослідження ефективності пилоочищення в апараті з провальними тарілками великих отворів / І.С. Козій, Л.Л. Гурець // Вісник КДПУ ім. М.Остроградського – 2010. – № 6 (65). – С. 160–162.

(Особистий внесок здобувача – дослідження ефективності пиловловлення в апараті з ПТВО).

15. Гурець Л.Л. Масообмін при хемосорбції відхідних газів / Л.Л. Гурець, Л.Д. Пляцук // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2011. – № 1. – С. 58–61.

(Особистий внесок здобувача – розробка моделі хемосорбції в апаратах з ПТВО).

16. Гурець Л.Л. Дослідження впливу пилових викидів виробництва двоокису титану / Л.Л. Гурець, І.С. Козій // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – № 4. – С. 180–185.

(Особистий внесок здобувача – аналіз систем газоочищення виробництва титану (IV) оксиду на ПАТ «Сумхімпром». Визначені характеристики пилу ільменіту).

17. Козій І.С. Моделювання розсіювання дрібнодисперсного пилу в атмосфері від стаціонарних джерел забруднення / І.С. Козій, Л.Л. Гурець, О.П. Будьоний // Вісник НТУ «ХП». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – 2012. – № 66 (972). – С. 114 – 118.

(Особистий внесок здобувача – розробка математичної моделі розсіювання дрібнодисперсного пилу).

18. Гурець Л.Л. Моделювання розсіювання забруднюючих речовин з урахуванням міської забудови / Л.Л. Гурець // Екологія и промисленность. – 2013. – № 4. – С. 96-98

19. Гурець Л.Л. Абсорбція добре розчинних газів в апаратах з провальними тарілками великих отворів / Л.Л. Гурець // Екологічна безпека. – 2/2013(16). – С. 74–77.

20. Козій І.С. Аналіз гідродинамічних і пиловловлюючих характеристик апарата з провальними тарілками / І.С. Козій, Л.Л. Гурець, І.О. Трунова, Т.В. Курбет // Вісник ЖДТУ. – 2013. – № 4 (67). – С. 120 – 125.

(Особистий внесок здобувача – фізична модель гідродинаміки апарата з ПТВО в режимі вторинного піноутворення).

21. Гурець Л.Л. Гідродинамічні характеристики апаратів з регулярно рухомою насадкою / Л.Л. Гурець // Вісник КрНУ ім Остроградського. – 2014 – вип. 6/(89), ч.1. – С. 166–170.

22. Гурець Л.Л. Оцінка ефективності газоочищення на основі визначення коефіцієнта масовіддачі у краплі рідини в апаратах з вихровим рухом газового потоку // Екологія и промисленность. – 2015. – №2. – С. 46–48.

23. Pliatsuk L. D. Industrial research studies of gas treatment device with a large hole sieve trays / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, І.С. Козій, Р.А. Васькін // Науковий вісник НГУ. – 2016. – № 3 – С. 95 – 100.

(Особистий внесок здобувача – дослідно-промислове впровадження апарата з ПТВО).

24. Пляцук Л.Д. Методология исследования и выбора пылегазоочистного оборудования / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1(18). – С. 144 – 148.

(Особистий внесок здобувача – методологія вибору газоочисного обладнання).

25. Шмандій В.М. Алгоритм розрахунку техногенного навантаження від викидів забруднюючих речовин в атмосферу/ В.М. Шмандій, Д.Л. Пляцук, Л.Л. Гурець // Науковий журнал «Science Rise». – 2015. – том 5, № 2. – С. 43 – 48.

(Особистий внесок здобувача – обґрунтування етапів дослідження впливу промислових підприємств на якість атмосферного повітря).

26. Гурець Л.Л. Застосування системного аналізу для вибору газочисного обладнання / Л.Л. Гурець // Первый независимый научный вестник. – 2016. – № 9–10 – С. 94–98.

27. Пляцук Л.Д. Підвищення якості атмосферного повітря на основі управління екологічною безпекою промислового підприємства/ Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець // Sciences of Europe. – 2016. – VOL 1, No 3. – р. 62–66.

(Особистий внесок здобувача – схема управління екологічною безпекою атмосферного повітря в системі «населений пункт – промислове підприємство»).

28. Деклараційний патент на винахід № 57669 А Україна, МКИ В 01 D 47/02. Апарат для мокрого очищення газів / Пляцук Л.Д., Лазненко Д.О., Гурець Л.Л., Осама Мостафа Махмуд Кетанех; заявник та утримувач патенту Сумський державний університет. – № 2002108337; заявл. 22.10.2002; опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6.

(Особистий внесок здобувача – конструкція пілогозоочисного апарата, який поєднує позитивні ознаки апаратів з РРН та з ПТВО).

