

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КАТАЛІТИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ГАЗІВ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ВІД СІРЧИСТОГО АНГІДРИДУ

Белоконь К.В.

Запорізький національний університет
вул. Університетська, 66, 69600, м. Запоріжжя
kv.belokon@gmail.com

Агломераційні фабрики є великим забруднювачем атмосферного повітря. Проблема очищення газів агломераційних процесів є критично важливою для зменшення впливу на навколишнє середовище. Основні забруднюючі речовини агломераційного виробництва включають пил, діоксид сірки (сірчастий ангідрид), оксиди вуглецю та оксиди азоту. У статті описано існуючі методи очищення газів від сірчистого ангідриду та вибір схеми газоочистки, що включає каталітичний реактор, теплообмінник, скруббер-поглинач і два мокрих трубчастих електрофільтри. Перспективним методом очищення викидних SO_2 -вмісних газів є нестационарне каталітичне окиснення сірчистого ангідриду, у результаті переробки якого виходить сірчана кислота. Хімічне очищення дозволяє досягти ступеня знешкодження понад 90%, а одержана сірчана кислота може бути використана у прокатному виробництві.

Проведено розрахунки та вибір основного обладнання для системи очищення газу. Визначено площу фільтрації каталітичного реактора за умови сталості швидкості фільтрації, яка дорівнює 1 м/с, та витраті очищуваного газу 38,9 м³/с. Розроблено інтерметалічний Fe-Al каталізатор з температурою запалювання 200-350 °С. Розраховано об'єм каталізатора, який дорівнює 35 м³, з масою 21 т при насипній вазі 0,6 м³/т. Для зрошення газу застосовується скруббер-поглинач, площа насадки якого з 20% запасом становить 4620 м², що забезпечує необхідний об'єм насадки 77 м³ і висоту 2 м. Розраховано площу поперечного перерізу активної зони мокрого електрофільтра, яка складає 19,4 м², обрано два електрофільтри, що мають площу поперечного перерізу 9,6 м² і загальну площу осадження 530 м². Коефіцієнт очищення мокрого електрофільтра становить 98%. Для системи очищення обрано димотяг ДН-21 з коефіцієнтом корисної дії 0,83 та числом обертів 980 об/хв. Димотяг комплектується електродвигуном потужністю 320 кВт при напрузі 6000 В, що гарантує необхідний рівень ефективності системи очищення газів. *Ключові слова:* атмосферне повітря, екологічна безпека, агломераційне виробництво, каталітичний реактор, каталізатор, мокрий електрофільтр, сірчастий ангідрид, скруббер-поглинач.

Development of a system of catalytic purification of technological gases of agglomeration production from sulfur dioxide. Belokon K.

Sintering factories are major contributors to atmospheric pollution. The issue of gas purification from sintering processes is critically important for reducing environmental impact. The main pollutants from sintering production include dust, sulfur dioxide (sulfur dioxide), carbon oxides, and nitrogen oxides.

The article describes the existing methods of gas purification from sulfur dioxide and proposes a gas purification scheme comprising a catalytic reactor, a heat exchanger, a scrubber-absorber, and two wet tubular electrostatic precipitators. A promising approach for cleaning exhaust SO_2 -containing gases is non-stationary catalytic oxidation of sulfuric anhydride, which results in the production of sulfuric acid. Chemical purification can achieve a neutralization rate exceeding 90%, and the sulfuric acid obtained can be used in rolling production.

Calculations and selection of the main equipment for the gas purification system were carried out. The filtration area of the catalytic reactor was determined under the condition of constant filtration velocity of 1 m/s, with a purified gas flow rate of 38.9 m³/s. An intermetallic Fe-Al catalyst with an ignition temperature of 200-350 °C was developed.

The catalyst volume was calculated to be 35 m³, with a mass of 21 tons and a bulk density of 0.6 m³/t. For gas irrigation, a scrubber-absorber is employed, with a nozzle area of 4620 m² (including a 20% reserve), ensuring a nozzle volume of 77 m³ and a height of 2 m. The cross-sectional area of the active zone in the wet electrostatic precipitator was calculated to be 19.4 m². Two electrostatic precipitators with a cross-sectional area of 9.6 m² and a total deposition area of 530 m² were selected. The cleaning coefficient of the wet electrostatic precipitator is 98%. For the gas purification system, a DN-21 induced draft fan with an efficiency of 0.83 and a rotational speed of 980 rpm was selected. The fan is equipped with a 320 kW electric motor operating at 6000 V, ensuring the required efficiency of the gas purification system. *Key words:* atmospheric air, ecological safety, sintering production, catalytic reactor, catalyst, wet electrostatic precipitator, sulfuric anhydride, scrubber-absorber.

Постановка проблеми. Особливо актуальною проблемою порушення екологічної безпеки міста є забруднення атмосферного повітря викидами промислових газів [1]. Одним із основних газів-забруднювачів є сірчастий ангідрид (SO_2).

