

Винахід відноситься до способів регенерації сірчаної, азотної та плавикової кислот з відпрацьованих травильних розчинів (ВТР), отриманих під час травлення металу, та може бути використаний у металургійному та машинобудівному виробництвах.

У процесі травлення вуглецевих сталей сірчаною кислотою і високолегованих сталей та титанових сплавів азотною кислотою або сумішшю азотної та плавикової кислот утворюється значна кількість відпрацьованих травильних розчинів. Сірчано-кислотні відпрацьовані травильні розчини складаються, в основному, з водного розчину сірчаної кислоти та сульфату заліза. Азотно-плавиково-кислотні відпрацьовані травильні розчини являють собою складну водно-сольову систему, що містить азотну та плавикову кислоти, азотнокислі солі заліза і легуючих елементів (переважно, нітрату заліза), солі плавикової кислоти і комплексні іони H^+ , Fe^{3+} , TiO^{2+} , Cr^{3+} , Mo^{6+} , W^{6+} , Nb^{5+} , V^{6+} з фторид-іонами. Нітрат-іон у таких розчинах знаходиться, переважно, у вигляді нітрату заліза, а фторид-іон - у вигляді залізофторидних комплексів – FeF^{2+} , FeF_2^+ .

З точки зору економічної доцільності і екологічної безпеки відпрацьовані травильні розчини необхідно піддавати такій регенерації, при якій з відпрацьованих розчинів вивільняються не тільки "вільні", але і "зв'язані" (із солей) кислоти, а значить процес регенерації повинен здійснюватися в напрямі, зворотному процесу травлення металу.

Відомий спосіб регенерації сірчаної кислоти з ВТР шляхом окислювання киснем сульфату заліза (II) у сульфат заліза (III), випарювання розчину до випадання кристалів сульфату заліза (III), відділення кристалів і розчинення їх у воді, очищення отриманого розчину від заліза за допомогою катіоніта й одержання 50%-го розчину сірчаної кислоти, промивання катіоніта соляною кислотою й одержання розчину хлорного заліза [патент Японії, № 53-3992].

Одержанню очікуваного технічного результату при використанні цього способу перешкоджає недостатній ступінь регенерації сірчаної кислоти, тому що витягається тільки "вільна" кислота, а "зв'язана" - у виді сульфатів заліза (II) і (III), переходить у відхід, який необхідно піддавати подальшій переробці, що знижує економічну ефективність і екологічну безпеку.

Відомий спосіб термічного розкладання сірчано-кислотних ВТР при температурі 900-1300°C у полум'ї вуглецевого матеріалу [патент Великобританії, № 1462925].

Одержанню очікуваного технічного результату при використанні цього способу перешкоджає неповнота регенерації сірчаної кислоти, у зв'язку з відновленням значної маси сірчаного ангідриду до сірчистого ангідриду, і в необхідності додаткових операцій по очищенню газів, які відходять, від сірчистого ангідриду, що знижує економічну ефективність.

Відомий спосіб термічного розкладання відпрацьованої сірчаної кислоти шляхом розпилення розчину через ультразвукову форсунку, одночасної подачі палива і спільного спалювання суміші. При цьому, розкладання розчину протікає з утворенням сірчистого ангідриду, що не забезпечує регенерацію сірчаної кислоти [патент ФРН, № 2506438].

Відомий спосіб регенерації сірчаної кислоти з ВТР шляхом його випарювання при температурі <1200°C, розпилення упареного розчину за допомогою повітря з одночасною подачею палива і спалювання суміші при температурі близько 1650°C [патент Великобританії, № 1120072].

Одержанню очікуваного технічного результату при використанні цього способу перешкоджає утворення значної маси сірчистого ангідриду, що знижує ступінь регенерації сірчаної кислоти, у необхідності застосування матеріалів, стійких в агресивних середовищах при температурі близько 1650°C. Крім того, необхідне використання дорогого очищення газів, що відходять, від сірчистого ангідриду.

Відомий також спосіб регенерації відпрацьованих сірчано-кислотних розчинів шляхом випарювання при температурі не вище 139°C, змішування упареного розчину з пальним, що містить вуглець, і спалювання суміші в окисному середовищі при температурі близько 1670°C. Гази після спалювання суміші пропускають через сухий сепаратор для осадження оксиду заліза, а потім уловлюють сірчаний ангідрид водою в скрубєрі [патент США, №5380007].