29. Пат. на корисну модель № 44700 Україна, МПК (2009) B01D47/04. Пінний апарат / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, І.С. Козій; заявник та утримувач патенту Сумський державний університет. – № a200900337; заявл. 19.01.09; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15.

(Особистий внесок здобувача – конструкція стабілізатора пінного шару).

30. Пляцук Л.Д. Гідродинамика апаратів с контактними елементами провального типа / Л.Д. Пляцук., Л.Л. Гурец // Труды Международной научно-практической конференции «Современные проблемы инновационных технологий в образовании и науке», т. 1. Химия, технология – Республика Казахстан, г. Чимкент, 2009. – С. 43 – 48.

(Особистий внесок здобувача – огляд наукових досліджень стосовно гідродинамічних характеристик апаратів з ПТВО).

31. Гурець Л.Л. Розсіювання шкідливих речовин в умовах міської забудови / Л.Л. Гурець, І.М. Гурець // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Екологія міст та рекреаційних зон». Одеса, 3–4 червня 2010 р. – С.79–82.

(Особистий внесок здобувача – визначення факторів впливу на розсіювання, математична модель розсіювання забруднюючих речовин).

32. Гурец Л.Л. Принципы выбора газоочистного оборудования / Л.Л. Гурец, Д.С. Романенко // Сборник докладов Международной молодежной научной конференции «Экология и рациональное природопользование агропромышленных регионов»: Белгород, 12–14 ноября 2013 г. – ч.1., С. 106–109.

(Особистий внесок здобувача – техніко-екологічні вимоги до вибору газоочисного обладнання).

33. Гурец Л.Л. Оценка техногенной нагрузки с учетом порога техногенного воздействия /Л.Л. Гурец, Д.Л. Пляцук // Научное издание. Актуальные проблемы инженерных наук в области промышленности, экологии и охраны водных ресурсов: сб. научн. тр. II Междунар. научн.-практ. конф. – Пенза: ПГУАС, 2013. – С.212–216.

(Особистий внесок здобувача – розробка поняття «поріг техногенного впливу», яке базується на стійкості екосистем до впливу промислових підприємств).

34. Гурець Л.Л. Масоперенесення в краплі рідини при вихровому русі газового потоку/ Л.Л. Гурець // КАЗАНТИП-ЕКО-2014. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго-, ресурсосбережения: сборник трудов XXII Межотраслевой научно-практической конференции: в 2 т. Т.2 / ГП «УкрНТЦ «Енергосталь». – Х.:НТМТ, 2014. – С. 118–121.

35. Гурець Л.Л. Визначення гідравлічного опору в апаратах в крупнодірчастими тарілками / Л.Л.Гурець, І.С. Козій // М-ли науково-технічної конф. викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – С. 119.

(Особистий внесок здобувача – експериментальні дослідження по визначенню гідравлічного опору апаратів з ПТВО).

36. Гурець Л.Л. Очистка газових викидів при виробництві двоокису титану/ Л.Л. Гурець // М-ли науково-технічної конф. викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету ТеСЕТ – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – С. 79.

37. Козій І.С. Исследование гидродинамики пылеочистных аппаратов/ И.С. Козий, Л.Л. Гурець // Матеріали міжнародної конференції аспірантів та студентів – Донецьк, 14–16 квітня 2009 р. – С. 11–12.

(Особистий внесок здобувача – схема експериментального стенда та методика дослідження гідродинамічних характеристик апарата з ПТВО).

38. Гурець Л.Л. Оцінка впливу промислового підприємства на навколишнє середовище/ Л.Л. Гурець // Матеріали V Міжнародної ювілейної науково-практичної конференції «Екологія. Економіка. Енергозбереження». – Суми, 2009. – С.48

39. Пляцук Л.Д. Очищення газових викидів в апаратах з провальними тарілками великих отворів/ Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець // Матеріали VI Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов» – Харьков: Независимое агентство экологической информации, 2009. – С.131–133.

(Особистий внесок здобувача – дослідження структури пінного шару в апаратах з ПТВО).

40. Гурець Л.Л. Програми контролю за станом навколишнього середовища / Л.Л. Гурець, І.М. Гурець // Матеріали Всеукраїнської міжвузівської науко-технічної конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві». Суми, 19 –23 квітня 2010 р. – С. 121–122.

(Особистий внесок здобувача – огляд комп'ютерних програм для контролю стану атмосферного повітря)

41. Гурець Л.Л., Будьоний О.П. Забруднення атмосфери підприємствами хімічної промисловості/ Л.Л. Гурець, О.П. Будьоний // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Карпатська конференція з проблем охорони довкілля» “Carpathian environmental conference” – СЕС-2011, 15 – 18 травня 2011 р. – С. 7.

(Особистий внесок здобувача – аналіз викидів шкідливих речовин основними виробництвами хімічної промисловості).

