

**УКРАЇНА****(19) UA (11) 118100 (13) C2****(51) МПК (2018.01)****B01D 53/00****C10L 5/04 (2006.01)****C10L 9/10 (2006.01)****C10L 10/02 (2006.01)****C10L 10/04 (2006.01)**

**МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ**

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2015 08762	(72) Винахідник(и): Котч Джордж М. (US), Ебботт Мюррей (US), Бетеніан Саллі (US)
(22) Дата подання заявки: 17.03.2014	(73) Власник(и): НОКС ІІ ІНТЕРНЕТШНЛ, ЛТД., 3745 E. Outlook, Port Clinton, Ohio 43452, United States of America (US)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 26.11.2018	(74) Представник: Дубинський Михайло Іллєч, реєстр. №70
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 61/788,442, 14/210,909	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2006099611 A1, 21.09.2006 JP 2012506483 A, 15.03.2012 US 7413719 B2, 19.08.2008 US 20120292564 A1, 22.11.2012 US 20120174830 A1, 12.07.2012 US 2007184394 A1, 09.08.2007 US 2006210463 A1, 21.09.2006 JP 1182990 A, 26.03.1999
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 15.03.2013, 14.03.2014	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US, US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.12.2015, Бюл.№ 23	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.11.2018, Бюл.№ 22	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: РСТ/US2014/030244, 17.03.2014	

(54) СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ NO_x І ЩОНАЙМЕНШЕ ОДНІЄЇ РЕЧОВИНИ З SO_x І РТУТІ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВУГІЛЛЯ У ПЕЧІ, СПОСІБ ВИРОБЛЕННЯ ЕНЕРГІЇ, СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ЗБАГАЧЕНОГО ВУГІЛЛЯ

(57) Реферат:

Порошкові компоненти, що містять кальцій, оксид алюмінію, діоксид кремнію, залізо, магній, і галогеновий сорбент використовують у комбінації при спалюванні вугілля для досягнення екологічних переваг. Сорбенти додають у вугілля перед спалюванням і/або додають у полум'я або нижче по потоку від полум'я. Вміст луку і хлору в порошок мінімізують, щоб зм'якшити утворення небажаних відкладень, особливо коли його застосовують із суббітомінозним та бурим вугіллям.

UA 118100 C2

Перехресне посилання на більш ранні заявки

[0001] Дана заявка заявляє пріоритет на основі заявки на патент США № 14/210909, поданої 14 березня 2014 р., і попередньої заявки на патент США № 61/788442, поданої 15 березня 2013 р., зміст яких повністю включений у дану заявку шляхом посилання.

5 Галузь техніки та рівень техніки

[0002] Згідно з даним винаходом запропоновані композиції та способи для зменшення вмісту ртуті, оксидів азоту і/або оксидів сірки, що викидаються в атмосферу після спалювання палива, що містить ртуть, такого як вугілля. Зокрема, згідно з даним винаходу запропоноване додавання різних галогенових і інших композицій у систему спалювання вугілля у ході спалювання. Застосування сорбентів зменше ує викиди забруднюючих речовин і перешкоджає утворенню відкладань у печі.

[0003] В усьому світі існують значні запаси вугілля, здатні задовольнити більшу частину світової потреби в енергії протягом двох наступних сторіч. Вугілля з високим вмістом сірки присутнє у надлишку, однак вимагає стадій обробки, спрямованих на послаблення впливів на навколишнє середовище для запобігання викиду в атмосферу надлишкової кількості сірки після спалювання. У США вугілля з низьким вмістом сірки зустрічається у формі вугілля з низьким значенням БТО (британська термічна одиниця) у басейні полібітумінозних вугіль ріки Паудер у Вайомінгу та Монтані у родовищах бурого вугілля в центральній частині півночі США в Північній і Південній Дакоті й у родовищах бурого вугілля в Техасі. Але навіть, коли вугілля містить мало сірки, воно все-таки містить помітні рівні елементарної й окисненої ртуті і/або інших важких металів.

[0004] На жаль, ртуть щонайменше частково випаровується при спалюванні вугілля. У результаті, ртуть звичайно не залишається із золою, але скоріше стає компонентом димових газів. Якщо не здійснюють стадій обробки, спрямованих на ослаблення впливу на навколишнє середовище, ртуть звичайно виділяється із пристрою для спалювання вугілля в навколишню атмосферу. У цей час частина ртуті вловлюють за допомогою допоміжного устаткування, наприклад, у системах контролю з мокрим очищенням і СКВ (селективне каталітичне відновлення). Однак більша частина ртуті не вловлюється і тому випускається крізь випускную трубу.

[0005] Викиди ртуті в атмосферу в США становлять приблизно 50 тонн у рік. Значну частку випуску становлять викиди із пристроїв спалювання вугілля, таких як електричні пристрої. Ртуть є відомою екологічно небезпечною речовиною й приводить до проблем зі здоров'ям як у людей, так і у тварин. Щоб захистити здоров'я населення й зберегти навколишнє середовище, в енергетичній промисловості проводять розробку, випробування і впровадження систем для зниження рівня викидів ртуті з установок. При спалюванні вуглецевмісних матеріалів бажано мати в розпорядженні спосіб, у якому ртуть і інші небажані сполуки вловлюють і втримують після фази спалювання, так що вони не вивільняються в атмосферу.

[0006] При спалюванні вугілля виділяються інші забруднюючі речовини, такі як оксиди азоту (NO_x) і оксиди сірки (SO_x). Вони вносять вклад у проблеми навколишнього середовища, такі як смог і кислотний дощ. У промисловості активно домагаються способів зниження викидів також і цих забруднюючих речовин.

[0007] Деякі оператори вугільних установок одержують право на податкові знижки по §45 кодексу Міжнародної довідкової системи по джерелах інформації про навколишнє середовище за їхні зусилля в зменшенні викидів цих забруднюючих речовин. При деяких умовах, ці оператори спостерігали небажані відкладання у своїх печах. Наприклад, коли в якості палива спалюють суббітумінозне вугілля з низьким вмістом сірки, на поверхнях труб бойлера звичайно утворюються відкладання, що приводить до більше низької ефективності теплообміну й підвищеним експлуатаційним витратам.

[0008] Відповідно, оператори відчують потребу в композиціях, що сорбують, і способах їх застосування, які забезпечують досягнення необхідного зниження викидів забруднюючих атмосферу речовин не на шкоду ефективності нагрівання.

Короткий опис винаходу

[0009] Запропоновані сорбенти, які містять луги в низьких концентраціях, для застосування особливо із суббітумінозним і бурим вугіллям. Високі концентрації лугу в сорбентах з рівня техніки можуть вносити вклад в утворення відкладань у печі, у якій їх спалюють. Шляхом зниження лужності сорбентів оператор може мінімізувати кількість натрію й калію, доступну в газовій фазі для небажаних реакцій, які приводять до утворення опадів на поверхнях бойлера та де-небудь ще.

[0010] Сорбенти можна застосовувати для одержання збагаченого вугілля, яке можна спалювати зі зниженням викидів одного або більше речовин, обраних із ртуті, азоту (у вигляді

NOx) і сірки (у вигляді SOx). Спосіб одержання збагаченого вугілля включає об'єднання суббітумінозного вугілля (або бурого вугілля) і компонентів, що сорбують. В одному варіанті реалізації сорбенти являють собою 0,001 – 1 мас. % рідкого сорбенту й від 0,1 до 10 мас. % порошкового сорбенту, де відсотковий вміст є масовим процентним вмістом стосовно загальної маси збагаченого вугілля. Рідкий сорбент містить сполуку бром, а порошковий сорбент містить кальцій, діоксид кремнію, оксид алюмінію й додатково містить менше 1 мас. % Na₂O і менше 1 мас. % K₂O, і порошковий сорбент додатково містить менше 0,1 мас. % хлору.

[0011] В одному аспекті порошковий сорбент містить цементний пічний пил (ЦПП), який сприяє зниженню викидів NOx, з тим удосконаленням, що коли ЦПП містить багато лугу, частину ЦПП заміщають менше лужними матеріалами, щоб досягтися нормативу, що становить менше 2 % або менше 1 % загального вмісту лугу. У різних варіантах реалізації порошковий сорбент також задовольняє нормативу низького вмісту хлору для зменшення утворення відкладень у суббітумінозних і бурих вугіллях.

Опис винаходу

[0012] У різних варіантах реалізації запропоновані композиції й способи зниження викидів ртуті, оксидів азоту (NOx) і оксидів сірки (SOx), які відбуваються при спалюванні палива, що містить ртуть, такого як вугілля. Промислово цінним варіантом реалізації є застосування винаходу для зниження викидів азоту, сірки і/або ртуті із пристроїв спалювання вугілля, щоб захистити навколишнє середовище й відповідати вимогам правових актів уряду й договірних зобов'язань. Удосконалення порошкових сорбентів забезпечують поліпшені експлуатаційні якості за допомогою зниження утворення відкладень у печах для спалювання вугілля, при цьому не впливають шкідливим образом на видалення забруднювачів навколишнього середовища, таких як NOx і SOx.