Одержанню очікуваного технічного результату при використанні цього способу перешкоджає недостатній ступінь регенерації сірчаної кислоти у зв'язку з утворенням сірчистого газу та необхідність застосування дефіцитних матеріалів, стійких в агресивному середовищі при температурі близько 1670°C.

Найбільш близьким за сукупністю ознак до винаходу, що заявляється, є обраний за прототип спосіб регенерації сірчано-кислотних ВТР, що здійснюється у кілька стадій і включає концентрування упарюванням, термічне розкладання розчину після упарювання та конденсацію кислоти. Спочатку розчин концентрують упарюванням шляхом нагрівання гарячими газами, що містять сірчаний ангідрид з одержанням азеотропної суміші. Отриманий розчин подають у випарник і при температурі 450°C одержують безводні сульфати заліза і сірчаний ангідрид. Потім сульфати заліза розкладають в атмосфері кисню при температурі 600°C на оксиди металів, сірчаний і сірчистий ангідриди. Сірчаний ангідрид поглинають в абсорбері з утворенням розчинів сірчаної кислоти [патент ФРН, № 2643798].

У способі регенерації відпрацьованих травильних розчинів, що заявляється, та обраному прототипу збігаються такі суттєві ознаки. Обидва способи включають концентрування упарюванням, термічне розкладання розчину після упарювання та конденсацію кислоти.

Одержанню очікуваного технічного результату при використанні прототипу перешкоджають такі причини.

1. Виділення "зв'язаної" сірчаної кислоти за допомогою пірогідролізу можливе лише при попередньому повному окислюванні Fe^{2+} до Fe^{3+} (при повному перетворенні $FeSO_4$ у $Fe_2(SO_4)_3$), тому що сульфат заліза (II) гідролізується дуже слабо і, в основному, розкладається з утворенням сірчистого ангідриду. Однак окислювання Fe^{2+} киснем повітря в умовах термообробки в присутності сірчаної кислоти протікає порівняно повільно навіть при високих температурах і тисках; гідроліз $FeSO_4$ супроводжується утворенням основних солей. У свою чергу, неповнота окислювання сірчистого ангідриду (ефективне окислювання можливе лише в присутності каталізаторів, наприклад, платини) і низька швидкість його окислювання обумовлюють недостатній ступінь регенерації сірчаної кислоти.

2. Для здійснення способу за прототипом потрібна складна технологічна схема установки з великою кількістю високотемпературних газових потоків з поверненням сірчаного ангідриду на первісну стадію, що знижує інтенсифікацію процесу регенерації.

3. Крім того, на більшості підприємств чорної металургії організоване одночасне безперервне травлення вуглецевих сталей сірчаною кислотою і легованих сталей сумішшю азотної і плавикової кислот. При цьому було б доцільне таке технічне рішення, яке б дозволило на одній установці одночасно регенерувати як сірчано-кислотні, так і азотно-плавиково-кислотні ВТР. Однак, по способу за прототипом комплексну регенерацію здійснювати неможливо, що суттєво знижує його економічну ефективність, тому що азотна і плавикова кислоти дорогі і дефіцитні.

В основу винаходу поставлено технічну задачу створити такий спосіб регенерації відпрацьованих травильних розчинів, в якому шляхом уведення нової сукупності дій дозволило б при використанні винаходу забезпечити досягнення технічного результату, що полягає в підвищенні ступеня регенерації сірчано-кислотних відпрацьованих травильних розчинів, інтенсифікації процесу, підвищенні економічної ефективності й екологічної безпеки процесу регенерації.

Спосіб регенерації відпрацьованих травильних розчинів, що заявляється, включає концентрування упарюванням, термічне розкладання розчину після упарювання та конденсацію кислоти. При цьому на першій стадії регенерації змішують азотно-плавиково-кислотні та сірчано-кислотні відпрацьовані травильні розчини в об'ємному співвідношенні (0,2-2,5):1. На другій стадії суміш упарюють при температурі 150-210°C і конденсують азотну і плавикову кислоти. На третій стадії упарену суміш термічне розкладають, відводять оксиди металів і конденсують сірчану кислоту.