42. Гурець Л.Л. Забруднення довкілля газопиловими викидами промислових підприємств / Л.Л. Гурець // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції за участю молодих науковців «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» 16–18 жовтня 2013, Харків. – С. 185–188.

43. Гурець Л.Л. Захист атмосфери від викидів промислових підприємств/ Л.Л. Гурець // Міжвузівська науково-практична конференція студентів, аспірантів і молод.вчених «Екологічний розвиток країни в рамках Європейської інтеграції» – Житомир: ЖДТУ, 2014. – С.15–16.

44. Гурець Л.Л. Комплексне очищення газів у апаратах з інтенсивним гідродинамічним режимом / Л.Л. Гурець, Я.П. Паляничка // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали та програма III Всеукраїнської міжвузівської конференції (Суми, 22–24 квітня 2014 р.), ч. 2. – С. 52–53.

(Особистий внесок здобувача – фізична модель взаємодії фаз в апараті з РРН).

45. Гурець Л.Л. Аналіз ефективності пилоочисного обладнання хімічного підприємства / Л.Л. Гурець, О.В. Білокур// Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ресурсозбереження і хіміко-екологічні проблеми технологічних процесів». – Харків, 10–12 листопада 2014 р. – С. 15 – 17.

(Особистий внесок здобувача – аналіз ефективності систем пилоочищення в основних виробництвах ПАТ «Сумхімпром»).

46. Гурець Л.Л. Системний підхід до управління екологічною безпекою/ Л.Л. Гурець // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки». – Кременчук, 6–8 жовтня 2015 р. – С. 60.

47. Гурець Л.Л. Аналіз пилогазоочищення виробництва гранульованого суперфосфату / Л.Л. Гурець, О.В. Білокур // Сучасні технології у промисловому виробництві: м-ли наук.-техн. конф. викладачів, співробітників, аспірантів і студ. фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, 14–17 квітня 2015 р.) – Суми : СумДУ, 2015. – Ч.2. – С. 178.

(Особистий внесок здобувача – аналіз ефективності систем газоочищення у виробництві гранульованого суперфосфату).

48. Пляцук Л.Д. Процеси та апарати природоохоронних технологій. Теоретичні основи: підручник / Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець. – Суми: Університетська книга, 2011. – 270 с.

(Особистий внесок здобувача – класифікація та характеристика основних видів забруднення, методів та процесів захисту довкілля; теоретичні основи гідромеханічних, масообмінних процесів).

49. Специальное оборудование и процессы неорганической химии: учебник / Л.Л. Гурец, Л.Д. Пляцук, В.Ф. Моисеев, Е.В. Манойло, И.В. Питак, Л.И. Волошина, Р.А. Васькин. – Сумы: Сумский государственный университет, 2015. – 360 с.

(Особистий внесок здобувача – розгляд виробництва мінеральних солей, добрив та лугів, основи промислової екології).

50. Теорія систем в екології: підручник / Ю.Г. Масікевич, О.В. Шестопапов, А.А. Негадайло, Л.Д. Пляцук, Л.Л. Гурець, Р.А. Васькін. – Суми: Сумський державний університет, 2015. – 330 с.

(Особистий внесок здобувача – основні положення загальної теорії систем, методологія системного аналізу доквілля).

### АНОТАЦІЯ

**Гурець Л.Л.** Науково-методологічні основи екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря газопиловими викидами промислових підприємств. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу Міністерства освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми зниження техногенного навантаження від пилогазових викидів промислових підприємств шляхом застосування високоінтенсивного газоочисного обладнання. Розглянуті принципи управління екологічною безпекою атмосферного повітря в системі «населений пункт – промислове підприємство».

З метою прогнозування впливу промислових підприємств на атмосферне повітря населених пунктів розроблені математичні моделі розсіювання забруднюючих речовин, які враховують параметри міської забудови. За результатами системного аналізу факторів впливу на стан екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря та математичного моделювання оптимізації процесу газоочищення прийнято в якості критерію оптимізації інтенсивність процесу.

Розроблена методологія вибору газоочисного обладнання при врахуванні критерію оптимізації дала можливість виділити конструкції високоінтенсивного газоочисного обладнання для комплексного очищення відхідних газів – апарати з црвальними тарілками великих отворів та з регулярною рухомою насадкою. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень апаратів отримані залежності для визначення режимних та конструктивних параметрів процесу газоочищення. Дослідно-промислові дослідження апаратів підтвердили високу ефективність та стійку роботу запатентованого обладнання.

**Ключові слова:** екологічна безпека, атмосферне повітря, промислове підприємство, методологія, газоочисне обладнання, ефективність очищення.

