

УДК 697.942

## Підвищення ефективності очищення коксового газу від пилу, вуглекислого газу та парів формальдегіду в скруберах насадкового типу.

О. Ф. Редько<sup>1</sup>, Ю. І. Чайка<sup>2</sup>, Ю. О. Бурда<sup>3</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, redko.af@gmail.com, ORCID 0000-0002-9375-1262

<sup>2</sup>к.т.н., доц. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, yuri.chayka@gmail.com, ORCID 0000-0001-7556-6306

<sup>3</sup>аспірант. Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна, malafiko@gmail.com, ORCID 0000-0003-3470-1334

*Анотація. У даній роботі наведені результати промислових випробувань нової трикутної насадки з хрестоподібними отворами при очищенні коксового газу від пилу, вуглекислого газу та парів формальдегіду. За цими даними побудовано порівняльні діаграми та графік регресії. У роботі розглянуті результати власних експериментів, які порівняно з результатами інших науковців, та різними статистичними даними. Для порівняння використано дерев'яну хордову насадку та найбільш ефективну за статистичними даними – кільця Рашига. Результати перевірки збігаються з теоретичними розрахунками та підтверджують ефективність нової насадки. Доведено ефективність нової насадки при очищенні коксового газу від CO<sub>2</sub> (вуглекислого газу), CH<sub>2</sub>O (парів формальдегіду) та при очистці пилу. Нова насадка покращує очистку на 25 % по відношенню до дерев'яної хордової (її прототип) та на 15 % у порівнянні до кільця Рашига, які є однією з найефективніших насадок, та близькі за матеріалом до нової насадки. Також було доведено, що оптимальною температурою для усіх типів домішок є 15 °С.*

*Ключові слова: скрубер, коксовий газ, вуглекислий газ, пари формальдегіду, очистка від пилу, викиди в атмосферу, насадка, коксова промисловість.*

**Вступ.** Атмосферне повітря — це природна суміш газів приземного шару атмосфери за межами житлових, виробничих та інших приміщень, що склалася в ході еволюції Землі. Хімічний склад атмосфери (для сухого повітря) містить:

- азоту — 75,6%,
- кисню — 23,1%,
- аргону — 1,29%,
- двоокису вуглецю — 0,045%,
- озону — 3,6x10<sup>-5</sup>%.

Газова оболонка Землі захищає все живе від ультрафіолетових променів. Проте, є фактори які погіршують стан атмосфери та потоншують цю оболонку. Зокрема, такими є антропогенні викиди [1-4].

Сумарно викиди до атмосфери становлять 380 тон отруйних речовин на 1 км<sup>3</sup>.

Атмосферне повітря забруднюється шляхом утворення в ньому забруднювальних речовин у концентраціях, що перевищують його природній вміст.

Забруднювальні речовини — це різні домішки які в певній концентрації чинять несприятливий вплив на навколишнє середовище. Зокрема, підвищена концентрація багатьох з них може викликати захворювання у людей та тварин [5-7].

Одним з постійних і розповсюджених компонентів забруднення є пил. Вміст у частинках

пилу домішок органічних і неорганічних сполук визначають його токсичну дію. Наприклад, пил, що містить у своєму складі білково-вітамінні речовини, може викликати розвиток алергічних захворювань у людей, які проживають неподалік від промисловості, яка його викидає.

Суттєвий вплив на склад атмосфери мають підприємства чорної і кольорової металургії, хімічна й нафтохімічна промисловість, енергетичні підприємства, целюлозно-паперова промисловість, автотранспорт і котельні.

**Актуальність дослідження.** Апарати мокрої газоочищення мають широке застосування в промисловості. Це зумовлено високим ступенем очищення від домішок діаметром 0,3...1,0 мкм, а також можливістю очищення від пилу гарячих і вибухонебезпечних газів, що є дуже важливим у чорній металургії.

Процес мокрого пиловловлення базується на контакті забрудненого пилом газового потоку з рідиною, яка захоплює зважені частинки та виводить їх з апарату у вигляді шламу [8, 9].