В окремих випадках використання способу регенерації відпрацьованих травильних розчинів, що заявляється, характеризується тим, що:

- до вихідного сірчано-кислотного відпрацьованого травильного розчину додають сірчану кислоту, забезпечуючи її концентрацію в суміші азотно-плавиково-кислотних та сірчано-кислотних відпрацьованих травильних розчинів на рівні 18-80%, переважно, 20%;

- термічне розкладання упареної суміші здійснюють у киплячому шарі при температурі 750-1200°C.

При використанні винаходу очікується досягнення технічного результату, що полягає в підвищенні ступеня регенерації відпрацьованих травильних розчинів, інтенсифікації процесу, підвищенні економічної ефективності й екологічної безпеки процесу регенерації.

Між суттєвими ознаками способу регенерації відпрацьованих травильних розчинів, що заявляється, і технічним результатом, що досягається, існує такий причинно-наслідковий зв'язок. Змішування на першій стадії регенерації азотно-плавиково-кислотних та сірчано-кислотних відпрацьованих травильних розчинів в об'ємному співвідношенні (0,2-2,5):1, упарювання суміші на другій стадії при температурі 150-210°C і конденсація азотної і плавикової кислот, термічне розкладання упареної суміші на третій стадії, відведення оксидів металів і конденсація сірчаної кислоти сприяють повному суміщенню упарювання, окислювання сульфату заліза (II) до сульфату заліза (III) $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$, розкладання нітратів і фтористих з'єднань, відгону парів азотної і плавикової кислот та їхньої конденсації з одержанням розчину суміші кислот. Це дозволяє вести безперервну подачу вихідної суміші ВТР у випарний апарат і безперервний відвід упареного розчину на пірогідроліз у реактор з киплячим шаром, тобто здійснювати безперервний процес регенерації кислот із суміші ВТР. Процеси окислювання сульфату заліза (II), розкладання азотно-кислих і фтористих з'єднань з утворенням і плавиковою кислотами відбуваються практично миттєво, тобто процес регенерації в порівнянні з відомим способом, де окислювання роблять киснем, здійснюється значно інтенсивніше.

Змішувати азотно-плавиково-кислотні і сірчано-кислотні ВТР при їх об'ємному співвідношенні більше 2,5:1 недоцільно, тому що це призводить до накопичення в упареному розчині азотно-кислих і фтористих з'єднань, їх наступному термічному розкладанню з утворенням оксидів азоту і фтористого водню, що веде до забруднення ними регенованої сірчаної кислоти і навколишнього середовища. Змішувати азотно-плавиково-кислотні і сірчано-кислотні ВТР при їх об'ємному співвідношенні менше 0,2:1 недоцільно, тому що це призводить до накопичення в упареному розчині сульфату заліза (II), його наступному термічному розкладанню з утворенням сірчаного ангідриду внаслідок цього - до зниження ступеня регенерації сірчано-кислотних ВТР.

Вибір інтервалу температур 150-210°C для упарювання суміші ВТР обумовлений результатами досліджень. Зменшення температури упарювання нижче 150°C веде до зниження ступеня окислювання сульфату заліза (II) і розкладання нітратів і фтористих з'єднань, до накопичення їх в упареному розчині і, внаслідок цього, до зниження ступеня регенерації сірчаної кислоти і навколишнього середовища нітратами і фторидами. При температурі упарювання вище 210°C різко зростає парціальний тиск парів сірчаної кислоти над киплячим розчином, що веде до значного її випару у вигляді туману і спільної конденсації азотної, плавикової і сірчаної кислот. Унаслідок цього, також знижується ступінь регенерації сірчано-кислотного ВТР.

Використання суміші азотно-плавиково-кислотних та сірчано-кислотних відпрацьованих травильних розчинів з концентрацією сірчаної кислоти менш 18% у ряді випадків недоцільно, бо приводить до накопичення в упареному розчині сульфату заліза (II), азотно-кислих і фтористих з'єднань, їх наступному термічному розкладанню з утворенням сірчаного ангідриду, оксидів азоту і фтористого водню, що приводить до зниження ступеня регенерації сірчано-кислотних ВТР, забрудненню одержаної сірчаної кислоти і навколишнього середовища. Додавання до вихідного сірчано-кислотного відпрацьованого травильного розчину сірчаної кислоти до її концентрації в суміші азотно-плавиково-кислотних та сірчано-кислотних відпрацьованих травильних розчинів більше 80% недоцільно тому, що різко зростає парціальний тиск парів сірчаної кислоти над киплячим розчином, що веде до значного її випару у вигляді туману і спільної конденсації азотної, плавикової і сірчаної кислот. Унаслідок цього знижується ступінь регенерації сірчано-кислотного ВТР. Концентрацію сірчаної кислоти в суміші азотно-плавиково-кислотних та сірчано-кислотних відпрацьованих травильних розчинів доцільно підтримувати на рівні, переважно, 20% з точки зору оптимальності витрат концентрованої сірчаної кислоти, що додають у вихідний сірчано-кислотний відпрацьований травильний розчин перед регенерацією.

