

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ
ПРОВАЛЬНИХ ТАРІЛОК ВЕЛИКИХ ОТВОРІВ**

Л.Д. Пляцук, д-р техн. наук, професор;

Л.Л. Гурець, канд. техн. наук, доцент;

І.С. Козій, аспірант

Сумський державний університет, м. Суми

В статье рассмотрена проблема разработки и внедрения высокоэффективного газоочистного оборудования. Приведены исследования гидродинамики аппарата с крупнодырчатыми провальными тарелками на экспериментальной установке. Аппараты с такой конструкцией контактных устройств отвечают требованиям комплексной санитарной очистки газов при изменении свойств жидкости, которая поглощает твердую фазу, и имеют широкий, стабильный режим работы по скорости газа.

У статті розглянуто проблему розроблення й впровадження високоефективного газоочисного обладнання. Наведені дослідження гідродинаміки апарата з провальними тарілками великих отворів на експериментальній установці. Апарати з такою конструкцією контактних пристроїв відповідають вимогам комплексного санітарного очищення газів при зміні властивостей рідини, що поглинає тверду фазу, й мають широкий стабільний режим роботи за швидкістю газу.

Промислове виробництво є одним із найважливіших чинників, які негативно впливають на довкілля та атмосферу зокрема. Основними напрямками діяльності, спрямованої на стабілізацію стану повітряного басейну в Україні, є зменшення викидів від стаціонарних джерел забруднення. У серпні 2008 року середньомісячні концентрації перевищували ГДК щодо пилу в 26 містах, де проводилися систематичні спостереження за забрудненням атмосферного повітря на стаціонарних постах. Найбільші рівні концентрацій пилу зафіксовано в атмосферному повітрі міст Східного регіону – Алчевськ, Макіївка, Держинськ, м. Горлівка, м. Єнакієве, м. Маріуполь; Центрального регіону – м. Кривий Ріг, м. Дніпропетровськ, м. Кременчук, м. Полтава; Західного регіону – м. Хмельницький; Південного регіону – м. Армянськ, м. Ялта; Північного регіону – м. Суми [1].

Ситуація із забрудненням атмосферного повітря ускладнюється великим обсягом газопилових викидів, необхідністю очищати гази, що викидаються, як від пилу, так і від різних хімічних сполук. Як показує досвід експлуатації газоочисного обладнання, не завжди пилогазові викиди представлені лише твердою й газоподібною фазою, часто це трифазна система: газ – рідина – тверда фаза, що ускладнює процес очищення через забивання обладнання [2].

Тому розроблення та впровадження високоефективного газоочисного обладнання є проблемою, яка стоїть перед науковцями та промисловістю України.

Вимогам комплексного очищення забруднених пилом газів у природоохоронних технологіях відповідають апарати з провальними тарілками великих отворів (ПТВО), які дозволяють проводити процес пилогазоочищення за відсутності забивання устаткування, низьких енерговитрат та металомісткості устаткування.

При розробленні процесів і апаратів для природоохоронних технологій необхідними стадіями проектування є побудова початкової

моделі, розроблення і перевірка прийнятих рішень на дослідницькій або напівпромисловій установці.

Відомо, що однією з основних проблем при моделюванні і проектуванні апаратів з великою площею контакту фаз є проблема масштабного переходу, яка полягає в зниженні ефективності устаткування зі збільшенням його розмірів. Масштабний ефект має складну природу й обумовлений, головним чином, збільшенням нерівномірності розподілу фаз на промисловому контактному пристрої у порівнянні з лабораторним макетом. Зменшити вплив масштабного переходу дозволяє проведення досліджень на експериментальних стендах великих розмірів.

Тому експериментальні дослідження проводилися на стенді такими розмірами: висота 1500 мм, довжина 300 мм, ширина 250 мм. Колона мала дві стінки, що виготовлені з органічного скла, що давало можливість проводити фото- та відеозйомку, розподільні пристрої для подачі газу та рідини в колону. При вивченні гідродинаміки ПТВО і для складання фізичної моделі взаємодії фаз більш доступним є розгляд елементарного акту процесу – вхід газу в рідину через одинарний або обмежену кількість отворів великого діаметра. В роботі [3] показано, що інтенсивність очищення газу визначається роботою одного отвору і залежить від маси газу, що виходить з нього. Це свідчить про можливість використання одинарного отвору для узагальнення закономірностей роботи ПТВО. В колоні встановлювали тарілки розміром 250x300 мм, виготовлені з листового металу товщиною 2 мм, з отворами 90, 120, 150 мм, вільний перетин яких становив 8,5, 15, 23,5% відповідно.