Процес очищення газу в апаратах мокрого газоочищення супроводжується, зазвичай, процесами абсорбції та охолодження газу.

Головними перевагами мокрого газоочищення є:

- порівняно невелика вартість та більш висока ефективність уловлювання зважених часток порівняно до сухого газоочищення;

- воно застосовується для очищення газів від часток розміром до 0,1 мкм;
- охолодження (контактний обмін) і зволоження (кондиціонування) газів;
- можливість застосування для очищення високотемпературних газових потоків, зокрема, це важлива особливість для коксової промисловості;
- менші габарити порівняно з тканинними фільтрами та можливість використання як абсорберів [10-12].

Однак, мокре газоочищення має і певні недоліки:

- виділення вловленого пилу у вигляді шламу, що пов'язано з необхідністю обробки стічних вод, тобто з дорожчанням процесу;
- можливість виносу краплин рідини і осадження їх з пилом в газоходах і димососах;
- у разі очищення агресивних газів необхідність захищати апаратуру та комунікації антикорозійними матеріалам [13].

**Формулювання цілей статті.** Метою даного дослідження є перевірка ефективності трикутної насадки з хрестоподібними вирізами, порівняно з її аналогом – дерев'яною хордовою, – та найближчою за рівнем очищення – кільцями Рашига.

**Основна частина.** Завдяки новій конструкції та оптимальному діаметру вирізів, трикутна насадка з хрестоподібними вирізами забезпечує довший контакт насадки з водою, що дозволяє економити воду. Завдяки тому, що насадка виконана з AISI 316 (10X17N13M2) та вкрита цинком, вона може бути використана навіть у найбільш агресивному середовищі.

Спочатку коксовий газ охолоджувався за допомогою аміачної води від 750 до 80 °С. Потім він подавався до первинного газового холодильника безпосередньої дії, де його температура зменшувалася до 15 °С.

Для отримання даних були проведені промислові випробування. Порівнювалася ефективність очищення коксового газу при його охолодженні до 15 °С у скрубєрі насадкового типу для трьох видів насадок. Насадки встановлювалися без прив'язки до способу встановлення.

Для більш ретельного та ефективного дослідження було проведено по 6 дослідів для кожного типу домішки. У цих випробуваннях було перевірено ефективність очищення косового газу від таких шкідливих домішок:

- CO<sub>2</sub> – вуглекислий газ;
- CH<sub>2</sub>O – пари формальдегіду;
- пилу.

Дані, отримані в результаті дослідів, було занесено до таблиць (табл. 1-3) та побудовано графіки (рис. 1-6) для порівняння ефективності нової насадки. З рис. 5 і 6 бачимо, що трикутна насадка с хрестоподібними вирізами дає найвищий результат очищення коксового газу від пилу – 0,45 мг/м<sup>3</sup>, що наближається до санітарної норми. Це краще ніж середній результат для скрубєрів насадкового типу при пилоочищенні – 0,5...1 мг/м<sup>3</sup>. Однак, доцільно знайти оптимальну температуру коксового газу для очищення від пилу.

Таблиця 1  
Концентрація CO<sub>2</sub> в охолоджену до 15 °С коксовому газі

№	Концентрація CO <sub>2</sub> , %, при типі насадки скрубєра					
	хордова дерев'яна		кільця Рашига		Трикутна з хрестоподібними вирізами	
	до	після	до	після	до	після
1	0,32	0,21	0,32	0,20	0,32	0,18
2	0,33	0,21	0,33	0,19	0,33	0,18
3	0,31	0,21	0,31	0,20	0,31	0,17
4	0,31	0,21	0,31	0,20	0,31	0,17
5	0,34	0,22	0,34	0,20	0,34	0,18
6	0,31	0,21	0,31	0,20	0,31	0,18