[0013] У різних варіантах реалізації в способах запобігають вивільненню ртуті в атмосферу з окремих джерел, таких як пристрою для спалювання вугілля, шляхом уловлювання ртуті у золі, у той же час мінімізуючи утворення відкладень у печі, які можуть понизити ефективність печі. До того ж, способи запобігають вивільненню ртуті й інших важких металів у навколишнє середовище шляхом вилуговування із твердих відходів, таких як вугільна зола, отриманою в результаті спалювання вугілля, що містить ртуть. В обох цих способах перешкоджають проникненню ртуті у водні об'єкти. Таким чином, запобігання або зниження викидів ртуті з таких пристроїв, як технічне устаткування для спалювання вугілля, приводить до багатьох екологічних переваг, включаючи менше забруднення повітря, менше забруднення води та знижений виробіток небезпечних відходів з одержуванням у результаті меншим забрудненням ґрунту. Для зручності, але без обмеження, переважні ознаки винаходу ілюструють на прикладі запобігання забрудненню повітря, води й ґрунту ртуттю або іншими важкими металами.

[0014] В одному варіанті реалізації запропонований спосіб спалювання вугілля в печі для зниження викидів NOx і щонайменше одного з речовин, обраних з SOx і ртуті. Спосіб включає спалювання збагаченого вугілля в печі. Збагачене вугілля, у свою чергу, являє собою суміш суббітумінозного вугілля, сполуки бром й порошкового сорбенту. Порошковий сорбент містить кальцій, діоксид кремнію, оксид алюмінію, і додатково характеризується низькою лужністю, що становить менше 1 мас. % Na₂O і менше 1 мас. % K₂O, виходячи з маси порошкового сорбенту, і переважно також низьким вмістом хлору, що становить менше 0,5 %, менше 0,3 % або менше 0,1 %. У різних варіантах реалізації використовуваний вміст сполуки бром становить від 0,001 до 1,0 мас. %, при цьому звичайно використовуване вміст порошкового сорбенту становить від 0,1 до 10 мас. %, виходячи з маси вугілля. У різних варіантах реалізації порошковий сорбент містить ЦПП або суміш ЦПП із іншим порошком з низьким вмістом лугу, описаним у даному документі. Порошковий сорбент також може містити алюмосилікатну глину, таку як каолін або метакаолін.

[0015] В іншому варіанті реалізації запропонований спосіб вироблення енергії за допомогою спалювання суббітумінозного вугілля, що містить ртуть, у печі пристрою спалювання вугілля. Спосіб включає спочатку нанесення композиції першого сорбенту на вугілля й подачу вугілля з нанесеним першим сорбентом у піч. У той же час, другий сорбент додають у піч, у міру подачі вугілля з нанесеним першим сорбентом. Потім вугілля спалюють у присутності першого й другого сорбентів у печі з одержанням теплової енергії й золи. Перший сорбент містить сполуку бром, а другий сорбент має наступний склад: більше 40 мас. % CaO, більше 10 мас. % SiO₂, від 2 до 10 % Al₂O₃, від 1 до 5 % Fe₂O₃, від 1 до 5 % MgO, менше 1 мас. % Na₂O і менше 1 % K₂O. У варіантах реалізації другий сорбент містить менше 0,5 % хлору.

[0016] В іншому варіанті реалізації запропонований спосіб одержання збагаченого вугілля. Збагачене вугілля містить суббітумінозне вугілля й додані компоненти, що сорбують. Спосіб включає перемішування вугілля, рідкого сорбенту (наприклад, від 0,001 до 1 мас. %, виходячи з

маси вугілля) і порошкового сорбенту (наприклад, від 0,1 до 10 мас. %, виходячи з маси вугілля), де рідкий сорбент містить сполуку бром, а порошковий сорбент містить більше 40 мас. % CaO , більше 10 мас. % SiO_2 , від 2 до 10 % Al_2O_3 , від 1 до 5 % Fe_2O_3 , від 1 до 5 % MgO , менше 1 % Na_2O і менше 1 % K_2O . У різних варіантах реалізації порошковий сорбент додатково

5 містить менше 0,5 % хлору або менше 0,1 % хлору.

[0017] Переважно, було виявлено, що застосування зазначених порошкових сорбентів, особливо композицій з низьким загальним вмістом лугу, низьким вмістом хлору або їх обох, є ефективним при зниженні утворення відкладань у печах, у яких спалюють суббітомінозне вугілля або буре вугілля, такі як вугілля з басейну ріки Паудер (БРП). Застосовуючи

10 модифіковані сорбенти, описані в даному документі, оператори печей можуть виконувати вимоги природоохоронного законодавства й одержувати право на певні податкові знижки згідно зі зводом законів Служби внутрішнього оподаткування Сполучених Штатів і, у той же час, уникати небажаного утворення відкладань у печах і пов'язаних з ними пристроями.

[0018] Додаткові приклади кожного з обмежень варіантів реалізації наведені в наступному

15 описі. Потрібно розуміти, що різні компоненти й стадії способу, описані в даному документі, можна змішувати й підбирати із забезпеченням інших варіантів реалізації, дослівно не описаних і не проілюстрованих на прикладі. Також наведені приклади, що дають можливість фахівцеві виконувати винахід і досягати відзначених екологічних і експлуатаційних переваг.

[0019] Різні компоненти, що сорбують, застосовують у комбінації для обробки вугілля до

20 спалювання і/або додають у полум'я або нижче по потоку від полум'я, переважно при мінімальних температурах, щоб гарантувати утворення вогнетривких структур, що приводить до різних переваг способів. Коли компоненти додають у вугілля до спалювання, продукт є рафінованим вугіллем, застосування якого знижує забруднення навколишнього середовища і може надавати право енергетичній компанії на певні податкові преференції в Сполучених

25 Штатах.

[0020] Компоненти сорбенту включають кальцій, оксид алюмінію, діоксид кремнію й галоген. Для зменшення утворення відкладань при спалюванні суббітомінозних або бурих вугілля, таких як вугілля з басейну ріки Паудер, було виявлено, що переважно підтримувати вміст K_2O в сорбенті максимально 1 мас. % і підтримувати вміст Na_2O у сорбенті максимально 1 мас. %, де

30 відсотковий вміст розрахований, виходячи з маси порошкового сорбенту, що містить кальцій, оксид алюмінію, діоксид кремнію й інші компоненти. У варіантах реалізації вміст кожного з Na_2O і K_2O становить менше 0,5 % або вміст кожного з них становить менше 0,1 %. Крім цього, у різних варіантах реалізації також було виявлено, що переважно забезпечувати порошковий сорбент із низьким вмістом хлору, наприклад, < 0,5 %, < 0,3 % або < 0,1 %.

[0021] Кальцій поставляють шляхом додавання в порошковий сорбент сполуку або композиції, яка містить суттєву кількість кальцію. Наприклад, багато лужних порошоків містять 20 % або більше кальцію, виходячи із CaO . Прикладами є вапняк, вапно, оксид кальцію, гідроксид кальцію (гашене вапно), портландцемент і інші продукти промислового виробництва або побічні продукти промислових процесів і алюмосилікатні мінерали, що містять кальцій.

40 Вміст діоксиду кремнію й оксиду алюмінію засноване на еквівалентах SiO_2 і Al_2O_3 , хоча слід розуміти, що діоксид кремнію і оксид алюмінію часто присутні в більш складній хімічній або молекулярній формі.

[0022] У різних варіантах реалізації для порошкового сорбенту є перевагою містити ефективна кількість цементного пічного пилу (ЦПП), який, як вважаються, вносить вклад у

45 зниження викидів NO_x із пристрою спалювання вугілля. Частина ЦПП має відносно високий вміст хлору, аж до 10 %. Якщо застосовують ЦПП, залежно від джерела ЦПП і властивого йому вмісту лугу й хлору, одержуваний порошок міг би в підсумку мати занадто високий вміст лугу і/або хлору для найкращих результатів при спалюванні суббітомінозних або бурих вугілля. У такому випадку, переважно змішувати деяку частину ЦПП із іншими матеріалами з більше

50 низьким вмістом натрію й калію, переважно так, щоб досягтися нормативу, що становить < 1 % Na_2O і < 1 % K_2O , або навіть < 0,5 % Na_2O і < 0,5 % K_2O , а також зазначеної низької норми вмісту хлору. Такі матеріали з низьким вмістом лугу включають здрібнені залишки (клінкер цементної печі, який може задовольняти або не задовольняти технічним вимогам до цементного продукту і який згодом подрібнюють для змішування зі ЦПП) матеріал, що завантажується в піч (потік сировини, що надходить у цементну піч, включаючи все компоненти для виробництва цементу, наприклад, Ca , Mg , Si , Al , Fe і т.п.), перехідний цемент (цементний продукт у бункері, який спорожняють, щоб створити простір для конкретного нового цементного продукту), вивітрений клінкер (клінкер, який нагромадився на місці виробництва, витягнутий і здрібнений перед

60 додаванням у ЦПП), накопичена ЦПП (ЦПП, накопичена на місці виробництва або в сховище відходів) і вапняк. У тій мері, що кожен із цих матеріалів представляє відходи виробництва, які в

кожному разі йдуть у відходи або повинні бути поховані, досягають додаткових екологічних переваг шляхом їхнього застосування в описаних у даному документі сорбентах.