Схема експериментальної установки щодо вивчення гідродинаміки провальних тарілок великих отворів наведена на рис. 1. Як рідина для зрошення використовувалася вода. Як газ застосовувалося повітря, що нагніталось вентилятором.

Подача повітря на установку здійснювалася відцентровим вентилятором 8 (ВВД-9). Регулювання витрати газу проводилося шляхом зміни ступеня відкриття засувки 13 та за допомогою комплексу приладів 10, що встановлені на лінії подачі повітря на установку.

Вода на установку подавалася з водопровідної мережі в напірну ємність 6 і під час роботи циркулювала замкнутим контуром. Для вимірювання витрати води використовувався ротаметр 12 (РС-7). Регулювання витрати проводили за допомогою зміни ступеня відкриття вентиля 15.

Перепад тиску на досліджуваних тарілках реєструвався диференціальним напороміром 11 (ДСЕН-МІ 0-5 мА), а висоту шару піни вимірювали за шкалою, нанесеною на стінці стенда, що виконана з органічного скла. Кількість утримуваної рідини (КУР) визначали методом відсічення. При цьому одночасно припиняли подачу рідини і газу в колону при перекритті засувки 13 та вентилів 14 і 15.

Для більш детального вивчення взаємодії газового і рідинного потоків в експериментальній установці здійснювалося цифрове фото- та відеоспостереження з покадровою обробкою результатів. Для визначення швидкості газу в апараті використовувалася методика вимірювання швидкості і витрати газопилових потоків, що відходять від стаціонарних джерел забруднення [4].

Швидкість повітря в колоні при проведенні дослідів змінювали в межах 0,5 – 4,5 м/с. Щільність зрошення становила 10 – 20 м³/м²-год.

Для порівняння нижче наведені фотографії шару піни на тарілках з різними отворами (рис. 2).

Візуальні спостереження за гідродинамікою тарілок з різними отворами (рис. 2) показують, що при отворі 150 мм практично немає застійних зон, що свідчить про можливість ефективної роботи із

забрудненими потоками, а на тарілках з отворами 90 та 120 мм спостерігаються застійні.