Основними видами виробничої діяльності людини, які вносять значний внесок у забруднення повітряного басейну діоксидом сірки, є теплоенергетика (котельні процеси), чорна металургія (підготовчі процеси, основні металургійні виробництва);

хімічна, нафтохімічна, нафто- та газопереробна (виробництво нітрозної та контактної сірчаної кислоти, карбофосу), целюлозно-паперова та деревообробна промисловість [2].

На металургійних підприємствах більше 80% сірчистих з'єднань проникає в атмосферу разом із газами агломераційних фабрик.

Агломераційне виробництво отримало широке поширення у чорній металургії для огрудування пиловатих залізних руд та їх концентратів. Агломерація відбувається шляхом спікання. Процес агломерації пов'язаний з певними змінами хімічного складу й структури спікаємих матеріалів. Зокрема, у ході агломерації із шихти виділяється багато шкідливих домішок, у тому числі й сірка.

Джерелами забруднення повітряного басейну на аглофабриках є агломераційні стрічки, барабанні й чашкові охолоджувачі агломерату, випалювальні печі, вузли пересипання, транспортування, сортування агломерату й компонентів, що входять до складу шихти для готування агломерату (руди, коксу, вапняку й інших матеріалів). Також достатня кількість пилу виділяється при розтріскуванні агломерату при русі й вібрації конвеєра. Найбільше поширення, а, отже, і найбільше пиловиділення відбувається при скиданні агломерату зі стрічки конвеєра у хвостовій частині агломашини.

Найбільш ефективним засобом боротьби з викидами пилу і шкідливих газоподібних компонентів у повітряний басейн підприємствами є установки газоочисних апаратів, що в результаті зменшують та стабілізують шкідливі викиди при одночасному зростанні об'єму і інтенсифікації промислового виробництва [3].

Актуальність дослідження. Діоксид сірки – один із найбільш токсичних забруднювачів атмосфери та головний фактор утворення кислотних дощів, випадання яких має катастрофічні наслідки для довкілля. Проживання на території з постійним перевищенням концентрації SO_2 над нормами ГДК також призводить до значних порушень у стані здоров'я населення [1].

Викиди сірчистого газу в біосферу негативно впливають на всі компоненти навколишнього середовища: на ґрунтовий та рослинний покриви, водні об'єкти, живі організми. У людини забруднення повітря двоокисом сірки викликає як гострі, так і хронічні отруєння [1].

Довготривала дія невеликих концентрацій є наслідком появи захворювань органів дихання та травлення, кон'юнктивіту, захворювань шкіри, відчуття слабкості; руйнування зубів та зниження працездатності (до повної втрати). При вдиханні великих концентрацій він викликає подразнення дихальних шляхів, оболонки ока, дратуються зволожені ділянки шкіри, може призвести до смерті [4].

Місто Запоріжжя – великий металургійний центр України, де на відносно невеликій площі розташовано

40% чорної та кольорової металургійної промисловості, 20,5% хімічної та машинобудівельної промисловості, 41% енергетики. Тому для міста Запоріжжя та, власне, й для багатьох інших промислових міст України, що мають значну кількість джерел забруднення атмосферного повітря, обґрунтування безпечних для здоров'я обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є досить актуальним [3]. Найбільшими забруднювачами атмосферного повітря в регіоні залишаються підприємства чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії, машинобудування, харчової промисловості, на які припадає приблизно 90,0 % викидів всіх забруднюючих речовин.

Це такі підприємства як: ПАТ «Запоріжсталь», ПрАТ «Дніпроспецсталь», АТ «Запорізький завод феросплавів», ПрАТ «Український графіт», ПрАТ «Запорізький абразивний комбінат», ПрАТ «Запоріжжюкс», ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат», ПрАТ «Запоріжвогнетрив», ПрАТ «Запорізький завод зварювальних флюсів та скловиробів», АТ «Мотор Січ» та інші.

Викиди діоксиду та інших сполук сірки в атмосферне повітря від стаціонарних джерел викидів складають у місті 4,2 тис. т [5].

У місті Запоріжжі середнє значення коефіцієнту небезпеки для ангідриду сірчистого при хронічному інгаляційному впливі у 2023 році перевищує допустимий рівень $HQ = 2,5$ та знаходиться на середньому рівні ($HQ = 1-5$, існує ризик розвитку шкідливих ефектів у особливо чутливих підгруп населення, є неприпустимим для населення, допустимий для виробничих умов) [1].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Згідно рекомендації ВООЗ рекомендовані значення SO_2 : $0,020 \text{ мг/м}^3$ середньодобове значення; $0,5 \text{ мг/м}^3$ значення усереднене на 10 хв. Наказ МОЗ України від 10.04.2024 р. № 813 «Про затвердження державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» встановлюють для населених місць України середньодобову гранично допустиму концентрацію (ГДК) $\text{SO}_2 = 0,05 \text{ мг/м}^3$; максимально разову ГДК $0,5 \text{ мг/м}^3$ [4]. Враховуючі те, що однією зі стратегічних цілей національної екологічної політики України є покращення екологічного стану довкілля та підвищення рівня екологічної безпеки шляхом зменшення обсягу викидів загальнопоширених забруднюючих речовин стаціонарними джерелами, необхідне значне зниження викидів SO_2 , щоб досягнути встановлених рекомендацій.