Таблиця 2  
Концентрація CH<sub>2</sub>O в охолоджену до 15 °С коксовому газі

№	Концентрація CH <sub>2</sub> O, %, при типі насадки					
	хордова дерев'яна		кільця Рашига		Трикутна з хрестоподібними вирізами	
	до	після	до	після	до	після
1	0,81	0,52	0,81	0,48	0,81	0,42
2	0,78	0,51	0,78	0,47	0,78	0,41
3	0,79	0,52	0,79	0,48	0,79	0,42
4	0,79	0,51	0,79	0,47	0,79	0,41
5	0,80	0,51	0,80	0,47	0,80	0,41
6	0,80	0,51	0,80	0,47	0,80	0,41

Таблиця 3  
Концентрація пилу в охолоджену до 15 °С коксовому газі

№	Концентрація пилу, мг/м <sup>3</sup> , при типі насадки					
	Хордова дерев'яна		Кільця Рашига		Трикутна з хрестоподібними вирізами	
	до	після	до	після	до	після
1	0,71	0,56	0,71	0,52	0,71	0,45
2	0,70	0,54	0,70	0,50	0,70	0,43
3	0,70	0,55	0,70	0,51	0,70	0,44
4	0,70	0,55	0,71	0,50	0,70	0,44
5	0,71	0,51	0,71	0,47	0,71	0,41
6	0,71	0,51	0,71	0,47	0,71	0,41

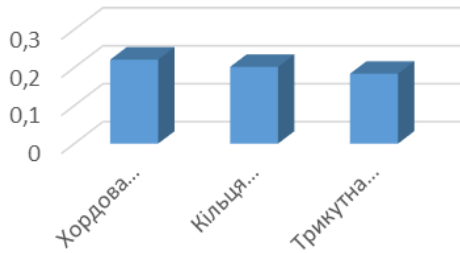


Рис 1. Діаграма концентрації CO<sub>2</sub> після очищення, %



Рис 2. Діаграма ефективності очищення CO<sub>2</sub>, %

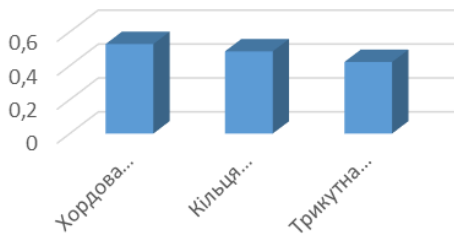


Рис 3. Діаграма концентрації CH<sub>2</sub>O, мг/м<sup>3</sup>, після очищення

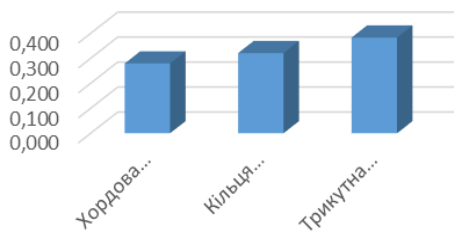


Рис 4. Діаграма ефективності очищення CH<sub>2</sub>O, мг/м<sup>3</sup>

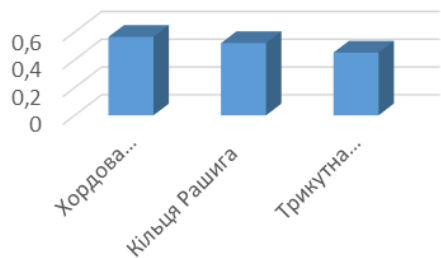


Рис 5. Діаграма концентрації пилу, мг/м<sup>3</sup>, після очищення

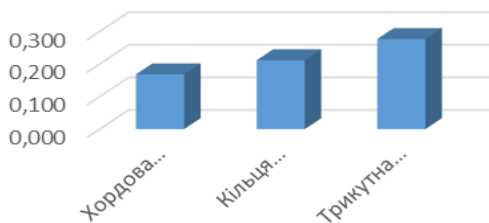


Рис 6. Діаграма ефективності очищення пилу, мг/м<sup>3</sup>

Для визначення оптимальної температури процесу проведемо розрахунок кількості пилу