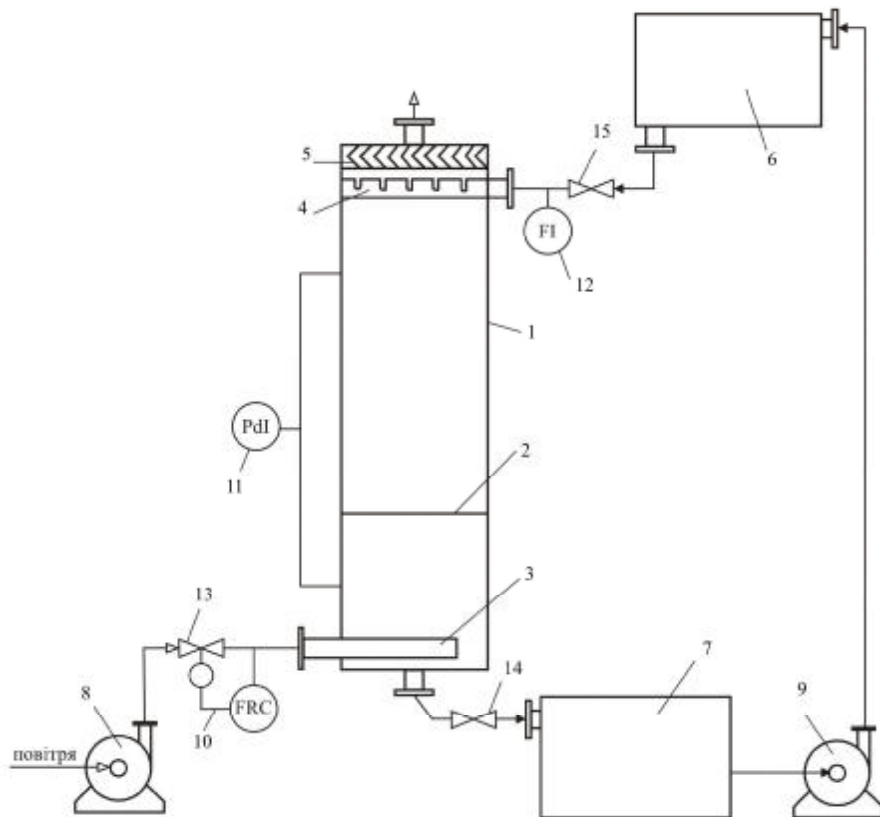


Рисунок 1 – Схема дослідної установки:

1 – колона; 2 – тарілка; 3 – розподільний пристрій для газу; 4 – розподільний пристрій для рідини; 5 – сепаратор; 6 – напірна ємність; 7 – ємність для збору рідини; 8 – вентилятор; 9 – насос; 10 – комплекс приладів для регулювання витрати газу; 11 – диференціальний манометр; 12 – ротаметр; 13 – засувка; 14, 15 – вентилі

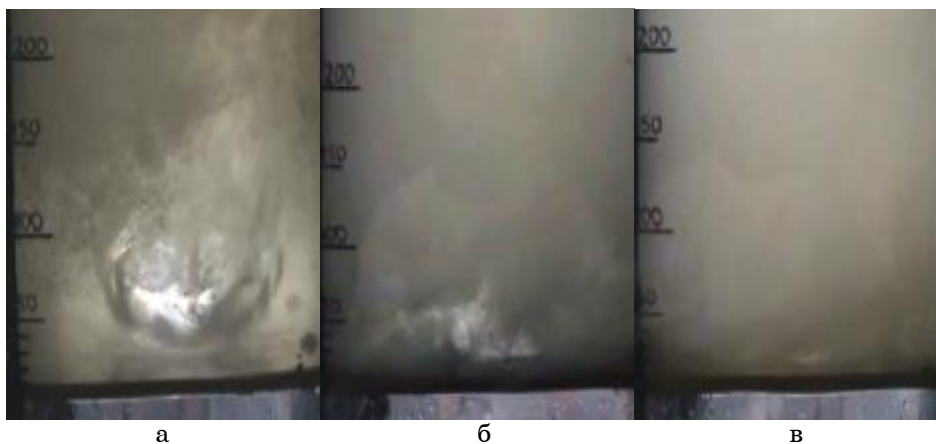


Рисунок 2 – Шар піни на тарілках з різними отворами в режимі вторинного піноутворення: а – 90 мм; б – 120 мм; в – 150 мм

Великі отвори і значний вільний перетин дозволяє знизити гідравлічний опір, що позитивно впливає на енергоефективність апарата. Літературні дані свідчать про недостатню вивченість процесів очищення газів на провальних тарілках розміром понад 100 [5]. Тому метою дослідження було вивчення взаємодії газового і рідинного потоку на даній тарілці.

Результати дослідження гідродинамічних показників роботи тарілки з отвором 150 мм (рис. 2в) наведені на рис. 3 та 4.