Одним з найбільш ефективних методів захисту атмосферного повітря від забруднення SO_2 є впровадження перспективних безвідходних ресурсо- й енергозберігаючих технологічних процесів, що дозволяють уникнути або суттєво знизити викиди цих речовин в атмосферу [6]. Але це не завжди тех-

нологічно можливо й економічно доцільно. Тому проблеми зниження викидів повинні вирішуватись як шляхом удосконалення й інтенсифікації традиційних методів очищення газових викидів, так і шляхом використання нових альтернативних, екологічно та економічно ефективних методів. Одним з ефективних процесів знешкодження газових викидів від SO_2 є каталітичне окиснення [7]. Посилення санітарних та екологічних норм змушує шукати нові ефективні та економічні каталізatori для знешкодження відхідних газів промислових підприємств. Перспективним напрямком в цій галузі є розробка каталізаторів із заміною благородних металів на інтерметалідні сполуки. Чисельні літературні дані свідчать про те, що формування каталізаторів на інтерметалідній основі сприяє збільшенню їх каталітичної активності та термічної стійкості [8].

У зв'язку з цим, перспективним і актуальним напрямком є розробка каталізаторів на інтерметалідній основі для знешкодження техногенних забруднювачів. Вирішення цієї задачі дозволить дозволить поліпшити стан навколишнього природного середовища до рівня, безпечного для життєдіяльності населення, з урахуванням європейських стандартів якості навколишнього природного середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вилучення сірчистого ангідриду з газів застосовуються такі методи (рис. 1):

- абсорбційні (використаються рідкі поглиначі) та адсорбційні (використаються тверді поглиначі);
- каталітичні методи – окиснення сірчистого ангідриду в присутності каталізатора до сірчаного ангідриду (SO_3) із поглинанням останнього водою й утворенням сірчаної кислоти, а також окиснення в рідкій фазі до сірчаного ангідриду, що потім перетворюється в сірчану кислоту за допомогою перекису водню, азотної кислоти й інших окислювачів);
- каталітичне відновлення до елементарної сірки.

Найпоширеніші є абсорбційні способи. Абсорбція являє собою процес розчинення газоподібного компонента в рідкому розчиннику. Абсорбційні системи розділяють: водні й неводні. У другому випадку

застосовують звичайно малолетючі органічні рідини. Рідину використовують для абсорбції тільки один раз або ж проводять її регенерацію, виділяючи забруднювач у чистому виді. Схеми з однократним використанням поглинача застосовують у тих випадках, коли абсорбція приводить безпосередньо до одержання готового продукту або напівпродукту. Схеми з багаторазовим використанням поглинача (циклічні процеси) поширені ширше. Їх застосовують для вловлювання вуглеводнів, очищення від SO_2 димових газів ТЕС, очищення вентиляційних газів від сірководню залізно-содовим методом з одержанням елементарної сірки.

Менш поширені адсорбційні методи. Їх можна рекомендувати для випадків, коли в газах присутній не більше 0,1-0,15% SO_2 , немає пилу й домішок, що забруднюють або руйнують адсорбенти. Адсорбентами служать активоване вугілля, срібно-марганцеві композиції, складні сорбенти на основі окислів алюмінію, заліза, кобальту й ін.

Найбільше поширення одержали каталітичні методи знешкодження відхідних газів у нерухомому шарі каталізатора. Можна виділити два принципово різних методи здійснення процесу газоочистки – стаціонарному й у штучно створюваному нестаціонарному режимах.

При стаціонарному методі прийнятні для практики швидкості хімічних реакцій досягаються на більшості дешевих промислових каталізаторах при температурі 200-600° С. Після попереднього очищення від пилу (до 20 мг/м³) і різних каталітичних отрут (As, Cl₂ і ін.) гази звичайно мають значно більше низьку температуру. Підігрів газів до необхідних температур можна здійснювати за рахунок уведення гарячих димових газів або за допомогою електронагрівача. Після проходження шару каталізатора очищені гази викидаються в атмосферу, що вимагає значних енерговитрат. Домогтися зниження енерговитрат можна, якщо тепло газів, що відходять, використати для нагрівання газів, що надходять в очищення. Для нагрівання служать звичайно рекуперативні трубчасті теплообмінники. За певних