після очищення в скрубєрі з новою насадкою залежно від температури та тиску. Вміст пилу в коксовому газі наведено у табл. 4. За отриманими даними побудуємо рівняння регресії (рис. 7):

$$t = 137,6169 - 555,7407 q - 0,0036 \Delta p + 616,2683 q^2 + 0,0083 q \Delta p - 1,5947 \cdot 10^{-7} \Delta p^2. \quad (7)$$

Таблиця 4.

t, °C	Вміст пилу (мг/м <sup>3</sup> ) при заданому тиску				
	1000	500	1000	1500	2000
10	0,450	0,428	0,421	0,420	0,415
15	0,452	0,431	0,422	0,421	0,419
20	0,586	0,575	0,572	0,564	0,564
25	0,607	0,596	0,593	0,585	0,585
30	0,628	0,617	0,614	0,606	0,606
35	0,649	0,638	0,635	0,627	0,627
40	0,670	0,659	0,656	0,648	0,648
45	0,691	0,680	0,677	0,669	0,669
50	0,712	0,701	0,698	0,690	0,690

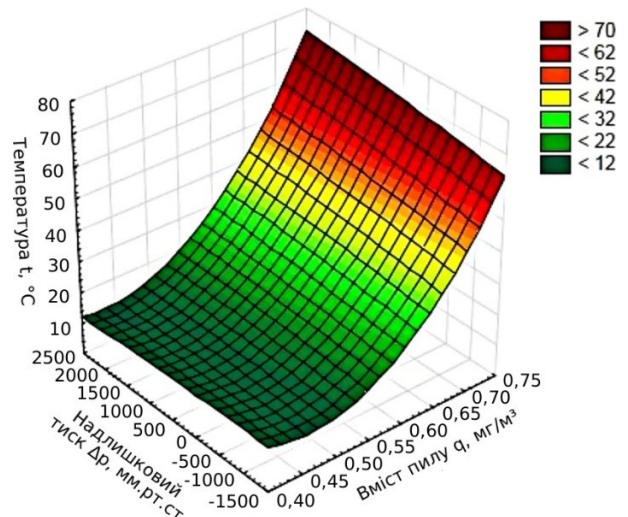


Рис 7. Регресійний графік залежності вмісту пилу від температури та тиску

З рис. 7 оптимальною температурою є 15°C.

**Висновки.** У проведеному експерименті доведено ефективність нової насадки при очищенні коксового газу від CO<sub>2</sub> (вуглекислого газу), CH<sub>2</sub>O (парів формальдегіду) та пилу. Так, зокрема, нова насадка покращує очищення на 25 % порівняно з дерев'яною хордовою (її прототип) та на 15 % порівняно з кільцями Рашига, що є однією з найефективніших насадок та близька за матеріалом до нової насадки. Також було доведено, що оптимальною температурою для усіх типів домішок є 15°C.