[0023] У різних варіантах реалізації дані компоненти спільно

- знижують викиди ртуті, оксидів азоту й оксидів сірки,

5 - знижують викиди елементарної та окисненої ртуті,

- підвищують ефективність способу спалювання вугілля за допомогою видалення шлаків із труб бойлера,

- запобігають утворенню небажаних відкладань у печі,

- збільшують вміст Hg, As, Pb і/або Cl у вугільній золі,

10 - зменшують вміст важких металів, що виловлюються, (таких як Hg) у золі, переважно до рівнів, що нижче меж, які можна встановити, і

- створюють сильно в'язкий зольний продукт.

[0024] Усі відсоткові частки, використовувані в даному документі, є масовими відсотковими частками, якщо не зазначене інше. Необхідно відзначити, що хімічні композиції різних матеріалів, описаних у даному документі, виражені в перерахуванні на прості оксиди, обчислені з елементного аналізу, звичайно обумовлені за допомогою технологій рентгенівської флуоресценції. Хоча різні прості оксиди можуть бути присутнім, і часто присутні в матеріалі в

більше складних сполуках, аналіз оксидів є корисним способом вираження концентрації сполук, що представляють інтерес у відповідних композиціях.

20 [0025] У звичайний пристрій спалювання вугілля вугілля надходить у залізничних вагонах.

Якщо сорбенти вже нанесені, воно являє собою збагачене вугілля. Воно являє собою неопрацьоване вугілля, якщо сорбенти ще не нанесені. У типовому ілюстративному варіанті реалізації вугілля поставляють на стрічку транспортера, яка доставляє вугілля в змішувач

25 млинного типу. Після змішувача млинного типу вугілля вивантажують на стрічку подавального транспортера і поміщають у вугільний склад. Під вугільним складом звичайно присутня зона

кокосникових ґрат і бункерного зберігання, з якої вугілля на стрічці транспортують у відкриту зону накопичення, іноді називану бункером. У шарові печі можна подавати вугілля з бункера або із дробарки. Для печей, що спалюють вугільний пил, вугілля поставляють за допомогою

30 стрічки або інших засобів в устаткування для здрибнювання, такого як дробарка, і остаточно в млин для тонкого розмолу. У системі зберігання вугілля тонко подрібнюють і транспортують за

допомогою повітря або газу в колектор, з якого вугільний пил переміщують у бункер для зберігання, з якого вугілля подають у піч по потребі. У системі пилоприготування із прямим

вдмухуванням вугільного пилу вугілля тонко подрібнюють і переміщують безпосередньо в піч. У напіврозмікнутій системі пилоприготування вугілля надходить із млина для тонкого розмолу в

35 циклонний колектор. Вугілля подають безпосередньо із циклону в піч.

[0026] У ході роботи вугілля подають у піч і спалюють у присутності кисню. Для палива з високим БТО звичайні температури полум'я в камері згоряння становлять від приблизно 1480 °C (приблизно 2700 °F) до приблизно 1640 °C (приблизно 3000 °F) або навіть вище,

наприклад, від приблизно 1815 °C (3300 °F) до приблизно 1982 °C (3600 °F).

40 [0027] Збагачене вугілля одержують шляхом додавання сорбентів у вугілля перед спалюванням. Сорбенти можуть бути додані виробником вугілля й транспортовані оператором

печі, або збагачене вугілля можна одержати в окремому пристрої поблизу власності оператора або, що перебуває у власності оператора. У випадку збагаченого вугілля, вугілля, що містить усі

45 компоненти, що сорбують, подають у піч для спалювання.

[0028] У різних інших варіантах реалізації композиції, що сорбують, згідно із даним винаходу

додають у неопрацьоване вугілля або в різні частини печі протягом спалювання. Необмежуваним образом, сорбенти додають у вугілля в змішувачі мірошницького типу, на

стрічці транспортера або стрічці транспортера, що подає, у вугільному складі, у колекторі, у бункері для зберігання, у циклонному колекторі, у млині для тонкого розмолу до або протягом

50 тонкого здрибнювання і/або одночасно із транспортуванням із млина для тонкого розмолу в піч для спалювання. З метою зручності, у різних варіантах реалізації сорбенти додають у вугілля в

ході процесів, у яких змішують вугілля, наприклад, у змішувачі мірошницького типу або у млині для тонкого розмолу. У кращому варіанті реалізації сорбенти додають на вугілля у млинах для

тонкого розмолу.

55 [0029] Альтернативно або додатково, компоненти, що сорбують, додають у систему спалювання вугілля шляхом введення їх у піч у ході спалювання палива. У кращому варіанті

реалізації їх вводять у ядро горіння або близько до ядра горіння, наприклад, де температура становить вище приблизно 1090 °C (2000 °F), вище приблизно 1260 °C (2300 °F) або вище

приблизно 1480 °C (2700 °F). Відповідно до конструкції пальників і робочими параметрів печі,

60 ефективне додавання сорбенту відбувається разом з паливом, з повітрям у зоні горіння

первинної камери печі, вище полум'я, разом з подачею повітря у верхню частину топлення або вище і т.п. Також, залежно від конструкції й експлуатації печі, сорбенти вводять із однієї або більше сторін печі і/або одного або більше вугіллі в печі. Додавання композицій, що сорбують, і компонентів, що сорбують, звичайно буває найбільше ефективним, коли температура при введенні є досить високою і/або аеродинаміка системи пальників і печі приводить до належного змішування порошкових сорбентів з паливом і/або продуктами згоряння. Альтернативно або додатково, додавання сорбенту здійснюють конвективним шляхом нижче по потоку від полум'я й печі. У різних варіантах реалізації точки оптимального введення або внесення сорбентів знаходять шляхом моделювання печі і вибору параметрів (рівень уведення, місця введення, відстані над полум'ям, відстані від стінки, режиму розпилення порошку й т.п.), які дають найкраще змішування сорбенту, вугілля й продуктів згоряння для необхідних результатів.

[0030] У системах спалювання вугілля гарячі газоподібні продукти згоряння й повітря рухаються під впливом конвекції ладь від полум'я через конвективний шлях униз по потоку (тобто, униз по потоку щодо ядра горіння). Конвективний шлях пристрою містить множину зон, що відрізняються температурою газів і продуктів згоряння в кожній зоні. Загалом, температура газоподібного продукту згоряння падає в міру того, як він рухається вниз по потоку від ядра горіння. З печі, у якій вугілля в одному прикладі спалюють при температурі приблизно 1480 °C – 1650 °C (приблизно 2700 °F-3600 °F), зольне винесення й газоподібне продукти згоряння рухаються вниз по потоку в конвективному шляху в зоні усе більше температури, що знижується. Для ілюстрації, нижче по потоку від ядра горіння перебуває зона з температурою менше приблизно 1480 °C (2700 °F). Далі нижче по потоку досягають місця, у якому температура знижена до приблизно 815,5 °C (приблизно 1500 °F). Між даними двома точками перебуває зона, що має температуру від приблизно 820 °C (приблизно 1500 °F) до приблизно 1480 °C (2700 °F). Далі нижче по потоку досягають зони з температурою менше приблизно 820 °C (приблизно 1500 °F) і т.д. Далі уздовж конвективного шляху газу й зольне винесення проходять крізь зони з більше низькою температурою доти, поки не досягнуть пиловловлювача із фільтрами з тканини або електростатичного осаджувача, які звичайно мають температуру приблизно 150 °C (приблизно 300 °F), перед тем, як газу випускають нагору у витяжну трубу.

[0031] Газоподібні продукти згоряння містять діоксид вуглецю, а також різні небажані газу, що містять сірку, азот і ртуть. Конвективні шляхи також наповнені різноманітною золою, яка захоплюється високотемпературними газами. Щоб вилучити золу до викиду в атмосферу, застосовують системи видалення часток. Такі різноманітні системи видалення, наприклад, електростатичні осаджувачі й пиловловлювач з фільтрами, з тканини, звичайно розташовують у конвективному шляху. До того ж, у конвективному шляху можна розташувати хімічні СКВ скрубери. Додатково, його можна постачити різними приладами для відстеження таких компонентів газу, як сірка (у вигляді SOx), азот (у вигляді NOx) і ртуть.

[0032] Таким чином, у різних варіантах реалізації спосіб за даним винаходом передбачає внесення сорбентів

безпосередньо в піч у ході спалювання (додавання "спільно зі спалюванням"),
безпосередньо у паливо, таке як вугілля, перед спалюванням (додавання "перед спалюванням" для одержання збагаченого вугілля),

безпосередньо в газовий потік після спалювання, переважно в температурній зоні вище 500 °C и переважно вище 800 °C (додавання "після спалювання"), або
у комбінації перед спалюванням, спільно зі спалюванням і після спалювання.