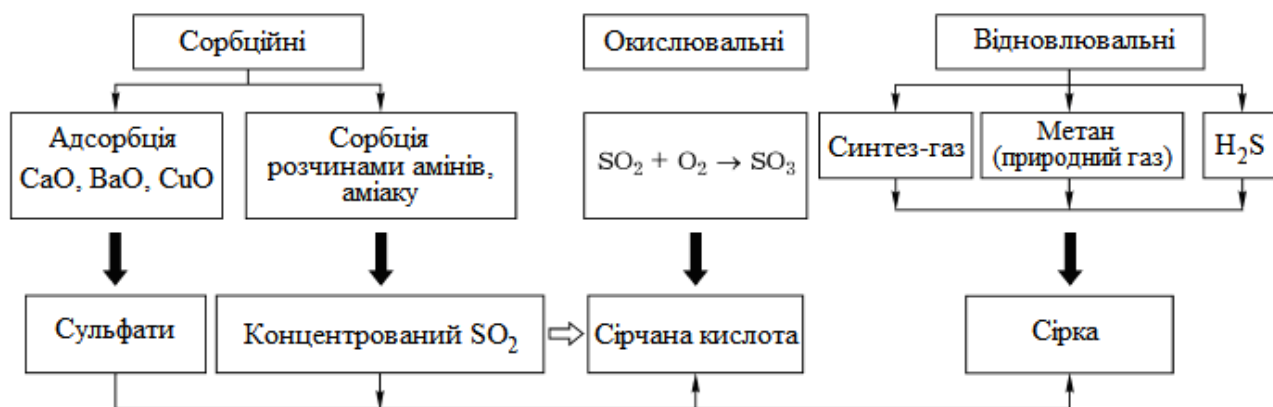


Рис. 1. Існуючі способи очищення газів від діоксиду сірки

умов, коли концентрація горючих домішок у газах, що відходять, перевищує $4-5 \text{ г/м}^3$, здійснення процесу за схемою з теплообмінником дозволяє обійтися без додаткових витрат. Такі апарати можуть ефективно працювати тільки при постійних концентраціях (витратах) або при використанні зроблених систем автоматичного керування процесом.

Метод нестационарної конверсії діоксиду сірки призначений для переробки слабосірчаних відхідних газів металургійних виробництв у сірчану кислоту (рис. 2). Основна ідея нестационарного способу окиснення діоксиду сірки полягає в тому, що каталізатор виконує не тільки свою основну функцію – прискорення реакції, але також і функцію регенератора тепла. Процес здійснюється в контактному апараті, який працює в нестационарному режимі, що забезпечується періодичною зміною напрямку подачі газу.

Впровадження процесу нестационарного окиснення дозволяє здійснювати переробку слабосірчаних газів з концентрацією діоксиду сірки $1-4\%$, заощаджувати $2,9 \text{ т}$ умовного палива в рік [9, 10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Основним напрямком розвитку термокаталітичних методів є створення дешевих каталізаторів, що ефективно працюють при низьких температурах та є стійкими до різних отрут, а також розробка енергозберігаючих технологічних процесів з малими капітальними витратами на устаткування.

Наразі процес каталітичного очищення газових викидів від діоксиду сірки здійснюють на ванадієвих каталізаторах. Попри свою ефективність, ці каталізатори мають низку недоліків. Ванадієві каталізатори піддаються отруєнню контактними отрутами, фізичному зносу внаслідок стирання та впливу високих температур, а також залишаються доволі дорогими [11].

У зв'язку з цим, розробка ефективного, надійного та дешевого каталізатора для очищення газо-

вих викидів від діоксиду сірки є актуальним науково-технічним завданням. Для реакції окиснення SO_2 у SO_3 ряд активності металів як каталізаторів має такий вигляд [11]: Pt , V_2O_5 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , WO_3 , CuO , As_2O_5 , TiO_2 , MoO_3 , SnO_2 , Mn_2O_3 . З цього ряду видно, що оксиди V_2O_5 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 є ефективними каталізаторами для реакції окиснення SO_2 у SO_3 .

Для вирішення цього завдання було розроблено каталізатор на основі інтерметаліду FeAl зі структурою Ренея. В якості основи для отримання каталізаторів інтерметалідного типу можуть бути використані Fe , Co , Ni , Cu , Cr , Mo , Si , Al , Mg та інші метали. Для дослідження можливості використання в каталітичних реакторах більш дешевих контактів були обрані інтерметалідні каталізатори на основі заліза з добавками кобальту, хрому, ванадія, марганцю та міді. Вибір цих систем ґрунтувався на низькій міркуванні, таких як виключення використання дорогіших металів; висока активність у процесах глибокого окиснення, що використовуються у системах очищення промислових газів; високі міцність та термостійкість, що дуже важливо для контактів, що працюють у каталітичних нейтралізаторах; широке використання в різних галузях промисловості та гарна виробнича база для масового виробництва інтерметалідних каталізаторів.