Температурний інтервал 750-1250°C для термічного розкладання упареної суміші у киплячому шарі обраний також на підставі експериментальних досліджень. Зменшення температури розкладання до менше 750°C веде до зниження ступеня розкладання сульфату заліза (III) і, внаслідок цього, до зниження ступеня регенерації сірчаноокислотних ВТР. Підвищення температури розкладання до більше 1250°C недоцільно, тому що приводить до дисоціації сірчаної кислоти з утворенням сірчистого ангідриду, і, отже, до зниження ступеня регенерації сірчаноокислотних ВТР.

При регенерації ВТР по способу, що заявляється окислювання сульфату заліза (II) йде без утворення сірчистого ангідриду, а термічне розкладання упареного розчину протікає практично повно з утворенням пару H_2SO_4 і без утворення сірчистого і сірчаного ангідридів, що значно підвищує ступінь регенерації сірчаної кислоти в порівнянні з відомим способом. У результаті дослідження було встановлено, що процес окислювання сульфату заліза (II) азотно-плавиковоокислотними ВТР протікає практично миттєво, перевершує швидкості аналогічних процесів киснем, азотною кислотою й іншими окислювачами. Можливо, це обумовлене каталітичною дією іонів легуючих металів, які присутні в азотно-плавиковоокислотних ВТР.

Запропонований спосіб дозволяє здійснювати повну і безвідхідну регенерацію суміші кислот, при якій з ВТР вивільняються не тільки "вільні", але і "зв'язані" (із солей) кислоти.

Приведена послідовність операцій дозволяє створити оптимальні умови для безвідхідної комплексної регенерації суміші сірчаноокислотних і азотно-плавиковоокислотних ВТР із практично повним поверненням у травильні лінії витрачених на травлення металу кислот і утилізації оксиду заліза. Така регенерація може бути рекомендована до впровадження в травильних лініях з безперервним травленням вуглецевих сталей у прохідних ваннах сірчаною кислотою і легуваними сталями азотної або сумішшою азотної і плавикової кислот.

Високий ступінь регенерації азотної і плавикової кислот дозволяє значно підвищити економічність способу, у порівнянні з відомим тому що ці кислоти, особливо плавикова, дуже дорогі і дефіцитні.

У конкретному прикладі спосіб регенерації відпрацьованих травильних розчинів, що заявляється, здійснюється так. Сірчаноокислотні ВТР, підкріплені в змішувачі-дозаторі концентрованою сірчаною кислотою, і азотно-плавиковоокислотні ВТР заливають у відповідні напірні баки, а відтіля - у відповідній об'ємній пропорції, вони надходять у змішувач. Дозування концентрованої сірчаної кислоти до сірчаноокислотних ВТР регулюють таким чином, щоб концентрація сірчаної кислоти в суміші ВТР складала не менше 18%. Зі змішувача суміш ВТР за допомогою насоса направляють у реактор-концентратор. Суміш безупинно концентрують при температурі в інтервалі від 150 до 210°C при безперервній подачі в розчин за допомогою повітрорудки свіжого повітря, що необхідне для регулювання температури розчину і для окислювання, що утворюється в результаті окислювально-відновної реакції оксиду азоту (II) у діоксид. Парогазову суміш, що містить пари азотної і плавикової кислот, направляють у циклон для відділення крапель рідини, потім з температурою 130-135°C направляють у холодильник (змонтований разом з конденсатором), де охолоджують до температури 105-110°C, а після нього направляють на конденсацію в конденсатор. Як охолодний агент використовують технічну воду, що подають у трубний простір, а парогазову суміш подають у міжтрубний простір. Пари азотної і плавикової кислот конденсуються з утворенням розчину суміші кислот складу 6-17% HNO_3 і 2-8% HF . Такі розчини задовольняють вимогам, пропонованим до травильних розчинів і вони можуть цілком використовуватися при травленні легуваних сталей. Ступінь регенерації кислот при їхній спільній конденсації складає: для HNO_3 98,9-99,6%; для HF 99,7-99,9%.