[0033] Внесення сорбентів здійснюють "у систему спалювання вугілля" у кожному з режимів перед спалюванням, спільно зі спалюванням і після спалювання або в будь-якій їхній комбінації. Коли сорбенти додають у систему спалювання вугілля, вугілля або інше паливо називають, що спалюються "у присутності" різних сорбентів, композицій, що сорбують, або компонентів, що сорбують.

[0034] У кращому варіанті реалізації додавання нижче по потоку виконують, коли температура становить від приблизно 815,5 °C (приблизно 1500 °F) до приблизно 1482,2 °C (2700 °F). У деяких аспектах і залежно від особливостей конструкції печі й схеми розташування конвективних шляхів, точка відліку або розмежування між додаванням "у піч", "у ядро горіння" і "у конвективні шляхи" може бути досить довільним. У деякий момент газоподібні продукти згоряння залишають те, що явно є камерою згоряння або піччю, і надходять в окрему конструкцію, яка явно є димовим або конвективним шляхом для газів униз по потоку від печі. Однак, багато печей є досить більшими й, таким чином, допускають додавання сорбентів "у піч" на помітній відстані від того місця, у якому паливо й повітря подають для утворення ядра горіння. Наприклад, деякі печі мають сопла гострого дуття й подібні пристрої, спеціально сконструйовані для поставки додаткового кисню, у місцях розташування вище ядра горіння, для

того, щоб досягтися більше повного згоряння і/або для обмеження викидів, таких як оксиди азоту. Сопла гострого дуття можуть перебувати на приблизно 6 м (20 футів) або більше вище введення палива. У різних варіантах реалізації компоненти або композиції, що сорбують, вводять безпосередньо в ядро горіння поряд з подачею вугілля в місці вище подачі вугілля, вище або нижче сопел гострого дуття або в більше високім місці усередині камери згоряння, такому як устя печі або лише трохи нижче устя печі. Кожне із цих місць відрізняється температурою й умовами турбулентного потоку, які вносять вклад у змішування сорбентів з паливом і/або продуктами згоряння (такими як зольне винесення). У варіантах реалізації, що включають внесення композицій, що сорбують, у піч або нижче по потоку від печі, застосування краще здійснюють там, де температура перевищує приблизно 815,5 °C (1500 °F), переважно перевищує приблизно 1093 °C (2000 °F), більше переважно там, де температура перевищує приблизно 1260 °C (2300 °F) і найбільше переважно там, де температура перевищує приблизно 1482 °C (2700 °F).

[0035] У різні описані в даному документі варіантах реалізації композиції, що сорбують, які спрямовані на зменшення або усунення вивільнення ртуті, азоту і/або сірки із пристроїв спалювання вугілля, також мають тем перевагою, що зола, отримана шляхом спалювання палива, стає сильно в'язкою. У результаті зола придатна для застосування на ринку в якості часткової або повної заміни портландцементу в різних цементних і бетонних виробках.

[0036] Спалювання вугілля з описаними в даному документі композиціями, що сорбують, приводить до одержання золи, яка в різних варіантах реалізації має підвищений вміст важких металів у порівнянні з вугіллям, що спалюється без сорбенту, однак, проте, містить менше і концентрації вилуговуванням важких металів, чому зола, отримана без сорбентів. У результаті зола безпечна в обігу й для продажу на ринку, наприклад, у якості в'язкого матеріалу.

[0037] Для одержання зольних продуктів вуглецеве паливо спалюють із одержанням теплової енергії від згоряння вуглецевмісного матеріалу. Не спалений матеріал і продукти згоряння у вигляді часток утворюють золу, деяка частина якої збирається на дні печі, але більшу частину якої збирають у вигляді зольного винесення з диму за допомогою осаджувачів або фільтрів, наприклад, пиловловлювача з фільтрами з тканини на пристрої для спалювання вугілля. Вміст зольного залишку й зольного винесення залежить від хімічного складу вугілля й кількості й композиції компонентів, що сорбують, які додаються в пристрій для спалювання вугілля в ході згоряння.

[0038] У різних варіантах реалізації відслідковують викиди ртуті із пристрою для спалювання вугілля. Викиди відслідковують у вигляді елементарної ртуті, окисненої ртуті або обох форм. Елементарна ртуть означає ртуть в основному або нульовому стані окиснення, при цьому окиснена ртуть означає ртуть у стані окиснення +1 або +2. Залежно від вмісту ртуті в димовому газі перед викидом з установки, кількість композиції, що сорбує, яка додається перед спалюванням, спільно зі спалюванням і/або після нього, підвищують, знижують або підтримують незмінним. Загалом, потрібно вилучити настільки велику кількість ртуті, наскільки це можливо на практиці. У варіантах реалізації можна досягти ступеня видалення ртуті, що становить від щонайменше 40 % аж до 90 % і більше, виходячи із загальної кількості ртуті у вугіллі. Ця величина стосується ртуті, що віддаляється з димових газів, так що ртуть не випускається через витяжну трубу в атмосферу. У цьому аспекті величини відповідають відсотковому зниженню викидів ртуті із пристрою в порівнянні зі спалюванням вугілля без сорбенту. У звичайних умовах видалення ртуті з димових газів приводить до підвищеного вмісту ртуті в золі. Щоб мінімізувати кількість сорбенту, що додається в процес спалювання вугілля, для зменшення загальної кількості вироблюваної в печі золи, у багатьох варіантах реалізації бажане використовувати результати виміру викидів ртуті для регулювання рівня додавання композиції, що сорбує, щоб досягти бажаного зменшення ртуті без додавання в систему надлишкового матеріалу.

[0039] У різних варіантах реалізації спалювання вугілля або іншого палива з доданими компонентами, що сорбують ртуть і інші важкі метали в вугіллі, такі як миш'як, сурма, свинець і інші, перебувають у пиловловлювач із фільтрами з тканини або електростатичний осаджувач і стають частиною загального зольного залишку установки спалювання вугілля; альтернативно або додатково, ртуть і важкі метали зустрічаються в зольних залишках. Викиди ртуті й інших важких металів із пристрою знижуються як такі.

[0040] Загалом, ртуть і інші важкі метали в золі стійкі до вилуговування при кислих умовах, незважаючи на те, що вони звичайно присутні в золі в підвищених концентраціях у порівнянні із золою, отриманої шляхом спалювання вугілля без компонентів, що сорбують описаних у даному документі. Переважно, важкі метали в золі не вилуговуються в кількості, що перевищує нормативний вміст; фактично, у золі спостерігають знижений вміст важкого металу, що вилуговується, з розрахунку частин на мільйон, незважаючи на те, що зола звичайно має

більше високий абсолютний вміст важких металів за рахунок отриманих шляхом спалювання із сорбентами. Тому що додатково підсилюється в'язка природа золи, зола від згорання (вугільна зола) являє цінність для продажу на ринку й застосування, наприклад, у якості в'язкого матеріалу для одержання портландцементів, а також бетонних виробів і готових бетонних сумішей.

[0041] У кращих варіантах реалізації в ході згорання періодично або безупинно відслідковують або аналізують вилуговування важких металів. Звичайно використовуваним способом є процедура визначення характеристик токсичності за допомогою вилуговування (TCLP) Агентства охорони навколишнього середовища США. Кількість сорбенту, зокрема компонентів, що сорбують, з Si (SiO_2 або еквіваленти) і/або Al (Al_2O_3 або еквіваленти), регулюють на підставі аналітичного результату для підтримки вилуговування в необхідному діапазоні.

[0042] В одному варіанті реалізації запропонований спосіб спалювання вугілля для зниження кількості ртуті, що випускається в атмосферу. Спосіб включає внесення композиції, що сорбує, яка містить сполуку галогену, у систему, у якій спалюють вугілля. Сполука галогену переважно є сполукою бром, у кращому варіанті реалізації сорбент не містить сполук лужних металів, так щоб уникнути корозії труб бойлера або інших компонентів печі. Вугілля спалюють у печі з одержанням золи й газоподібних продуктів згорання. Газоподібні продукти згорання містять ртуть, сірку й інші компоненти. Щоб здійснити необхідне зниження кількості ртуті в газоподібних продуктах згорання для обмеження випуску в атмосферу, вміст ртуті в газоподібних продуктах згорання переважно відслідковують, наприклад, шляхом виміру вмісту аналітичними методами. У кращих варіантах реалізації регулюють кількість внесеної композиції, що сорбує, (тобто його підвищують, його знижують або, у деяких випадках, вирішують залишити його незмінним), залежно від значення вмісту ртуті, обмірюваного в газоподібних продуктах згорання. У кращому варіанті реалізації сорбент додають у систему шляхом внесення його у вугілля перед спалюванням, після чого здійснюють подачу вугілля, що містить сорбент, у піч для спалювання.

[0043] В іншому варіанті реалізації компоненти, що сорбують, які містять сполуку галогену (переважно бром або йоду й найбільше переважно бром) і щонайменше один алюмосилікатний матеріал, вносять у систему спалювання вугілля. Компоненти додають окремо або у вигляді однієї композиції, що сорбує, і, у деяких випадках, додають на вугілля перед спалюванням, у піч у ході спалювання або в димові гази нижче по потоку від печі при підходящих температурах. У кращому варіанті реалізації компоненти додають до вугілля перед спалюванням, і вугілля, що містить сорбент, потім подають у піч для згорання. Як і раніше, переважно відслідковують вміст ртуті в димових газах, і рівень внесення сорбенту регулюють залежно від значення обмірюваного вмісту ртуті. Галоген вносить вклад у зниження рівня викидів ртуті, при цьому алюмосилікат вносить вклад у те, що захоплена в золі ртуть стає такою, що не вилуговується.