У зв'язку з цим, було вирішено досліджувати інтерметаліди FeAl при використанні в якості каталізатора окиснення сірчистого ангідриду, що міститься у відхідних газах промислових підприємств. Залізо та алюміній утворюють інтерметаліди: FeAl_3 , Fe_2Al_7 , Fe_2Al_5 , FeAl_2 , FeAl , Fe_3Al . В якості досліджуваного каталізатора використовували системи на основі інтерметаліду Fe-Al стехіометричного складу FeAl_3 , синтезовані методом теплового самозаймання. З метою збільшення каталітичної активності інтерметалід FeAl_3 був модифікований різними кількостями кобальту, ванадію, хрому, марганцю, міді в кількостях до $15 \text{ масових } \%$. Скелетний каталізатор отримували шляхом вилугування отриманого

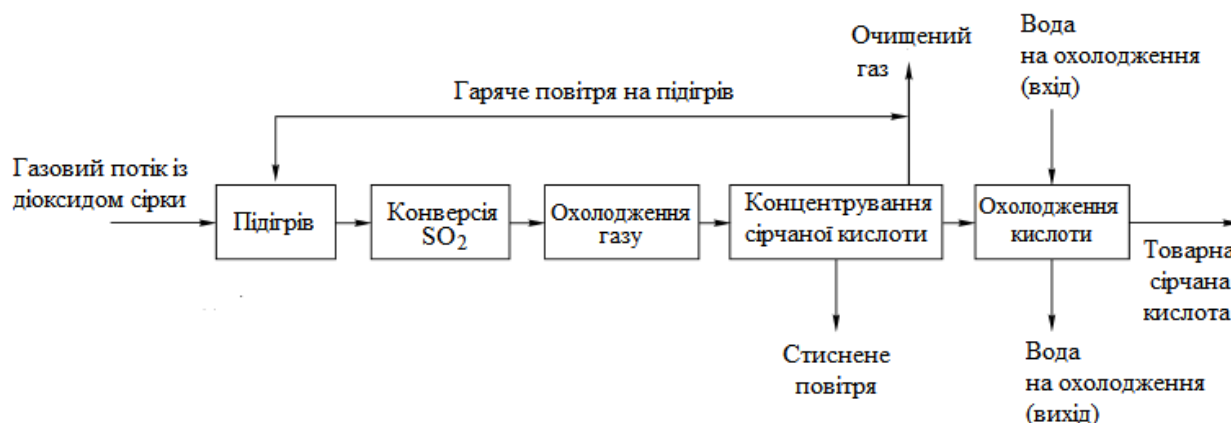


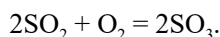
Рис. 2. Схема процесу окиснення сірчистого ангідриду в присутності каталізатора до сірчаного ангідриду SO_3 із поглинанням останнього водою й утворенням сірчаної кислоти

інтерметаліду різними кислотами та лугом з подальшим видаленням залишкового водню розчином перекису водню.

Новизна статті полягає у розробці системи каталітичного очищення технологічних газів від сірчистого ангідриду на розробленому інтерметалідному каталізаторі в умовах агломераційного цеху.

Методологічне або загальнонаукове значення.

У статті пропонується очищення технологічних газів від сірчистого ангідриду, що утворюється у виробництві агломерату (рис. 3). Процес обраного хімічного очищення агломераційних газів здійснюється у такий спосіб. Після пилоочищення газ надходить у відділення хімічного очищення, де головну роль грає реактор каталітичного окиснення (рис. 4). Газ підігрівається при першому запуску пальником до температури запалювання каталізатора. Відбувається окиснення по реакції:



Ця реакція – екзотермічна, іде з виділенням тепла – відбувається нагрівання газів. Газ після реакції проходить через шар насадки й нагрівають її. Далі газ надходить у теплообмінник, де прохолд-

жуються очищеним газом до температури 80-100°C і попадають у скруббер, де зрошуються. Зрошення здійснюється переважно водою, залежно від вмісту SO_3 і водяної пари. Відбувається абсорбція з одержанням сірчаної кислоти, що надходить у циркуляційний бак і потім частина кислоти виводиться, а інша частина попадає на зрошення знову. Очищені газ містять краплі зрошувальної рідини і надходять у мокрий електрофільтр (рис. 5), що слугує краплеуловлювачем. Після очищення газ надходить у теплообмінник, де підігрівається відхідними газами вище температури крапки роси й через димар викидається в атмосферу.

Даний метод має такі переваги: ступінь очищення досягає більше 90%, вміст сірки на виході з димаря не перевищує норматив ПДВ; одержання сірчаної кислоти, яку можна використати на інших ділянках підприємства, наприклад у прокатці.

