Практична робота №9

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ТЕРМІЧНОЇ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНОГО АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ**

**Мета роботи:** визначити клас небезпеки та основні проблеми, пов'язані з утилізацією відпрацьованого активованого вугілля, насиченого органічними забруднювачами; обґрунтувати вибір термічної регенерації як найбільш ефективного альтернативного методу; розробити принципову блок-схему процесу термічної регенерації, включаючи екологічні запобіжні заходи.

**Теоретичні відомості**

**Відпрацьоване активоване вугілля** (ВАВ) – це, як правило, твердий небезпечний відхід (залежно від адсорбованих речовин). Його захоронення є неефективним і створює ризики забруднення ґрунту та ґрунтових вод.

**Термічна регенерація** (або реактивація) – це процес, який відновлює адсорбційну здатність вугілля шляхом його нагрівання до високих температур (700-950℃) в умовах, що контролюються, з подальшою активацією парою.

**Хід роботи**

**1. Аналіз вихідного матеріалу (ВАВ)**

* **Проблема:** ВАВ (насичене, наприклад, фенолами або хлорорганікою) має бути утилізоване. Обґрунтуйте, чому захоронення та спалювання без регенерації є небажаними.
* **Вибір технології:** Поясніть, чому термічна регенерація (яка забезпечує відновлення пористості та повторне використання) є пріоритетною альтернативною технологією захисту довкілля.

**2. Розробка технологічної блок-схеми**

Використовуючи графічний редактор, створіть блок-схему процесу термічної регенерації ВАВ (з використанням, наприклад, багатоподової або обертової печі):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Стадія процесу | Опис стадії та ключові умови |
|  | Попередня обробка або зневоднення | **Мета:** Зменшити вміст вільної води, щоб мінімізувати енерговитрати на наступних етапах. **Процес:** ВАВ, яке зазвичай надходить у вигляді суспензії або вологої маси, піддається механічному зневодненню. Це може бути здійснено за допомогою **центрифуг** або **фільтр-пресів**. На цьому етапі може також відбуватися промивання (наприклад, кислотами або лугами), якщо необхідно видалити значну кількість неорганічних домішок (солей, важких металів), які можуть пошкодити піч або погіршити якість регенерованого вугілля. **Результат:** Зниження вологості до 40-60%. |
|  | Сушка (до 150℃) | **Мета:** Випаровування залишкової вологи, щоб запобігти різким змінам температури та утворенню пари, яка може порушити роботу печі. **Процес:** Вугілля подається у верхню частину печі або окремий сушильний апарат. Нагрів відбувається повільно, щоб уникнути розтріскування гранул вугілля (термічного шоку). **Ключовий момент:** Вода випаровується, але адсорбовані органічні речовини залишаються на місці. |
|  | Піроліз або Десорбція (до 600℃) | **Мета:** Видалення та руйнування більшості адсорбованих органічних речовин. **Процес:** В умовах обмеженого доступу кисню (анаеробні умови) органічні сполуки **десорбуються** (випаровуються) або піддаються **піролізу** (термічному розкладу) на легші, леткі компоненти та вуглецевий залишок. **Ключовий момент:** Утворені гази та пари (органічні леткі сполуки, метан, водень) направляються в систему очищення газів (блок №6) для подальшого спалювання або утилізації. |
|  | Високотемпературна активація або газифікація (до 950℃) | **Мета:** Відновлення первісної пористої структури вугілля, що була частково заблокована залишками органіки (коксом) та вуглецевим осадом. **Процес:** У піч подається **перегріта водяна пара** або іноді . Ці речовини діють як **газифікуючі агенти**, селективно реагуючи з вуглецевим залишком (коксом) на поверхні пор: С+Н2О→СО+Н2 та С+2Н2О→СО2+2Н2. Ця реакція "випалює" заблоковані пори, відновлюючи адсорбційну здатність вугілля. **Ключовий момент:** Це найважливіша стадія, що відрізняє регенерацію від звичайного спалювання. |
|  | Охолодження та гасіння | **Мета:** Різке зниження температури регенерованого вугілля, щоб запобігти його окисленню киснем повітря (самозайманню) та зберегти відновлену пористу структуру. **Процес:** Гаряче вугілля, що виходить з печі, швидко охолоджується, як правило, шляхом занурення у воду (так зване "гасіння"). |
|  | Очищення відхідних газів (ВГ) | **Мета:** Забезпечення екологічної безпеки процесу шляхом видалення забруднюючих речовин (ЛОС, оксиди азоту, SO2, тверді частки), що утворилися під час піролізу та активації. **Процес:** Відхідні гази з печі, що містять продукти піролізу (блок №3), часто проходять через **термічний допалювач** (камеру високотемпературного спалювання), щоб повністю зруйнувати небезпечні органічні сполуки (наприклад, діоксини/фурани). Після цього гази охолоджуються та очищаються в **циклонах/фільтрах** (від пилу) та **скруберах** (від SO2, HCl та інших кислотних газів). |
|  | Контроль якості та зберігання | **Мета:** Переконатися, що регенероване вугілля відповідає вимогам для повторного використання. **Процес:** Проводяться лабораторні тести, головним чином, на визначення **йодного числа** або **адсорбційної ємності по метиленовому синьому**. Ці показники демонструють, наскільки повноцінно відновлена адсорбційна здатність. Якісне вугілля після цього пакується та відправляється на повторне використання. |