[0044] У близькому варіанті реалізації спосіб зменшення вилуговування ртуті і/або інших важких металів із золи, отриманої від згорання вугілля або іншого палива в системі спалювання вугілля або в печі для спалювання відходів, включає введення сорбентів, що містять діоксид кремнію й оксид алюмінію, у піч для спалювання відходів або систему спалювання вугілля в ході спалювання, вимір вилуговування ртуті і/або інших важких металів з одержуваної золи й регулювання вмісту діоксиду кремнію й оксиду алюмінію відповідно обмірюваному вилуговуванню важких металів. Якщо вилуговується більше необхідного, рівень внесення сорбенту можна збільшити, щоб понизити вилуговування до бажаного діапазону. У кращому варіанті реалізації сорбент додатково містить сполуку галогену (наприклад, бром) для посилення захвату ртуті в золі. Переважно, що містить діоксид кремнію й оксид алюмінію сорбент додають у порошкову композицію, яка містить $<1\%$ Na_2O і $<1\%$ K_2O , щоб зменшити або усунути утворення відкладань.

[0045] В одному варіанті реалізації винаходу запропонований спосіб зниження кількості окисненої ртуті в димових газах, які утворюються при спалюванні вуглецевмісного палива, що містить ртуть, такого як вугілля, з одержанням, у той же час в'язучого зольного продукту. Спосіб включає спалювання палива в присутності лужного порошкового сорбенту, де порошковий сорбент містить кальцій, діоксид кремнію та оксид алюмінію. Лужний порошок додають у вугілля перед спалюванням, уводять у піч у ході спалювання, вносять у димові гази нижче по потоку від печі (переважно там, де температура становить приблизно $815,5^\circ\text{C}$ (1500°F) або вище) або додають у будь-якій комбінації. Порошки є лужними, характеризуються рН, що становлять вище 7 при об'єднанні з водою, переважно вище 8 і переважно вище 9. Переважно, сорбент містить менше 1 мас. %, менше 0,5 мас. % або менше 0,1 мас. % кожного з лужних сполук, таких як

Na_2O і K_2O . У різних варіантах реалізації сорбент додатково містить залізо й магній. У різних варіантах реалізації вміст алюмінію в сорбенті вище, чим вміст оксиду алюмінію в портландцементі, переважно вище приблизно 5 % або вище приблизно 7 % оксиду алюмінію.

[0046] Для відстеження викидів при спалюванні палива, вміст ртуті (окисненої, елементарної або обох форм) вимірюють у димових газах нижче по потоку від печі. Обмірюваний вміст ртуті порівнюють із цільовим рівнем і, якщо обмірюваний вміст вище цільового рівня, підвищують кількість порошкового сорбенту, що додається щодо кількості, що спалюється палива. Альтернативно, якщо обмірюваний вміст перебуває на цільовому рівні або нижче його, рівень додавання сорбенту можна понизити або підтримувати незмінної.

[0047] В іншому варіанті реалізації порошкова композиція являє собою лужну композицію, що сорбує, яка містить лужний кальцієвий компонент, а також значна кількість діоксиду кремнію й оксиду алюмінію. У необмежуючому варіанті реалізації порошкова композиція містить від 2 до 50 мас. % алюмосилікатного матеріалу й від 50 до 98 мас. % лужного порошку, що містить кальцій. У кращому варіанті реалізації лужний порошок містить одну або більше із наступних сполук: вапно, оксид кальцію, портландцемент, цементний пічний пил, пил з печі для випалу вапна й вапно із цукрового буряка, при цьому алюмосилікатний матеріал містить одну або більше сполук, обраних із групи, що складається з кальцієвого монтморилоніту, натрієвого монтморилоніту та каоліну. У конкретному варіанті реалізації порошковий сорбент містить ЦПП і інші матеріали, що задовольняють нормативу низького вмісту луга і/або нормативу низького вмісту хлору.

[0048] Порошкову композицію додають у вугілля періодичним образом при нормі від приблизно 0,1 до приблизно 10 мас. % стосовно кількості оброблюваного сорбентами вугілля або до витрати вугілля, споживаного при спалюванні для забезпечення безперервного способу. У варіантах реалізації норма становить 0,1 – 5 мас. %, 0,1 – 2 мас. %, 0,1 – 1,5 мас. %, 0,1 – 1 мас. %, від 1 до 8 мас. %, від 2 до 8 мас. %, від 4 до 8 мас. %, від 4 до 6 мас. % або приблизно 6 мас. %. У деяких варіантах реалізації порошкову композицію вводять у ядро горіння або в піч у ході спалювання і/або наносять на вугілля при умовах навколишнього середовища до його спалювання. Температура в місці введення переважно становить щонайменше приблизно 538 °C (приблизно 1000 °F) або вище. Для деяких палив з низькою тепломісткістю це відповідає введенню в ядро горіння або близько до нього.

[0049] У додатковому варіанті реалізації спосіб зниження кількості ртуті і/або сірки, що викидається в навколишнє середовище в ході спалювання вугілля в системі спалювання вугілля, включає додавання компонентів, що сорбують, які містять бром, кальцій, діоксид кремнію й оксид алюмінію, у систему спалювання вугілля й спалювання вугілля в присутності компонентів, що сорбують, з одержанням газоподібних продуктів згоряння й зольного винесення. Вимірюють кількість ртуті в газоподібних продуктах згоряння, і концентрацію компонентів, що містять бром, які додаються в систему, регулюють залежно від обмірюваного значення ртуті в газоподібних продуктах згоряння.

[0050] У різних варіантах реалізації чотири компоненти (кальцій, діоксид кремнію, оксид алюмінію й бром) додають спільно або окремо у вугілля перед спалюванням, у піч і/або в димові гази при підходящій температурі, як описано в даному документі. Сорбенти, що містять дані компоненти, переважно містять максимально 1 мас. % Na_2O і максимально 1 мас. % K_2O . Переважно бром присутній у кількості, ефективній для захоплення в золі щонайменше 20 %, щонайменше 40 %, щонайменше 80 % або щонайменше 90 % ртуті з вугілля, і діоксид кремнію й оксид алюмінію присутні в кількостях, ефективних для одержання зольного винесення з величиною вилуговування, що становить менше 0,2 частин на млн. (200 частин на млрд.) по відношенню до ртуті, переважно менше 100 частин на млрд. стосовно ртуті, менше 50 частин на млрд. стосовно ртуті й найбільше переважно менше 2 частин на млрд. стосовно ртуті. Вміст 2 частин на млрд. представляє сучасну найбільше низьку межу, що виявляється, випробування TCLP для вилуговування ртуті.

[0051] У деяких варіантах реалізації способи приводять до одержання вугільної золи і/або зольного винесення, що містять ртуть у кількості, відповідному до захвата в золі щонайменше 40 % або щонайменше 90 % ртуті, що спочатку втримувався в вугіллі до спалювання. У деяких варіантах реалізації вміст ртуті вище, ніж у відомих зольних винесеннях, що обумовлене захопленням ртуті в золі, а не вивільненням ртуті в атмосферу. Зольне винесення, одержуване шляхом даного способу, містить аж до 200 частин на млн. ртуті або вище, у деяких варіантах реалізації вміст ртуті в зольнім віднесенні становить більше 250 частин на млн. Тому що обсяг золи при звичайних умовах збільшується при застосуванні сорбентів (у звичайних варіантах реалізації обсяг золи приблизно подвоюється), підвищений обмірюваний вміст ртуті представляє захвата значної кількості ртуті в золі, яка, без сорбентів, випускалася б у

навколишнє середовище. Вміст у зольнім віднесенні ртуті й інших важких металів, таких як свинець, хром, миш'як і кадмій звичайно вище, чим у зольнім віднесенні, отриманому при спалюванні вугілля без сорбентів, що додаються, або компонентів, що сорбують.

[0052] Переважно ртуть у вугільній золі не вилугується, оскільки зола показує концентрацію ртуті в екстракті менше 0,2 частин на млн. при випробуванні із застосуванням визначення характеристик токсичності за допомогою вилугування (TCLP), спосіб випробування 1311 в "Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods", EPA Publication Sw-846-Third Edition, включений шляхом посилання в 40 CFR § 260.11. У звичайних умовах спостерігають, що зольне винесення від спалювання вугілля з описаними в даному документі сорбентами містить менше ртуті, що вилугується, чому зола, отримана при спалюванні вугілля без сорбентів, незважаючи на те, що вміст ртуті в золі, отриманої від обробленого сорбентом вугілля, вище у два рази або більше, у порівнянні зі вмістом у золі, отриманої шляхом спалювання без сорбентів. Для ілюстрації, звичайна зола від спалювання вугілля БРП містить приблизно 100 – 125 частин на млн. ртуті, а в різних варіантах реалізації зола, отримана шляхом спалювання вугілля БРП із приблизно 6 мас. % описаних у даному документі сорбентів містить приблизно 200 – 250 частин на млн. ртуті або більше.