Для каталітичного реактора були виконані розрахунки таких параметрів: площа фільтрації, об'єм каталізатора, що визначається на основі умови сталості об'ємної швидкості процесу, маса каталізатора, висота шару каталізатора, діаметр каталізатора та загальна висота каталізатора.

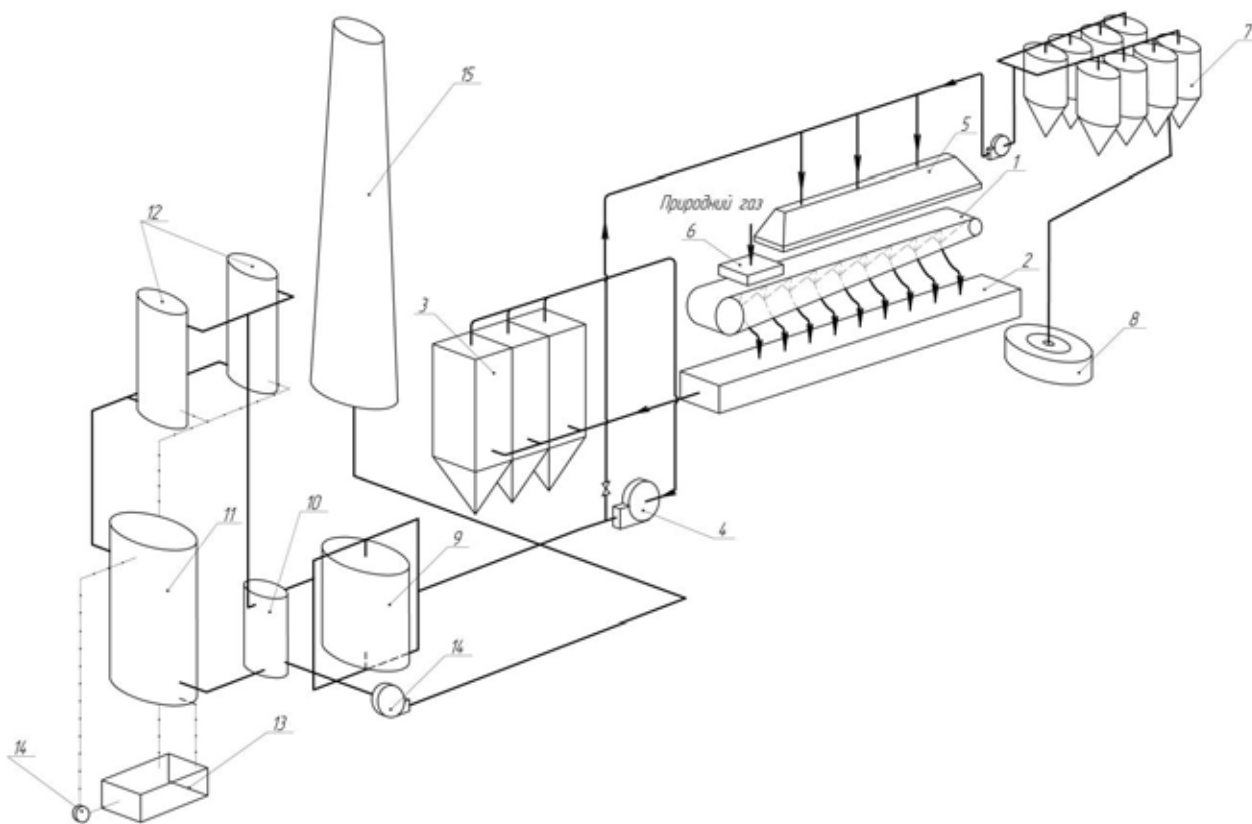


Рис. 3. Технологічна схема очистки агломераційних газів

1 – агломераційна машина, 2 – колектор, 3 – електрофільтр, 4 – ексгаустер, 5 – укриття агломашини, 6 – горн, 7 – група циклонів, 8 – охолоджувач, 9 – каталітичний реактор, 10 – теплообмінник, 11 – скруббер-поглинач, 12 – мокрий електрофільтр, 13 – бак для кислоти, 14 – димотяг, 15 – димова труба