При упарюванні суміші ВТР у реакторі-концентраторі в результаті окислювально-відновних процесів і розкладання нітратів і фторидних комплексів металів сульфат і нітрат заліза (II) і його фторидні комплекси переходять у сульфат заліза (III). При концентрації сірчаної кислоти в суміші, що упарюється, не нижче 70% розчинність $Fe_2(SO_4)_3$ дуже мала (не більш 0,1%), унаслідок чого він переходить в осад без утворення кристалогідратів.

Після упарювання розчин, що містить концентровану сірчану кислоту, сульфат оксиду заліза (III) і домішки сульфатів легуючих елементів, направляють у збірник, а потім - у реактор з киплячим шаром, де пульпу піддають термічному розкладанню при температурі 750-1250°C. У якості вихідного киплячого шару використовують гранули оксиду заліза із середнім діаметром 0,5 мм.

У результаті пірогідролізу утворюються частки оксиду заліза з невеликими домішками оксидів легуючих металів, розмір основної маси (до 95%) яких складають 0,4-0,6 мм. Великі частки постійно віддаляються з реактора через спеціальний пристрій, а дрібні захоплюються теплоносієм назустріч розосередженому потокові падаючої суспензії, частки якої захоплюють пил у киплячий шар. Гарячі гази, що містять пари сірчаної кислоти, після охолодження в теплообмінному змійовику до 270-275°C, направляються в трубчастий конденсатор для конденсації сірчаної кислоти. Парогазову суміш пропускають через трубний простір (внутрішній діаметр трубок 7-8 мм), а охолодний агент (холодне повітря) пропускають через міжтрубний простір.

Для уловлювання тумана сірчаної кислоти на виході з конденсатора устанавлюється фільтр з нетканним іонообмінним волокном.

Ступінь регенерації сірчаної кислоти складає 99,6%. Концентрація її в розчині складає 98,3%. Оксид заліза видаляють у вигляді сферичних гранул (діаметр 0,5-0,6 мм, густина 3300-3500 kg/m^3 , міцність 4500-6000 Н/гранулу.) Низький вміст домішок (до 0,5%) дає можливість використовувати цей гранульований оксид заліза в електронній промисловості.

Приклад 1. Змішують 10,3 л азотно-плавиковоокислотного ВТР після травлення високолегованих сталей і титанових сплавів, що містить (г/л): HNO_3 - 82,1 (7,9%-й розчин), HF - 15,1 (1,5%-й розчин), NO_3 (загальний) - 234,6, F (загальний) - 89,3, Fe^{3+} - 115,0, Ni^{2+} - 0,88, Cr^{3+} - 0,73, Ti_2 - 5,75, W^{6+} - 0,21, Nb^{5+} - 0,05, Mo^{6+} - 0,04, W^{6+} - 0,003 і 19,7 л сірчаноокислотного ВТР після травлення вуглецевих сталей, що містить (г/л): H_2SO_4 - 78,7 (7,5%-й розчин), Fe^{2+} - 91,9, SO_4^{2-} (загальний) - 235,2, попередньо додавши до нього 95,6%-у H_2SO_4 до концентрації її в суміші 237,2 г/л (20,7%-й розчин). Об'ємне співвідношення азотно-плавиковоокислотного та сірчаноокислотного відпрацьованих травильних розчинів складає 0,52:1.

Суміш упарюють при температурі 210°C у випарному апараті продуктивністю 35 л/год з нагріванням розчину полум'ям газового пальника через стінку. Парогазову суміш конденсують з одержанням 21,9 л/год розчину, що містить 14,4%-у HNO_3 і 4,4%-у HF . Упарений розчин у кількості 18,6 кг/год, із вмістом 41,4% (мас) рідкої фази (80%-й розчин H_2SO_4 і домішки сульфатів легуючих металів) і 58,6% (мас) твердої фази $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ і домішки сульфатів легуючих металів термічно розкладають у киплячому шарі при температурі 880°C з одержанням 4,4 кг/год гранульованих продуктів (Fe_2O_3 - 98,2% (мас) і оксидів легуючих металів - 1,8% (мас) і парів сірчаної кислоти. Парогазову суміш конденсують з одержанням 11,3 кг/год 98,3%-й H_2SO_4 . Ступінь регенерації кислот складала: H_2SO_4 - 99,6%, HNO_3 - 99,5%, HF - 99,6%.

Окислювання сульфату заліза (II) йде без утворення сірчистого ангідриду, а термічне розкладання упареного розчину протікає практично повно з утворенням парів H_2SO_4 і без утворення сірчистого і сірчаного ангідридів, що значно підвищує ступінь регенерації сірчаної кислоти в порівнянні з відомими способами. Процеси окислювання сульфату заліза (II), розкладання азотнокислих і фтористих з'єднань з утворенням азотної і плавикової кислот відбуваються практично миттєво, тобто значніше інтенсивніше процес регенерації в порівнянні з відомим способом (прототипом) де окислювання роблять киснем. Високий ступінь регенерації азотної і плавикової кислот дозволяє значно підвищити економічність способу так як ці кислоти, особливо плавикова, дуже дорогі і дефіцитні.

Приклад 2. Змішують 20 л азотно-плавиковоокислотного ВТР після травлення високолегованих сталей і титанових сплавів, що містить (г/л) HNO_3 - 97,2 (9,3%-й розчин), HF - 25,1 (2,5%-й розчин), NO_3^- (загальний) - 189,8, F^- (загальний) - 74,2, Fe^{3+} - 74,3, Ni^{2+} - 0,61, Cr^{3+} - 0,60, Ti^{2+} - 5,34, V^{5+} - 0,17, Nb^{5+} - 0,045, Mo^{6+} - 0,03, W^{6+} - 0,002 і 10 л сірчаноокислотного ВТР після травлення вуглецевих сталей, що містить (г/л) H_2SO_4 - 106,8 (10%-й розчин), Fe^{2+} - 76,8, SO_4^{2-} (загальний) - 236,7, попередньо додавши до нього 95,6%-у H_2SO_4 до концентрації її в суміші 220,2 г/л (19,4%-й розчин). Об'ємне співвідношення азотно-плавиковоокислотного та сірчаноокислотного відпрацьованих травильних розчинів складає 2:1.

Суміш упарюють при температурі 169°C у випарному апараті продуктивністю 35 л/год з нагріванням розчину полум'ям газового пальника через стінку. Парогазову суміш конденсують з одержанням 21,2 л/год розчину, що містить 16,2%-у HNO_3 і 7,2%-у HF . Упарений розчин, у кількості 16,1 кг/год, що містить 39,6% (мас) рідкої фази (70%-й розчин H_2SO_4 і домішки сульфатів легуючих металів) і 60,4% (мас) твердої фази $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$ і домішки сульфатів легуючих металів термічно розкладають у киплячому шарі при температурі 1000°C з одержанням 3,4 кг/год гранульованого продукту, який містить Fe_2O_3 - 95,0% (мас), оксиди легуючих металів - 5,0% (мас) і парів сірчаної кислоти. Парогазову суміш конденсують з одержанням 8,9 кг/год розчину 98,5%-ї H_2SO_4 . Ступінь регенерації кислот складала: H_2SO_4 - 99,6%, HNO_3 - 99,6%, HF - 99,9%.

Таким чином, спосіб регенерації ВТР, що заявляється, у порівнянні з відомим способом-прототипом, дозволяє:

- значно підвищити ступінь регенерації сірчаної кислоти;
- інтенсифікувати процес регенерації сірчаної кислоти, що дає можливість вести безперервний процес регенерації в установках будь-якої продуктивності;
- значно підвищити економічну ефективність, тому що в технологічний процес травлення металів повертають не тільки сірчану кислоту, але також дорогі і дефіцитні плавикову й азотну кислоти. До того ж, утворені при термічному розкладанні упареного розчину оксиди металів, у гранульованому виді, можуть бути використані в якості залізної сировини на аглофабриці або як товарна продукція в електротехнічній промисловості.
- значно підвищити екологічну безпеку, тому що в результаті регенерації можна утилізувати, як корисні продукти, шкідливі й екологічно небезпечні компоненти ВТР - нітрати, фториди і важкі метали.