[0053] В іншому варіанті реалізації, у даному винаході запропонований гідралічний цементний продукт, що містить портландцемент, і від 0,1 мас. % до приблизно 99 мас. %, виходячи із загальної маси цементного продукту, описаної вище вугільної золи або зольного винесення.

[0054] У додатковому варіанті реалізації, у даному винаході запропонований пуцолановий продукт, що містить пуцолан і від 0,01 мас. % до приблизно 99 мас. %, виходячи із загальної маси пуцоланового продукту, описаної вище золи.

[0055] У даному винаході також запропонована в'язка суміш, що містить гідралічний цементний продукт.

[0056] У даному винаході додатково запропонована готова бетонна суміш, що містить заповнювач і гідралічний цементний продукт.

[0057] В іншому варіанті реалізації цементуюча суміш містить описану в даному документі вугільну золу в якості єдиного в'язкого компонента, у цих варіантах реалізації зола являє собою повний замітник звичайних цементів, таких як портландцемент. В'язкі суміші містять цемент і, у деяких випадках, заповнювач, наповнювачі і/або інші добавки. В'язкі суміші у звичайних умовах поєднують із водою й застосовують у якості бетону, будівельних розчинів, рідкого будівельного розчину, рідкого наповнювача, стабілізованої основи й для інших застосувань.

[0058] Способи таким чином включають спалювання вугілля з доданими сорбентами з одержанням вугільної золи й енергії для одержання тепла або виробітку електрики. Зола потім витягають і застосовують для формування в'язких сумішей, що включають цемент, будівельні розчини й рідкі будівельні розчини.

[0059] У кращому варіанті реалізації описані в даному документі порошкові композиції, що сорбують, містять один або більше кальцій лужних порошоків, що містять кальцій, поряд з меншою кількістю одного або більше алюмосилікатних матеріалів. Якщо потрібно, додають галогеновий компонент як додатковий компонент лужного порошку або його додають окремо як частина рідкої або порошкової композиції. Переважно, застосування сорбентів приводить до зниження викидів або виділення сірки, азоту, ртуті, інших важких металів, таких як свинець і миш'як, і/або хлору із системи спалювання вугілля.

[0060] Композиції, що сорбують, застосовувані в різних описаних тут і вище варіантах реалізації винаходу, містять компоненти, які вносять кальцій, діоксид кремнію і/або оксид алюмінію, переважно у формі лужних порошоків. У різних варіантах реалізації композиції також містять оксид заліза. У необмежуючому прикладі порошковий сорбент містить приблизно 2 – 10 мас. % Al_2O_3 , більше 40 %, наприклад, приблизно 40 – 70 % CaO , > 10 % SiO_2 , приблизно 1 – 5 % Fe_2O_3 і < 2 % загальної кількості лужних сполук, таких як оксид натрію й оксид калію, переважно менше 1 %. Компоненти, що містять кальцій, діоксид кремнію й оксид алюмінію й інші елементи, якщо вони присутні, поєднують один з одним в одну композицію або додають окремо, або в будь-якій комбінації в якості компонентів у систему спалювання палива. У кращих варіантах реалізації застосування сорбентів приводить до зменшення кількості NO_x , SO_x і/або ртуті, що випускаються в атмосферу.

[0061] Переважно, композиції, що сорбують, містять підходящі високі концентрації оксиду алюмінію й діоксиду кремнію. Вважаються, що присутність оксиду алюмінію і/або діоксиду кремнію приводить до декільком перевагам, спостережуваним при застосуванні сорбенту. Для ілюстрації, вважаються, що присутність оксиду алюмінію і/або діоксиду кремнію і/або співвідношення оксиду алюмінію/діоксиду кремнію з кальцієм, залізом і іншими інгредієнтами

приводить до низького кислотного вилугуванню ртуті і/або інших важких металів, яке спостерігають у золі, отриманої шляхом спалювання вугілля або іншого палива, що містять ртуть, в присутності сорбентів.

[0062] Як відзначено, компоненти, які вносять кальцій, діоксид кремнію і/або оксид алюмінію, переважно забезпечують у вигляді лужних порошків. Не обмежуючи себе теорією, вважаються, що лужна природа компонентів, що сорбують, приводить щонайменше частково до описаних вище бажаних властивостей. Наприклад, вважаються, що лужна природа порошків приводить до зниження пітингової корозії під дією сірки. Вважаються, що після нейтралізації в присутності сорбентів утворюється геополімерна зола, яка в комбінації з діоксидом кремнію й оксидом алюмінію, що присутні в сорбенті, утворює подібну керамічній матрицю, яку описують як стабілізовану золу. Стабілізована зола відрізняється дуже низьким вилугуванням ртуті й інших важких металів. У деяких варіантах реалізації вилугування ртуті перебуває меж, що нижче виявляються. Однак, для деяких вугілля також спостерігають, що високий вміст лугу в компонентах, що сорбують, приводить до утворення небажаних відкладень. Відповідно до ідей даного винаходу, описано як подолати цей недолік шляхом застосування сорбентів зі зниженою лужністю (обмірюваною як вміст Na_2O і K_2O) і/або зі зниженим вмістом хлору, особливо для застосування із суббітомінозним і бурим вугіллям.

[0063] Джерела кальцію композицій, що сорбують, по винаходу включають, не обмежуючись перерахованим, кальцієві порошки, такі як карбонат кальцію, вапняк, доломіт, оксид кальцію, гідроксид кальцію, фосфат кальцію й інші солі кальцію. Промислові продукти, такі як вапняк, вапно, гашене вапно й т.п. становлять більшу частку таких солей кальцію. Як такі, вони є підходящими компонентами для композицій, що сорбують, за винаходом.

[0064] Інші джерела кальцію включають різні промислові товари. Такі товари продаються на ринку, і деякі з них продають як відходи або побічні продукти інших промислових процесів. У кращих варіантах реалізації дані продукти додатково вносять або діоксид кремнію, або оксид алюмінію, або обидві ці сполуки в композиції за винаходом. Необмежуючі приклади промислових продуктів, які крім кальцію містять діоксид кремнію і/або оксид алюмінію, включають портландцемент, цементний пічний пил, пил з печі для випалу вапна, вапно із цукрового буряка, шлаки (такі шлак, який містить сталь, шлаки, що містять нержавіючу сталь, і доменний шлак), золу шламу знебарвленого паперу, фільтраційний осад на вловлювачі вагранки і вагранковий пил.

[0065] Ці й можливо інші матеріали поєднують, щоб забезпечити лужні порошки або суміші лужних порошків, які містять кальцій, а також переважно містять діоксид кремнію і оксид алюмінію. Інші лужні порошки, що містять кальцій, діоксид кремнію і оксид алюмінію включають пуцоланові матеріали, деревну золу, золу оболонки рисових зерен, зольне винесення класу С і зольне ввинесення класу F. У різних варіантах реалізації ці й схожі матеріали є підходящими компонентами композицій, що сорбують, особливо якщо композиція, що виходить, містить їх як компонентів, попадає по складу в кращий інтервал від 2 до 10 мас. % Al_2O_3 , більше 40 мас. % CaO , більше 10 мас. % SiO_2 , від приблизно 1 до 5 мас. % Fe_2O_3 і менше 2 мас. % загальної кількості лужних сполук. Також застосовують суміші матеріалів. Необмежуючі приклади включають суміші портландцементу і вапна та суміші, що містить цементний пічний пил, такий як цементний пічний пил і пил з печі для випалу вапна.

[0066] Вапно із цукрового буряка являє собою відходи, одержувані при виробництві цукру із цукрового буряка. Воно має високий вміст кальцію, а також містить різні домішки, які осаджуються в процедурі вапнування, якому піддають цукровий буряк. Воно є предметом торгівлі й звичайно продається ландшафтним дизайнерам, фермерам і т.п. у якості засобу для поліпшення ґрунту.

[0067] Цементний пічний пил (ЦПП) у цілому відноситься до побічного продукту, вироблюваного в печі для випалу цементу або в пов'язаному з нею технологічним устаткуванні в ході одержання портландцементу.

[0068] Звичайно ЦПП містить комбінацію різних частинок, утворених у різних зонах випалювальної печі, устаткування попередньої обробки і/або системи транспортування матеріалів, включаючи, наприклад, клінкерний пил, від частково до повністю обпаленого пилу матеріалу і пил сировинного матеріалу (гідрований і дегідрований). Склад ЦПП змінюється, виходячи із застосовуваних сировинних матеріалів і палив, умов одержання й обробки й розташування пунктів збору ЦПП у способі одержання цементу. ЦПП може включати пил або частинки, зібрані від вихідних з випалювальної печі (тобто відпрацьованих) потоків клінкера, що виходить із охолоджувача, потоку, що виходить із декарбонізатора потоку, що обмежують забруднення повітря пристроїв і т.п. Промисловий ЦПП має діапазон лужності, що залежить від її джерела. У деяких варіантах реалізації можливо задовольнити нормативу низької лужності

порошкових сорбентів, описаних у даному документі, шляхом використання ЦПП із низькою лужністю. Якщо доступна тільки ЦПП із високою лужністю, може бути необхідним змішати або замінити частина продукту ЦПП із високою лужністю описаним вище матеріалом з більше низькою лужністю.