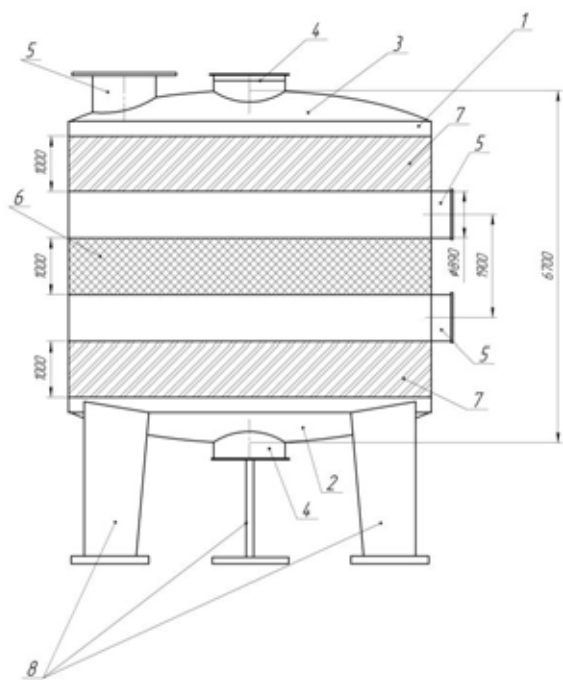


Рис. 4. Каталітичний реактор

1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – патрубок газу;
5 – оглядовий люк; 6 – каталізатор; 7 – насадка; 8 – опора

Для скрубера-поглиначи були розраховані: площа насадки, загальний об'єм насадки, внутрішній діаметр холодильника та висота насадки.

Для мокрого електрофільтра були визначені такі характеристики: необхідна площа поперечного перерізу активної зони електрофільтра, фактична швидкість газу в електрофільтрі, критична напруженість електричного поля, критичне напруження корони для електрофільтра, лінійна щільність струму корони, напруженість електричного поля, питома поверхня осадження та коефіцієнт очищення.

Результати проведених досліджень можуть бути використані для впровадження на підприємствах металургійної промисловості, що сприятиме зниженню рівня шкідливих викидів і поліпшенню екологічної ситуації.

Викладення основного матеріалу. За результатами розрахунків каталітичного реактора (рис. 4) площа фільтрації, що визначалася за умови сталості швидкості фільтрації, яка становить 1 м/с, і витраті очищуваного газу, дорівнює 38,9 м³/с.

Температура запалювання розробленого інтерметалідного каталізатора становить в межах 200-350°C, розрахунковий об'єм каталізатора становить 35 м³, висота шару каталізатора – 0,9 м. Маса каталізатора складає 21 т при насипній вазі 0,6 м³/т. Швидкість фільтрації в реакторі становить 1м/с, об'ємна швидкість фільтрації – 4000 с⁻¹.

Обираючи скрубера-поглинач, враховуємо витрату газу Q = 167 кг/год. Площа насадки із запасом 20%

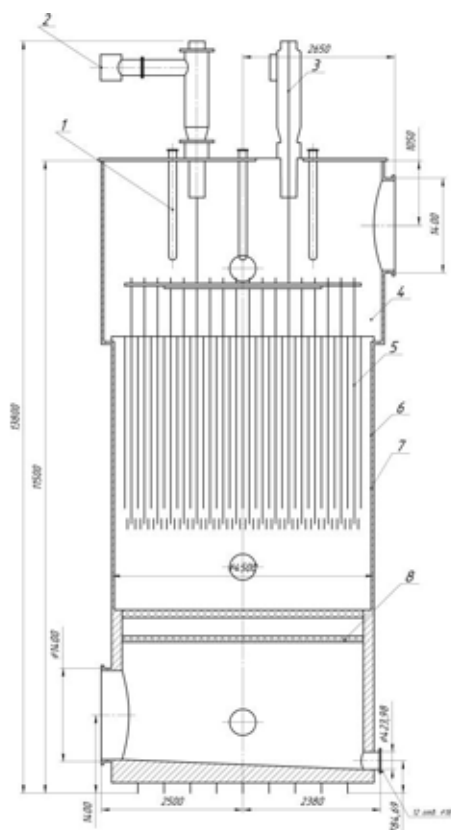


Рис. 5. Мокрий електрофільтр

1 – установка форсунок; 2 – коробка для підвода тока; 3 – ізоляторна коробка; 4 – коронуючий електрод; 5 – осаджуючий електрод; 6 – корпус; 7 – футеровка корпуса; 8 – газорозподільна решітка

складає 4620 м², що забезпечує необхідний об'єм насадки 77 м³, а її висота – 2 м.

З огляду на витрату газу за робочих умов та швидкість його руху в електрофільтрі, що становить 2,5 м/с, розраховуємо необхідну площу поперечного перерізу активної зони електрофільтра, яка дорівнює 19,4 м². Для забезпечення ефективного очищення обираємо два електрофільтри ШМК-9,6 (рис. 5), кожен з яких має площу поперечного перерізу 9,6 м², а загальна площа осадження осаджуючих фільтрів складає 530 м². Коефіцієнт очищення у мокрому електрофільтрі становить 98%. Для забезпечення роботи електрофільтру обираємо агрегат живлення типу АТФ-1000 (АТПОМ-1000).