**Перспективи подальших досліджень.** У подальшому важливо дослідити процес очищення інших домішок.

### Література

1. Алексеев В. Аппараты вихревого типа, применяемые для мокрой очистки газов / В. Алексеев, В. Булкин, И. Поникаров, А. Галлеев. – Казань, 1987. – 22 с.
2. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник / Г.М.-А. Алиев. – Москва: Metallurgiya, 1986. – 544 с.
3. Андоньев С. Пылегазовые выбросы предприятий чёрной металлургии / С. Андоньев, О. Филиппев О. – Москва: Metallurgiya, 1979. – 60 с.
4. Апостолук С.О. Промислова екологія: навч. посіб. / С.О. Апостолук, В.С. Джигирей, І.А. Соколовський та ін. – 2-ге вид., виправл. і доповн. – Київ: Знання, 2012. – 430 с.
5. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: Учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с.
6. Диденко В. Интенсификация обеспыливания и очистки вентиляционных выбросов на основе вихревых эффектов / В. Диденко, Т. Малахова. – Волгоград: Волгогр. Гос. Архит.-строит. Акад., 1998. – 144 с.
7. Дытнерский Ю. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Ю. Дытнерский. – Москва: Химия, 1991. – 496 с.
8. Козлова С.А. Оборудование для очистки газов промышленных печей: Электронный конспект лекций / С.А. Козлова, И.М. Шалаев, О.В. Раева, А.В. Киселев. – Красноярск: СФУ, 2007. – 156 с., dpi 300, OCR, навигатор. Источник: lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/217/u\_lectures.pdf
9. Коробчанский И.Е. Расчёты аппаратуры для улавливания химических продуктов коксования / И.Е. Коробчанский, Кузнецов М.Д. – Москва: Metallurgiya. 1972, 2-е изд., 296 с.
10. Михайлов Н.В. К вопросу о концентрации нафталина в коксовом газе / Н.В. Михайлов, В.М. Зайченко, П.П. Коломиец // Кокс и химия. – 1969. – № 12. – С. 26-29.
11. Лебедева Г.Н. Возможная степень очистки коксового газа от нафталина при первичном охлаждении / Г.Н. Лебедева, Н.Г. Бунаков, В.С. Патрикеев // Кокс и химия. – 1973. – № 6. – С. 37-40.
12. Вшивцев В.Г. Хроматографическое определение нафталина в аэрозолях каменноугольной смолы коксового газа / В.Г. Вшивцев, Т.К. Сафронова, Л.Г. Носова // тематический отраслевой сборник: Вопросы технологии улавливания и переработки продуктов коксования. – № 7. – Москва: Metallurgiya, 1978. – С. 91-93.
13. Бродович А.И. Новые схемы очистки коксового газа / А.И. Бродович, В.М. Зайченко, В.И. Мелженцева и др. // Кокс и химия. – 1980. – № 4. – С. 28-32.

### References

1. Alekseev V., Bulkin V., Ponikarov I., Galleev A. *Apparaty vihrevogo tipa, primenyayemye dlya mokroy ochistki gazov*, Kazan, 1987.
2. Aliev G.M.-A. *Tehnika pyileulavlivaniya i ochistki promyshlennykh gazov*, Metallurgiya, 1986.
3. Andonev S., Filipev O. *Pyilegazovyye vyibrozyi predpriyatiy chernoy metallurgii*, Metallurgiya, 1979.
4. Apostolyuk S.O., Dzhigirei V.S., Sokolovskiy I.A. *Promislova ekologiya*, Znannya, 2012.
5. Vetoshkin A.G. *Protsessy i apparaty pyileochistki*, Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2005.
6. Didenko V., Malahova T. *Intensifikatsiya obespylivaniya i ochistki ventilyatsionnykh vyibrosov na osnove vihrevykh effektov*, Volgogr. Gos. Arhit.-stroit. Akad., 1998.
7. Dyitnerskiy Yu. *Osnovnyie protsessy i apparaty himicheskoy tehnologii*, Himiya, 1991.
8. Kozlova S.A., Shalaev I.M., Raeva O.V., Kiselev A.V. *Oborudovanie dlia ochistki gazov promyshlennykh pechei: Elektronnyi konspekt lektzii*, SFU, 2007, dpi 300, OCR, lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/217/u\_lectures.pdf
9. Korobchanskiy I.E., Kuznetsov M.D. *Raschety apparatury dlia ulavlivaniia khimicheskikh produktov koksovaniia*, Metallurgiya, 1972.
10. Mikhailov N.V., Zaychenko V.M., Kolomiets P.P. "On the concentration of naphthalene in a coke oven gas." *Koks i khimiia*, no. 12, 1969, pp. 26-29.
11. Lebedeva G.N., Bunakov N.G., Patrickeyev B.C. "Vozmozhnaia stepen ochistki koksovogo gaza ot naftalina pri pervichnom okhlazhdenii." *Koks i khimiia*, no. 6, 1973, pp. 37-40.
12. Vshivtsev V.G., Safronova T.K., Nosova L.G. "Chromatographic determination of naphthalene in aerosols of coal tar resin of coke oven gas." *Problems of technology of capture and processing of coking products*, no. 7, 1978.
13. Brodovich A.I., Zaychenko V.M., Melzhentseva V.I. and other "Novye skhemy ochistki koksovogo gaza." *Koks i khimiia*, no. 4, 1980, pp. 28-32.