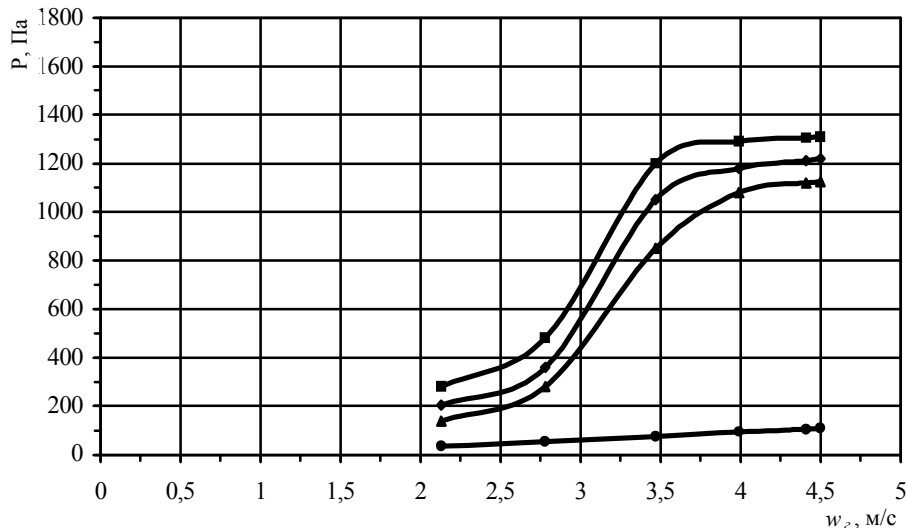


Рисунок 3 - Залежність гідравлічного опору від швидкості газу в апараті з тарілкою 150 мм ($f=23,5\%$) при різних значеннях щільності зрошення $L, \text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{год}$: 1 – суха тарілка; 2 – $L=10$; 3 – $L=15$; 4 – $L=20$

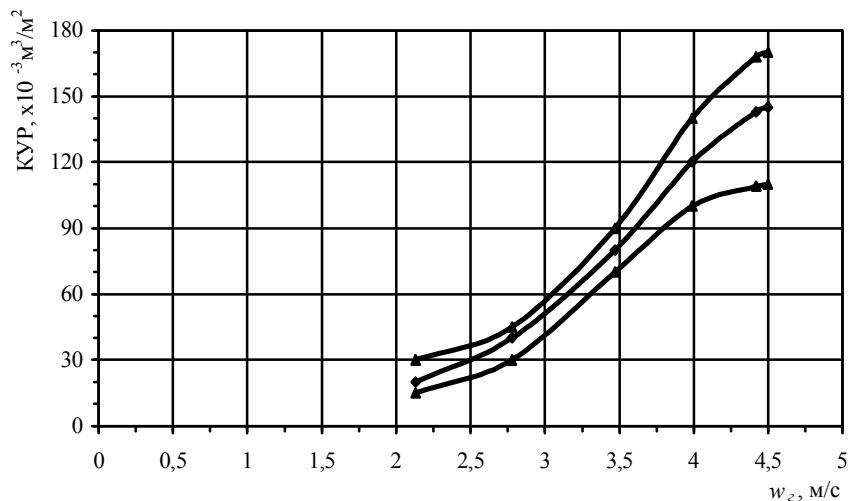


Рисунок 4 – Залежність кількості утримуваної рідини від швидкості газу в апараті з тарілкою 150 мм ($f=23,5\%$) при різних значеннях щільності зрошення $L, \text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{год}$: 1 – $L=10$; 2 – $L=15$; 3 – $L=20$

При роботі тарілки з отвором 150 мм до швидкості газу $w_z=2 - 2,1 \text{ м/с}$ відбувається суцільний провал рідини. Типовий барботажний режим, зважаючи на розмір отвору, не спостерігається. Подальше зростання

швидкості газу (рис. 3) супроводжується накопиченням рідини на поверхні тарілки та переходом до хвильового режиму роботи апарата ($w_2=2,1 - 2,6$ м/с). При цьому збільшувалося коливання шару рідини, що призводить до її інтенсивного провалу, й супроводжувалося різкими рівнями падіння шару рідини на тарілці.

Пінний режим для даної тарілки існує у вузькому діапазоні швидкості газу і одразу переходить до початку режиму інверсії фаз (w_2 від 2,6 до 3,5 - 4 м/с залежно від щільності зрошення). Подальше збільшення швидкості газу приводить до різкого зростання гідравлічного опору, КУР, висоти газорідинного шару й поверхні контакту фаз, а інтенсивність провалу рідини різко зменшується. Цей режим характеризується нестійкістю взаємодії фаз. Газорідинний шар має яскраво виражені поздовжні коливання з великою амплітудою. При цьому практично відсутній бризковинос.