Димотяг для установки обирається на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту. Загальний опір газового тракту складає 3580 Па. Продуктивність димотяга приймається із запасом 10%, незалежно від температури газів, але з виправленням на барометричний тиск. Для забезпечення належної ефективності процесу очищення газу до установки приймаємо димотяг ДН-21, який має наступні технічні характеристики: витрата газу – 130 000 м³/год; створюваний тиск (розрізнення) – 5787,9 Па; коефіцієнт корисної дії – 0,83;

число оборотів – 980 об/хв. Димотяг комплектується електродвигуном ДАМСО 157-8, потужність якого становить 320 кВт при напрузі в мережі 6000 В. Ці характеристики забезпечують необхідний рівень продуктивності та ефективності роботи системи газоочищення.

Отже, технічна норма продуктивності газоочисної установки складає 140000 м³/год; початкова концентрація SO₂ – 1 г/м³; кінцева концентрація SO₂ – 0,02 г/м³; питома витрата води на зрошення – 5,25 л/м³.

Висновки. Описано існуючі методи очищення газів від сірчистого ангідриду, їх переваги та недоліки. На основі цього обрано найбільш ефективну схему каталітичного очищення агломераційних газів, яка включає каталітичний реактор, теплообмінник, скруббер-поглинач та два мокрих трубчастих електрофільтри. В системі очищення газів використовували каталізатор на основі інтерметаліду Fe-Al стехіометричного складу FeAl₃, синтезований методом

теплого самозаймання. З метою збільшення каталітичної активності інтерметалід FeAl₃ був модифікований різними кількостями кобальту, ванадію, хрому, марганцю, міді в кількостях до 15 масових %. Запропонований метод хімічного очищення дозволяє досягти ступеня очищення SO₂ понад 98%, що забезпечує відповідність нормативам ПДВ. Окрім того, одержана сірчана кислота може бути використана в інших виробничих процесах підприємства, зокрема у прокатному виробництві, що підвищує економічну ефективність системи.

Обрана схема очищення є технічно обґрунтованою та надійною, забезпечує високу ефективність очищення газів при великих обсягах оброблюваних газів і має позитивний екологічний вплив на навколишнє середовище. Результати досліджень можуть бути корисними для впровадження на підприємствах металургійної промисловості, що дозволить знизити рівень шкідливих викидів та поліпшити екологічну ситуацію.

Література

1. Белоконь К. В., Мальований М. С., Тарабан Є. В. Оцінка ризику для здоров'я населення від техногенного навантаження на атмосферне повітря м. Запоріжжя. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 30-36. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5>
2. Манідіна Є. А., Рижков В. Г., Манідін В. С. Очищення технологічних газів агломераційного виробництва. *Металургія*. 2016. Вип. 1. С. 96-99.
3. Гордієнко Д. Р., Тарабан Є. В., Белоконь К. В. Впровадження ефективних методів очищення промислових викидів для покращення екологічної ситуації у місті Запоріжжя. *Екологічні науки*. 2024. № 6 (57). С. 209-215. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.31>
4. Манідіна Є.А., Смотраєв Р.В., Троїцька О.О., Беренда Н.В. Технологія очищення промислових газових викидів від сульфур(IV) оксиду (SO₂) розчинами сполук заліза (II, III). Теорія і практика металургії. Вип. 3. 2018. С. 33-36.
5. Запорізька обласна державна адміністрація. Департамент захисту довкілля. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Запорізької області у 2023 році. м. Запоріжжя. 2024. 188 стор.
6. Методи очищення газових викидів від хімічно-небезпечних речовин для підвищення ефективності фільтрувальних систем / О. В. Галак [та ін.]. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. № 18 (1294). С. 89-93.
7. Manidina Y., Belokon K., Berenda N., Troitska O. Using plasma catalysis for oxidation of sulphur dioxide to sulphur trioxide. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 2021. Vol. 8 (1). P. 15-21.
8. Белоконь К. В. Дослідження впливу фазового складу NI-AL каталізаторів на їхні фізико-хімічні та каталітичні властивості при знешкодженні газових викидів в атмосферу. *Суднобудування та морська інфраструктура*. 2020. № 1 (13). С. 38-45.
9. Дзевочко О.М., Подустов М.О., Дзевочко А.І., Пашко А.І. Аналіз методів очищення відхідних газів від двооксиду сірки. *Моделювання процесів промислового обладнання*. 2023. № 3. С. 13–23. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2023.3.02>
10. Яворський В. Т., Гелеш А. Б., Яворський І. Є., Калимон Я. А. Теоретичний аналіз хемосорбції сульфур(IV) оксиду. Обґрунтування вибору ефективного масообмінного апарата. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. № 6 (79). С. 32-40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.60312>
11. Белоконь К.В. Розробка інтерметалідних каталізаторів для знешкодження вуглецевмісних компонентів газових викидів в атмосферу : монографія. Херсон : ТОВ «Видавничий дім «Гельветика», 2019. 174 с.

Дата першого надходження рукопису до видання: 23.07.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.08.2025

Дата публікації: