

Отже, максимального ступеня очищення (83 %) досягали на залізному аноді за густини струму 0,42 А/дм<sup>2</sup> і рН 4,47.

Високий ступінь очищення цим методом можна пояснити виділенням у розчин катіонів заліза (II), (III), одержаних розчиненням анода, які взаємодіють з іонами HS<sup>-</sup> і S<sup>2-</sup> та утворюють завислі у воді сполуки типу сульфідів заліза і колоїдної сірки. Під час даного процесу відбуваються такі реакції:

– в слабкоокислому середовищі і нейтральному



– в слабколужному



Наявність колоїдної сірки ускладнює стадію вилучення завислих частинок, але, попри все, даний метод дозволяє досягнути потрібної глибини очищення.

УДК 661.24

Л.В. Савчук, В.Т. Яворський, Р.Р. Оленич, З.М. Коваль,  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра хімії і технології неорганічних речовин

## ДО ПИТАННЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ ВІД СІРКОВМІСНИХ СПОЛУК

© Савчук Л.В., Яворський В.Т., Оленич Р.Р., Коваль З.М., 2002

**Наведено результати огляду та критичного аналізу існуючих методів очищення газових викидів від сірки (IV) оксиду. Запропоновано для уловлювання використувати сорбенти виготовлені з викидів виробництв промисловості України.**

**The results are presented regarding the review and the critical analysis of existed methods of absorbtion of gas sulfur (IV) oxide. It is proposed to use sorbents prepared on the basis of discharge from industrial enterprises of Ukraine for absorbtion of SO<sub>2</sub>.**

Розвиток промисловості та енергетики спричиняє до небажаних змін у природному середовищі, зокрема, до забруднення атмосфери токсичними речовинами, найшкідливішими з яких є сполуки сірки – сірки (IV) оксид та сірководень. Джерелами виділення сполук сірки у атмосферу в Україні є такі галузі промисловості: паливно-енергетична, зокрема енергетична, металургійна, зокрема сталеплавильна, електромашинна, хімічна, будівельних матеріалів, целюлозно-паперова, легка, споживча тощо. З метою захисту атмосфери запропоновано та розроблено велику кількість методів очищення газових викидів від сполук сірки, – мокрі, сухі та напівсухі.

Мокрі методи полягають у промиванні газів поглинальними розчинами. Залежно від характеру фізико-хімічних процесів, що відбуваються під час поглинання газів, розрізняють фізичні, фізико-хімічні та хімічні методи.

У фізичних методах абсорбент добре фізично розчиняє поглинальні гази. Прикладом фізичного абсорбента щодо SO<sub>2</sub> є розчини сульфатної кислоти різної концентрації. Після

насичення поглинального розчину сірки (IV) оксидом його пропонують обробляти окисником. Ці методи значною мірою залежать від тиску та температури, а це викликає нерівномірність роботи абсорбента в циклічному режимі. Крім того, ці методи ефективні за високих і середніх концентрацій сірковмісних сполук у газі.

У фізико-хімічних методах одночасно з суто фізичним поглинанням проходить хімічна реакція між сірковмісною сировиною і абсорбентом. Ці процеси оборотні і, як правило, здійснюються за високих тисків і низьких температур. Як абсорбенти в цих методах використовують неорганічні та органічні сполуки. Промислове використання знайшли водні розчини лугів та солей, що мають лужний характер, зокрема, карбонати, сульфіти, нітрати калію, натрію і кальцію, аміак та його солі. До найпоширеніших абсорбентів органічного походження належать водні розчини амінів, спиртів, ефірів, гліколів та їх суміші, нафтяні сульфоні, гекса-метилфосфортриамід, вищі жирні кислоти тощо. Фізико-хімічні методи характеризуються порівняно дешевизною і простотою, але є малопродуктивними і вимагають подальшої переробки сірковмісної сировини у продукти.

У хімічних методах очищення одночасно з уловлюванням сірковмісних сполук проходить їх окиснення з утворенням сірки або сульфатної кислоти. Сірковмісні сполуки поглинають лужним розчином і окиснюють реагентами з окисно-відновними властивостями. Обов'язковою умовою використання окисника є не тільки його добрі окисні властивості, але й здатність до практично повної регенерації. Як поглинач використовують водні розчини соди та аміаку, носіями кисню в цих методах можуть бути неорганічні та органічні речовини, зокрема, сполуки миш'яку, заліза, хінон та його похідні.

Аналізуючи вищевикладене, можна сказати, що мокрі методи очищення сірковмісних сполук ефективні, в основному, за низьких температур, характеризуються наявністю великих обсягів мокрих стоків, відповідно, вимагають великих матеріальних затрат на впровадження.

Сухе знесірчення димових газів є ефективнішим, бо немає стоків, а залишає тільки сухі відходи. У промисловості для сухого вилучення сірковмісних газів використовують вапняк, кальцію оксид та гідроксид, натрію карбонат, а також природні карбонати, такі, як трона і нахколїт.

У лабораторних умовах досліджено і частково перевірено на пілотних установках величезна кількість сорбентів, які через їх високу вартість, недоступність і непоширеність не знайшли поки що промислового використання. При їх виборі керувалися певними вимогами до їх фізико-хімічних властивостей (велика питома поверхня, великий об'єм, величина та розташування пор). Другою важливою характеристикою адсорбента є його здатність до регенерації, тобто легкість відновлення і збереження фізико-хімічних властивостей після багатьох циклів регенерації.

За хімічним складом адсорбенти можна поділити на вугільні, неорганічні та змішані.

Основним вугільним адсорбентом є активоване вугілля, яке отримують під час теплової обробки без доступу повітря (карбонізації) з подальшою активацією (парагазовою або хімічною); при цьому одержують активат з розвинутою внутрішньою поверхнею з великою кількістю мікропор. Сировиною для одержання активованого вугілля може бути деревина, буре та кам'яне вугілля, погони рослин, шкарлупа горіхів та інші матеріали, доступні у даній місцевості. Для збільшення поглинальної здатності на поверхню активованого вугілля пропонують наносити Cu, Ag, Hg, Au, Zn, Cd, Al, Co, Ni, Pd, Pt, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Sn, Pb, Mo або W, основи (NaOH, KOH, MgOH, ZnOH тощо), кислоти (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>,

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>), органічні сполуки, такі, як політетрафторетилен, поліетилен, поліпропілен, полістирол, силіконове масло тощо, які мають високу поглинальну здатність.

До найпоширеніших неорганічних адсорбентів належить оксид алюмінію, гель кремнієвої кислоти, оксиди, гідроксиди або солі заліза, сполуки міді, цинку, хрому, нікелю, магнію, титану тощо. Вилучення кислих забруднювачів можна проводити на катіоніті, який містить метал або перехідні метали, наприклад, мідь, нікель, кобальт. Катіоніт насичують водним розчином аміаку. Солі, які утворюються, вимиваються з модифікованого катіоніту водою. Кислі складники димових газів можна вилучати введенням до газового потоку сильно подрібненого лужного адсорбенту, що є сумішшю червоного шламу (так звана маса Баєра) з гідроксидом лужноземельного металу або алюмінію. Порошок з частинками розміром 10 – 100 мк, одержаний з вольфраму, заліза, марганцю, є також добрим адсорбентом для кислих газів. Сірки (IV) оксид вилучається з димових газів під час їх контакту з композицією, що містить оксид алюмінію, ванадат натрію і фосфат або фосфорованадат натрію. З метою підвищення поглинальної здатності сухих композицій їх слід обробляти різними сполуками, зокрема, фосфору. Для здешевлення процесів очищення пропонують використовувати твердий залишок (попіл) зі спалювання вугілля, залишки виробництва азбесту (серпентин і олівін), цементний пил, активований вулканічний туф, гранульовані конверторні або доменні шлаки, металоалюмінієва шпінель.

Змішані адсорбенти – це суміші, часто рівномасові, типового вугільного адсорбенту з адсорбентом або складником неорганічним. Прикладом таких адсорбентів можуть бути оксид цинку, змішаний з графітом або оксидом алюмінію з використанням пароутворювача – азодикарбонамідом; карбонат натрію, змішаний з вугільним матеріалом, наприклад, лігніном і нагрітий вище ніж 1150К у відновному середовищі; макропористий аніоніт, оброблений етилендіаміном, пропілендіаміном або гексаметилендіаміном; спресована суміш манганату (VII) калію, бентоніту і цеоліту разом з активованим вугіллям; кокс з додатком карбонату лужного металу; мідь або залізо, хімічно зв'язане на хлорсульфонових волокнах ароматичного вінілового полімеру.

Напівсухі методи очищення як адсорбент використовують суспензії карбонатів, оксидів і гідроксидів кальцію (реактивні), або ті, що містяться у викидах різних виробництв (цементний пил, шлак, карбонатні і гідрокарбонатні викиди цукрового виробництва тощо). Кінцевим продуктом за такого очищення є гіпс, який може бути використаним у будівельній промисловості. З метою підвищення абсорбційної ємності суспензій до них додають солі магнію, хлорид кальцію, сполуки фосфору, слабкі моно- або поліосновні кислоти. Напівсухі методи є багатостадійними, громіздкими і характеризуються утворенням побічних продуктів які потрібно утилізувати. Все це негативно вплинуло на їх використання в промисловості.

Такий широкий спектр речовин, що характеризуються поглинальною здатністю щодо сірковмісних сполук, дає змогу звернути увагу і поспробувати дослідити поглинальну здатність ряду відходів виробництв, зокрема технології неорганічних виробництв, збагачення вугілля тощо. Саме ці дослідження будуть проводитися за подальшої роботи для вирішення проблеми очищення газових викидів від двооксиду сірки і сірководню.