[0069] Хоча склади ЦПП змінюються для різних випалювальних печей, ЦПП звичайно має щонайменше деякі в'язкі і/або пуцолановими властивостями через присутність пилу клінкера й обпалених матеріалів. Звичайно композиції ЦПП включають сполуки, що містять кремній, такі як силікати, включаючи трьохкальцієвий силікат, двохкальцієвий силікат, сполуку, що містять алюміній, такі як алюмінати, включаючи трьохкальцієвий алюмінат, сполуки, що містять залізо, такі як ферити, включаючи чотирьохкальцієвий алюмоферит. ЦПП звичайно містить оксид кальцію (Сао). Типові композиції ЦПП містять від приблизно 10 до приблизно 60 мас. % оксиду кальцію, у деяких випадках, від приблизно 25 до приблизно 50 мас. % і, у деяких випадках, від приблизно 30 до приблизно 45 мас. %. У деяких варіантах реалізації ЦПП містить вільне вапно (доступне для реакції гідратації з водою) у концентрації, що становить від приблизно 1 до приблизно 10 %, у деяких випадках, від приблизно 1 до приблизно 5 % і, у деяких варіантах реалізації, від приблизно 3 до приблизно 5 %. Крім того, у деяких варіантах реалізації ЦПП містить, крім іншого, сполуки, що містять лужні метали, лужноземельні метали й сірку.

[0070] Інші типові джерела лужних порошків, що містять кальцій, а також переважно таких, що містять діоксид кремнію і оксид алюмінію, включають різні, пов'язані з виробництвом цементу побічні продукти (крім описаних вище портландцементу і ЦПП). Змішані цементні продукти є одним підходящим прикладом такого джерела. Ці змішані цементні продукти звичайно містять суміші портландцементу і/або його клінкера, об'єднані зі шлаками(ами) і/або пуцоланом(ами) (наприклад, зольним винесенням, кремнеземним пилом, обпаленими сланцями). Пуцолани звичайно є кремнеземистими матеріалами, які самі по собі не є в'язкими, але які розбудовують властивості гідралічного цементу при реакції з вільним вапном (вільним СаО) і водою. Іншими джерелами є кладковий цемент і/або гідралічне вапно, яке включає суміші портландцементу і/або його клінкера з вапном або вапняком. Іншими підходящими джерелами є глиноземні цементи, які являють собою гідралічні цементи, виготовлені шляхом спалювання суміші вапняку та бокситу (гетерогенний матеріал природного походження, що містить один або більше мінералів гідроксиду алюмінію, а також різні суміші діоксиду кремнію, діоксиду титану, алюмосилікатів і інших домішок у невеликих або слідових кількостях). Ще одним прикладом є пуцолановий цемент, який являє собою змішаний цемент, що містить істотну кількість пуцоланів. Звичайно пуцолановий цемент містить оксид кальцію, однак по суті не містить іпортландцемент. Розповсюджені приклади широко застосовуваних пуцоланів включають природні пуцолани (такі як деякі вулканічні попели або туфи, деякі діатоміти, обпалені глини і сланці) і синтетичні пуцолани (такі як кремнеземний пил і зольне винесення).

[0071] Пил з печі для випалу вапна (ПВВ) є побічним продуктом від одержання вапна. ПВВ являє собою пил або частки, зібрані з печі для випалу вапна або пов'язаного з нею технологічного встаткування. Виготовлене вапно можна охарактеризувати як вапно з високим вмістом кальцію або доломітове вапно, і ПВВ змінюється залежно від способів, за допомогою яких її утворюють. Вапно часто одержують за допомогою реакції кальцинування, проведеної шляхом нагрівання вапняної сировини, такої як карбонат кальцію (CaCO_3), з утворенням вільного вапна СаО та діоксиду вуглецю (CO_2). Вапно з високим вмістом кальцію має високу концентрацію оксиду кальцію і, звичайно, містить деякі домішки, що включають сполуки, що містять алюміній, і сполуки, що містять залізо. Вапно з високим вмістом кальцію звичайно одержують із високочистого карбонату кальцію (чистота приблизно 95 % або вище). Звичайний вміст оксиду кальцію в ПВВ продукті, отриманому в результаті обробки вапна з високим вмістом кальцію, більше або рівне приблизно 75 мас. %, іноді більше або рівне приблизно 85 мас. % і, у деяких випадках, більше або рівне приблизно 90 мас. %. У деяких варіантах одержання вапна доломіт ($\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$) розкладається при нагріванні до первинно утворених оксиду кальцію (СаО) і оксиду магнію (MgO), утворюючи в такий спосіб продукт, відомий як доломітове вапно. У ПВВ, утвореної за допомогою обробки вапна, оксид кальцію може бути присутнім у кількості, більшеому або рівному приблизно 45 мас. %, можливо більше приблизно 50 мас. % і, у деяких варіантах реалізації, більше приблизно 55 мас. %. Хоча ПВВ змінюється залежно від типу застосовуваної обробки вапна, воно звичайно має відносно високу концентрацію вільного вапна. Звичайна кількість вільного вапна в ПВВ становить від приблизно 10 до приблизно 50 %, у деяких випадках, від приблизно 20 до приблизно 40 мас. %, залежно від відносної концентрації оксиду кальцію, присутнього в утвореному вапняному продукті.

[0072] Шлаки звичайно є побічними продуктами, що утворюються при виготовленні й обробці металів. Термін "шлаки" охоплює широке різноманіття побічних продуктів, що звичайно

містять більшу частку неметалічних побічних продуктів одержання й обробки чорного металу і/або сталі. Загалом, шлаки розглядають як суміш оксидів різних металів, однак вони часто містять сульфідні металів і атоми металів в елементарній формі.

[0073] Різні приклади шлакових побічних продуктів, що підходять для певних варіантів реалізації винаходу, включають шлаки чорної металургії, такі як шлаки, утворені в домнах (також відомих як вагранки), включаючи, як приклад, доменний шлаки повітряного охолодження (ДШПО), термозит або спінений доменний шлаки, окомкований доменний шлаки, гранульований доменний шлаки (ГДШ) і т.п. Шлаки, що містять сталь, можна одержати з киснево-конверторних печей (ККП) або з електродугових печей (ЕДП). Було виявлено, що багато шлаків мають в'язкі і/або пучоланові властивості, однак, ступінь, до якого шлаки мають ці властивості, залежить від їхнього відповідного складу й способу, яким вони отримані, як зрозуміло фахівцям. Типові шлаки містять сполуки, які включають кальцій, сполуки, які включають кремній, сполуки, які включають алюміній, сполуки, які включають магній, залізовмісні сполуки, сполуки, які включають марганець і/або сполуки, які включають сірку. У деяких варіантах реалізації шлаки містять оксид кальцію в кількості від приблизно 25 до приблизно 60 мас. %, у деяких випадках, від приблизно 30 до приблизно 50 мас. % і, у деяких випадках, від приблизно 30 до приблизно 45 мас. %. Одним прикладом підходящого шлаку, що звичайно має в'язкі властивості, є здрібнений гранульований доменний шлак (ЗГДШ).

[0074] Як описано вище, інші підходящі приклади включають пил доменної печі (вагранки), зібрану із пристроїв контролю забруднення повітря, приєднаних до доменних печей, таку як фільтраційний осад на вловлювачі вагранки. Іншим підходящим промисловим джерелом побічного продукту є зола шламу знебарвленого паперу. Як зрозуміло фахівцям, існує багато різних побічних продуктів промислових способів/способів одержання, які придатні в якості джерела кальцію для лужних порошків, які утворюють композиції, що сорбують, за винаходом. Багато із цих добре відомих побічних продуктів також містять оксид алюмінію і/або діоксид кремнію. Деякі, такі як пил з печі для випалу вапна, містять велику кількість CaO й відносно невелику кількість діоксиду кремнію й оксиду алюмінію. Комбінації кожного з типових промислових продуктів і/або промислових побічних продуктів також передбачають для використання як лужних порошків у певних варіантах реалізації винаходу.