**Порівняння печей для термічної регенерації ВАВ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристика | Багатоподова піч (MHF) | Обертова піч (RK) |
| Конструкція | Вертикальна, циліндрична. Всередині розташовані горизонтальні поди (полиці) та центральний обертовий вал із граблями (рамами). | Горизонтальний, циліндричний барабан, що повільно обертається (нахил 2-4°). |
| Принцип руху ВАВ | Вугілля подається зверху. Граблі постійно перемішують вугілля і перекидають його через отвори з одного пода на нижчий, забезпечуючи рух зверху вниз. | Вугілля подається з верхнього (холодного) кінця. Завдяки обертанню та нахилу барабана, вугілля рівномірно перемішується і просувається до нижнього (гарячого) кінця. |
| Температурний профіль | Ідеальний для послідовних стадій. Різні поди підтримують різні температури, дозволяючи чітко розділити сушку, піроліз та активацію. | Градієнт температури по довжині печі (від сушки до активації). Менш точне розділення стадій. |
| Ключові переваги | Висока якість регенерації (завдяки чіткому зонуванню), низькі втрати вугілля у вигляді пилу. | Висока продуктивність, простота конструкції та обслуговування (менше рухомих частин у високотемпературній зоні). |
| Основні недоліки | Складна механіка (граблі), вищі витрати на обслуговування, менша продуктивність. | Вищі втрати вугілля у вигляді пилу через інтенсивне перемішування, менший контроль над температурними зонами. |

**Деталізація процесу регенерації для кожного типу печі**

**Багатоподова піч (MHF)** - ця піч ідеально відповідає послідовності стадій, описаних у практичній роботі, оскільки вона створює чіткі температурні зони (поди).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Стадія (Поди) | Температура | Функція печі |
| Сушка (Верхні поди) | 100-300℃ | Вугілля надходить і перемішується граблями. Випаровується вільна вода. Відпрацьовані гази печі використовуються для нагріву. |
| Піроліз/Десорбція (Середні поди) | 300-600℃ | Органічні забруднювачі випаровуються та розкладаються. Утворені гази збираються та направляються на допалювання (блок №6). |
| Активація (Нижні поди) | 750-950℃ | Сюди подається перегріта водяна пара. Пара реагує з вуглецевим залишком (коксом), відновлюючи мікропори. |

**Обертова піч (RK) –** це нахилений циліндр, де матеріал повільно просувається, а тепло передається через стінки та конвекцією.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Стадія (Зони печі) | Температура | Функція печі |
| Сушка (Холодний кінець) | 100-300℃ | Вугілля потрапляє в піч. Вода випаровується. |
| Піроліз/Десорбція (Центральна зона) | 300-600℃ | Органіка десорбується та розкладається. Завдяки обертанню забезпечується інтенсивне перемішування, що може бути як перевагою (рівномірний нагрів), так і недоліком (більше пилу). |
| Активація (Гарячий кінець) | 750-950℃ | Сюди подається перегріта водяна пара. Відбувається газифікація залишків коксу та відновлення пор. |

Обидва типи печей здатні здійснити повний цикл регенерації. Однак, багатоподова піч є більш поширеною для регенерації гранульованого активованого вугілля, оскільки забезпечує вищу якість регенерату та менше руйнування гранул. Обертова піч використовується там, де потрібна велика продуктивність або обробка дрібнодисперсного (порошкоподібного) вугілля.

**3. Висновки:**

1. У висновках оцініть екологічний ефект регенерації (зменшення обсягів небезпечних відходів, економія природних ресурсів).
2. Вкажіть, які екологічні ризики притаманні цій технології та як їх мінімізувати (зокрема, за рахунок блоку №6).

**Контрольні запитання**

1. У чому полягає принципова екологічна небезпека відпрацьованого активованого вугілля (ВАВ) порівняно зі звичайним будівельним сміттям?
2. Які три основні проблеми мулу з відстійників (ОСМ) вирішуються при застосуванні альтернативних технологій (окрім захоронення)?
3. Назвіть основну перевагу термічної регенерації ВАВ перед його звичайним спалюванням.
4. Яку енергетичну цінність має технологія анаеробного зброджування ОСМ?
5. Чому стадія попередньої сушки ВАВ є важливою з погляду енергоефективності процесу регенерації?
6. У чому полягає хімічна суть процесу піролізу/десорбції (стадія 3) і які речовини при цьому виділяються?
7. Навіщо на стадії високотемпературної активації (стадія 4) використовується перегріта водяна пара, а не просто повітря?
8. Як називається ключовий показник, за яким оцінюється успішність регенерації ВАВ на стадії контролю якості (стадія 7)?
9. Які екологічні запобіжні заходи обов'язково повинні бути включені в блок очищення відхідних газів (стадія 6) при термічній регенерації?
10. Яка основна ціль стадії згущення мулу (стадія 1) перед його подачею в метантенк?
11. Назвіть два основні гази, що утворюються в процесі анаеробного зброджування в реакторі (метантенку).
12. Що таке мезофільний та термофільний режими зброджування, і який з них забезпечує кращу санітарну обробку осаду?
13. Які кроки необхідно виконати з біогазом (стадія 4) перед його використанням у когенераційних установках?
14. Як називається кінцевий стабілізований продукт (після зневоднення, стадія 6), і де він може бути використаний в контексті захисту довкілля?
15. Які санітарно-гігієнічні вимоги є найважливішими для безпечного використання стабілізованого осаду на сільськогосподарських угіддях?