Підвищення швидкості газу приводить до виникнення ще одного гідродинамічного режиму – вторинного піноутворення (w_2 від 3,5 до 4,5 м/с), у якому здійснюється розвинена вихрова взаємодія фаз. Цей режим має стабільний і широкий діапазон щодо швидкості газу (рис. 3). Газорідинна суміш являє собою бурхливу піну, одночасно спостерігається помітна стабілізація шару, що полягає у значному зниженні пульсацій у порівнянні з режимом інверсії фаз. Газ, що проходить через отвір утворює бульбашку при вході у рідину, яка одразу ж розпадається на вихрові газорідинні потоки, що і призводить до турбулізації потоків і розвитку великої площі контакту фаз. У той самий час спостерігається рівномірний розподіл локального газовмісту шару і рідини по всьому поперечному перерізі колони (включаючи простір поблизу стінок і тарілки). Необхідно зазначити, що, як видно на рис. 3, чим вища щільність зрошення, тим стабільніше працює тарілка. Унаслідок такої однорідної структури й незначних поперечних коливань шару, а отже, і локального градієнта статичного тиску рідини на тарілку (гідравлічний опір тарілки становить 1300 Па) відбувається одночасне витікання газу й рідини через отвір.

Таким чином, газорідинний шар на провальних тарілках великих отворів рівномірно пронизується вихорами газу й рідини по всьому поперечному перерізу. Цим і обумовлюється утворення високого однорідного газорідинного шару, стабілізованого гідродинамічно з інтенсивно розвинутою поверхнею контакту фаз.

Переваги режиму вторинного піноутворення чітко виявляються при порівнянні графічних залежностей гідравлічного опору (рис. 3), висоти шару та кількості утримуваної на тарілці рідини (рис. 4), від лінійної швидкості газу в колоні. З підвищенням w_2 2,7 до 3,5 - 4 м/с гідравлічний опір зростає в 3 рази, висота газорідинного шару - в 4 рази (600 мм). Час виходу на даний режим в усіх випадках з різною щільністю зрошення становив не більше 3 хвилин. Робота тарілок у режимі вторинного піноутворення дозволяє досягти значної висоти газорідинного шару, що рівномірно пронизується вихорами газу й рідини по всьому поперечному перерізу. Цим і обумовлюється утворення високого однорідного газорідинного шару, стабілізованого гідродинамічно з інтенсивно розвинутою поверхнею контакту фаз, а отже, і високим гідродинамічним ККД.

Таким чином, можна зробити висновок про можливість використання апаратів з провальними тарілками великих отворів для комплексного санітарного очищення газу при зміні властивостей рідини, що поглинає тверду фазу, а також широким, стабільним режимом роботи щодо швидкості газу. Проведені дослідження дозволили встановити, що ефективний робочий режим апарата з ПТВО - режим вторинного піноутворення в діапазоні швидкості газу від 3,5 до 4,5 м/с.

SUMMARY

EXPERIMENTAL STUDY OF HIDRODYNAMICS LARGE-HOLE SIEVE TRAYS

L.D. Plyatsuk, L.L. Gurets, I.S. Koziy
Sumy State University

In the article the problem of the development and introduction of high intensive gases treatment equipment is considered. The studies of hydrodynamics of the device with large-hole sieve trays on experimental installation is shown. The apparatuses with such contact device design meet the demands of complex sanitary gas treatment when characteristic of the liquids change, that absorbs solid phase, and have broad, stable operation mode at the rate of the gas.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Стан довкілля в Україні: Інформаційно-аналітичний огляд. Серпень 2008 р. – 32 с.
2. Шарыгин М.П. Разработка и расчет устройств для разрушения отложений и пылеулавливания с управляемым вихревым потоком: Дис.... д-ра техн. наук: 05.17.08. - Чимкент, 1992. – 48^с.
3. Молдабеков Ш.М., Почанова С.М., Левш И.П., Ниязов М.И. Исследование гидродинамики и массопередачи в газовой фазе на провальных тарелках крупной перфорацией // Вестник АН Каз. ССР. – 1976. - № 8. – С. 68-72.
4. ГОСТ 17.2.4.06-90 Охрана природы. Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения.
5. Колесниченко В.Т. Исследование гидродинамических и массообменных характеристик провальных тарелок с большими диаметрами отверстий.: Автореф. Дис.... канд. техн. наук. – Киев, 1979. – 25 с.

Надійшла до редакції 26 лютого 2009 р.