УДК 697.942

## Повышение эффективности очистки коксового газа от пыли, углекислого газа и паров формальдегида в скрубберах насадочного типа.

А. Ф. Редько<sup>1</sup>, Ю. И. Чайка<sup>2</sup>, Ю. А. Бурда<sup>3</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., проф. Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, redko.af@gmail.com ORCID 0000-0002-9375-1262

<sup>2</sup>к.т.н., проф. Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, yuri.chayka@gmail.com ORCID 0000-0001-7556-6306

<sup>3</sup>аспірант Харьковський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна, malafiko@gmail.com, ORCID 0000-0003-3470-1334

*Аннотация. В данной работе приведены результаты промышленных испытаний новой треугольной насадки с крестообразными отверстиями при очистке коксового газа от пыли, углекислого газа и паров формальдегида. По этим данным были построены сравнительные диаграммы и график регрессии. В работе рассмотрены результаты собственных экспериментов, которые сравнивались с результатами других авторов и различными статистическими данными. Для сравнения приняты деревянная хордовая насадка и наиболее эффективная по статистическим данным – кольца Рашига. Результаты проверки совпадают с теоретическими расчётами и подтверждают эффективность новой насадки. Доказана эффективность новой насадки при очистке коксового газа от CO<sub>2</sub> (углекислого газа), CH<sub>2</sub>O (паров формальдегида) и пыли. Новая насадка улучшает очистку на 25 % по отношению к деревянной хордовой (её прототип) и на 15 % по сравнению с кольцами Рашига, которые являются одной из самых эффективных насадок, и близкие по материалу к новой насадке. Также было доказано, что оптимальной температурой для всех типов примесей является 15 °С.*

*Ключевые слова: скруббер, коксовый газ, углекислый газ, пары формальдегида, очистка от пыли, промышленные испытания, выбросы в атмосферу, насадка, коксовая промышленность.*

UDC 697.942

## Increasing the Efficiency of Cleaning Coke Oven Gas from Dust, Carbon Dioxide and Formaldehyde Vapors in Scrubbers of the Attachment Type.

O. Redko<sup>1</sup>, Y. Chayka<sup>2</sup>, Y. Burda<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sc.D, professor, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, redko.af@gmail.com, ORCID 0000-0002-9375-1262

<sup>2</sup>Sc.D, a.P, Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, yuri.chayka@gmail.com ORCID 0000-0001-7556-6306

<sup>3</sup>PhD student Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine, malafiko@gmail.com, ORCID 0000-0003-3470-1334

*Abstract. In this paper, the results of industrial tests of a new triangular attachment with cross-holes for cleaning coke oven gas from dust, carbon dioxide and formaldehyde vapours are given. According to these data, comparative diagrams and regression charts are constructed. The paper considers the results of own experiments, which compared with the results of other scientists and various statistical data. For comparison, a wooden chord attachment and the most effective Rashig ring attachment are used. The results of the tests coincide with the theoretical calculations and confirm the effectiveness of the new attachment. The efficiency of the new attachment is proven for the purification of coke oven gas from CO<sub>2</sub> (carbon dioxide), CH<sub>2</sub>O (formaldehyde vapours) and dust. The new attachment improves the cleaning by 25 % with respect to the wooden chord (its prototype) and by 15 % compared to the Raschig rings, which are one of the most effective attachments, and close to the material for the new one. It is proved that the optimum temperature for all types of impurities is 15 °C.*

*Key words: scrubber, coke oven gas, carbon dioxide, formaldehyde pairs, dust treatment, industrial tests, atmospheric emissions, attachment, coke industry.*

Надійшла до редакції / Received 24.11.2017