### АННОТАЦИЯ

**Гурець Л.Л.** Научно-методологические основы экологической безопасности при загрязнении атмосферного воздуха газопылевыми выбросами промышленных предприятий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа Министерства образования и науки Украины, Ивано-Франковск, 2017.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы снижения техногенной нагрузки от пылегазовых выбросов промышленных предприятий путем применения высокоинтенсивного газоочистного оборудования.

Рассмотрены принципы управления экологической безопасностью в системе «населенный пункт – промышленное предприятие» при загрязнении атмосферного воздуха отходящими газами промышленных предприятий.

Проведено прогнозирование влияния газопылевых выбросов промышленных предприятий на состояние экологической безопасности городов путем разработки математических моделей рассеивания вредных веществ с учетом сопротивления жилой застройки и дисперсности пыли. В результате моделирования получено уравнение для определения концентрации мелкодисперсной пыли на различных расстояниях от источника загрязнения.

Рассмотрены взаимосвязи между составляющими системы «экологическая безопасность – загрязнение атмосферного воздуха», выявлено место природоохранных процессов в обеспечении заданного уровня экологической безопасности, что позволило в дальнейшем разработать методические подходы к выбору газоочистного оборудования, приняв в качестве критерия интенсивность газоочистного аппарата. Предложенная методология выбора и исследования пылегазоочистных аппаратов включает этапы разработки и реализации, учитывает требования предприятий-потребителей и предприятий по выпуску газоочистного оборудования и базируется на анализе современных конструкций аппаратов. На основе разработанной методологии выбраны конструкции высокоэффективного пылегазоочистного оборудования – аппараты с провальными тарелками больших отверстий и с регулярной подвижной насадкой и проведены исследования гидродинамических характеристик, пылеулавливания, массообмена в выбранных аппаратах.

Приведена классификация факторов, влияющих на выбор абсорбента с точки зрения экологических и экономических аспектов, и найдено выражение для нахождения фактора интенсификации абсорбции и коэффициента массоотдачи при протекании химической реакции.

В результате проведенных исследований гидродинамики аппарата с провальными тарелками больших отверстий определено рабочий режим работы аппарата при скорости газа  $w_g = 2,5-3,5$  м/с и плотности орошения  $L = 15-20$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч), который соответствует режиму вторичного пенообразования. Полученные регрессионные зависимости для определения гидравлического сопротивления и высоты слоя пены в режиме вторичного пенообразования. Разработаны математические модели для расчета коэффициентов массоотдачи в газовой и жидкой фазах при учете диссипации энергии вихревого движения газа. Исследование зависимости эффективности пылеулавливания показали, что наибольшая эффективность процесса достигается при реализации режима одновременного вихреобразования.

По результатам исследований получено два патента Украины на конструкции пылегазоочистных аппаратов. Реализация разработанной методологии выбора газоочистного оборудования и запатентованных конструкций пылегазоочистного оборудования проводилась на предприятиях теплоэнергетики и химической промышленности Украины. Опытные-промышленные испытания аппаратов подтвердили высокую эффективность и устойчивую работу запатентованного оборудования.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, атмосферный воздух, промышленное предприятие, методология, газоочистное оборудование, эффективность очистки.

### SUMMARY

**Hurets L.L.** Scientific and methodological foundations of ecological safety in air pollution of gas and dust emissions of industrial enterprises. – Manuscript.

Thesis for the academic degree of the Doctor of Engineering Science in specialty 21.06.01 – Environmental Safety. – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas of Ministry of education and science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2017.

The thesis is devoted to the solving scientific and applied problems of reducing anthropogenic impact of dust and gas industrial emissions by application of high-intensity gas-cleaning equipment. The principles of environmental safety of air in the system point - an industrial plant are reviewed.

Mathematical models of pollutants dispersion that taking into account the parameters of urban development have been developed with the purpose of forecasting the impact of industrial enterprises on the atmospheric air of settlements. Process intensity has been taken as a criterion optimization in the result of the system analysis of factors impact on environmental safety of air pollution and mathematical modeling of gas cleaning process optimization.

Developed methodology of selection of gas cleaning equipment has provided an opportunity to highlight the high-intensity gas-cleaning equipment designed for complex purification of exhaust gases when taking into account the optimization criterion – devices with impingement plates with large holes and with regular movable nozzle. Dependencies for determination of operating and design parameters of the gas purification have been obtained in the result of theoretical and experimental researches of devices. Industrial research of devices has confirmed the high efficiency and stable operation of the patented equipment.

**Keywords:** environmental safety, atmospheric air, industrial enterprise, methodology, gas-cleaning equipment, cleaning efficiency.



Гурець Лариса Леонідівна

**Науково-методологічні основи екологічної безпеки  
при забрудненні атмосферного повітря газопиловими викидами  
промислових підприємств**

Підписано до друку

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,9. Обл - вид. арк. 1,9. Наклад 120 прим. Замовлення № 213.

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.