[0075] У різних варіантах реалізації необхідна для використання кількість діоксиду кремнію і/або оксиду алюмінію вище їх кількості, забезпечуваної шляхом додавання таких матеріалів, як портландцемент, цементний пічний пил, пил з печі для випалу вапна і/або вапно із цукрового буряка. Відповідно, можливо доповнювати такі матеріали алюмосилікатними матеріалами, такими як, не обмежуючись зазначеним, глина (наприклад, монтморилоніт, каолін і т.п.), коли потрібно забезпечити кращий вміст діоксиду кремнію і оксиду алюмінію. У різних варіантах реалізації додаткові алюмосилікатні матеріали становлять щонайменше приблизно 2 мас. % і переважно щонайменше приблизно 5 мас. % від різних компонентів сорбенту, що додаються в систему спалювання вугілля. Загалом, з технічної точки зору не існує верхньої межі, доти, поки підтримують належний вміст кальцію. Однак, з погляду витрат, звичайно потрібно обмежити частку більше дорогих алюмосилікатних матеріалів. Таким чином, компоненти сорбенту переважно містять від приблизно 2 до 50 мас. %, переважно від 2 до 20 мас. % і більше переважно від 2 до 10 мас. % алюмосилікатного матеріалу, такого як типові глини. Необмежуючий приклад сорбенту являє собою приблизно 93 мас. % суміші ЦПП і ПВВ (наприклад, суміш 50:50) і приблизно 7 мас. % алюмосилікатної глини.

[0076] У різних варіантах реалізації лужна порошкова композиція, що сорбує, містить один або більше кальцій порошків, що містять кальцій, таких як портландцемент, цементний пічний пил, різні шлаки й вапно із цукрового буряка, поряд з алюмосилікатними глинами, такими як, не обмежуючись перерахованим, монтмориллоніт або каолін. Композиція, що сорбує, переважно містить достатню кількість SiO_2 і Al_2O_3 для утворення вогнетривкої суміші із сульфатом кальцію, одержуваним шляхом спалювання вугілля, що містить сірку, в присутності компонента сорбенту CaO , так що сульфат кальцію надходить на обробку в систему контролю запилення, і для утворення вогнетривкої суміші із ртуттю й іншими важкими металами, так що ртуть і інші важкі метали не вилугуються із золи при кислих умовах. У кращих варіантах реалізації порошковий сорбент, що включає кальцій, містить мінімально 10 мас. % діоксиду кремнію й 2 – 10 мас. % оксиду алюмінію. Кращий вміст оксиду алюмінію вище, ніж той, що зустрічається в портландцементі, інакше кажучи, вище приблизно 5 мас. %, переважно вище приблизно 6 мас. %, виходячи з Al_2O_3 .

[0077] У різних варіантах реалізації компоненти лужної порошкової композиції, що сорбує, діють разом зі сполукою, що додається в деяких випадках або сполуками галогену (таким як бром) для вловлювання хлориду, а також ртуті, свинцю, миш'яку й інших важких металів у золі,

надаючи важким металам здатність не вилугуватись у кислих умовах і поліпшуючи в'язку природу одержуваної золи. У результаті послабляють, зменшують або усувають викиди шкідливих елементів і одержують цінний в'язкий матеріал як побічний продукт спалювання вугілля.

5 [0078] Підходящі алюмосилікатні матеріали включають широке різноманіття неорганічних мінералів і матеріалів. Наприклад, багато мінералів, природних матеріалів і синтетичних матеріалів містять кремній і алюміній, асоційовані з кисневим оточенням, поряд з можливими іншими катіонами, такими як, не обмежуючись перерахованим, Na, K, Be, Mg, Ca, Zr, V, Zn, Fe, Mn і/або іншими аніонами, такими як гідроксид, сульфат, хлорид, карбонат, поряд з можливою водою гідратації. Такі природні й синтетичні матеріали в даному документі називають

10 алюмосилікатними матеріалами і їх необмежуваним прикладом є вказані вище глини.

[0079] В алюмосилікатних матеріалах кремній звичайно присутній у вигляді тетраедра, тоді як алюміній присутній у вигляді тетраедра, октаедра або їх комбінації. Ланцюги або мережі алюмосилікату вибудовуються в таких матеріалах шляхом спільного використання 1, 2 або 3 атомів кисню між кремнієвими або алюмінієвими тетраедрами або октаедрами. Такі мінерали відомі під безліччю найменувань, такими як діоксид кремнію, оксид алюмінію, алюмосилікати, геополімер, силікати й алюмінати. Однак представлені сполуки, що містять алюміній і/або кремній, мають схильність до утворення діоксиду кремнію й оксиду алюмінію при впливі на них високих температур спалювання в присутності кисню.

20 [0080] В одному варіанті реалізації алюмосилікатні матеріали включають поліморфні модифікації $\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$. Наприклад, силіманіт містить октаedr діоксиду кремнію й оксид алюмінію, рівномірно розділений між тетраедром і октаедром. Кіаніт заснований на тетраедрі діоксиду кремнію і октаедрі оксиду алюмінію. Андалузит є іншою поліморфною модифікацією $\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$.

25 [0081] В інших варіантах реалізації ланцюгові силікати вносять вклад кремнію (у вигляді діоксиду кремнію) і/або алюмінію (у вигляді оксиду алюмінію) у композиції за винаходом. Ланцюгові силікати включають, не обмежуючись перерахованим, піроксенові й піроксеноїдні силікати, утворені з нескінченних ланцюгів тетраедрів SiO_4 , зв'язаних шляхом спільного використання атомів кисню.

30 [0082] Інші підходящі алюмосилікатні матеріали включають шаруваті матеріали, такі як, не обмежуючись перерахованим, слюди, глини, хризоліти (такі як азбест), тальк, мильний камінь, пірофіліт і каолінит. Такі матеріали відрізняються тим, що мають шаруваті структури, у яких октаедри й тетраедри діоксиду кремнію та оксиду алюмінію взаємно використовують два атоми кисню. Шаруваті алюмосилікати включають глини, такі як хлорити, глауконіт, іліт, полігорскіт, пірофіліт, сауконіт, вермикуліт, каолінит, кальцієвий монтморилоніт, натрієвий монтморилоніт і бентоніт. Інші приклади включають слюду і тальк.

35 [0083] Підходящі алюмосилікатні матеріали також включають синтетичні й природні цеоліти, такі як, не обмежуючись перерахованим, групи анальцима, содаліту, шабазиту, натроліту, філіпситу і морденіту. Інші цеолітові мінерали включають гейландит, брюстерит, епистильбіт, стильбіт, ягавараліт, ломонтит, фер'єрит, паулінгіт і кліноптилоліт. Цеоліти являють собою мінерали або синтетичні матеріали, що характеризуються алюмосилікатним тетраедричним каркасом, здатними до іонного обміну "більшими катіонами" (такими як Na, K, Ca, Ba і Sr) і слабо утримуваними молекулами води.

40 [0084] В інших варіантах реалізації використовують каркасні або тривимірні силікати, алюмінати і алюмосилікати. Каркасні алюмосилікати характеризуються структурою, у якій тетраедри SiO_4 , тетраедри AlO_4 і/або октаедри AlO_6 зв'язані в трьох вимірах. Необмежуючі приклади каркасних силікатів, що містять як діоксид кремнію, так і оксид алюмінію, включають польові шпати, такі як альбіт, анортит, андезин, битовніт, лабрадорит, мікроклін, санідін і ортоклаз.

50 [0085] В одному аспекті порошкові композиції, що сорбують, відрізняються тим, що вони містять велику кількість кальцію, переважно більше 20 мас. % або більше 40 мас. %, виходячи з оксиду кальцію, і тим, що крім цього вони містять діоксид кремнію і/або оксид алюмінію в більшій кількості, ніж та, що зустрічається в промислових продуктах, таких як портландцемент. У кращих варіантах реалізації композиції, сорбують, містять більше 5 мас. % оксиду алюмінію, переважно більше 6 мас. % оксиду алюмінію, переважно більше 7 мас. % оксиду алюмінію і переважно більше приблизно 8 мас. % оксиду алюмінію.

60 [0086] Вугілля або інше паливо обробляють компонентами, що сорбують, в кількості, ефективній для контролю кількості азоту, сірки і/або ртуті, що випускаються в атмосферу після спалювання. У різних варіантах реалізації загальне використовується для обробки кількість компонентів, що сорбують, становить від приблизно 0,1 мас. % до приблизно 20 мас. %,

виходячи з маси вугілля, що підлягає обробці, або витрати вугілля, затраченого при спалюванні, коли сорбент являє собою порошок сорбент, що містить кальцій, діоксид кремнію і оксид алюмінію. Коли компоненти сорбенту поєднують в одній композиції, використовувана для обробки кількість компонента відповідає використовуваному для обробки кількості сорбенту. У такий спосіб можна забезпечити одну композицію, що сорбує, та відмірювати або іншим шляхом дозувати її для додавання в систему спалювання вугілля. Загалом, бажано використовувати мінімальну кількість сорбенту, так щоб не перевантажити систему надлишковою золою, у той же час все-таки в достатньому ступені забезпечуючи необхідний вплив на викиди сірки і/або ртуті. Відповідно, у різних варіантах реалізації використовувана для обробки кількість сорбенту становить від приблизно 0,1 мас. % до приблизно 10 мас. %, у деяких варіантах реалізації, від приблизно 1 або 2 мас. % до приблизно 10 мас. %. Для багатьох вугілля було виявлено, що дозування 6 мас. % порошкового сорбенту є прийнятною.

[0087] Композиції, що сорбують і містять сполуку галогену, включають одну або більше органічних або неорганічних сполук, які містять галоген. Галогени включають хлор, бром і йод. Кращими галогенами є бром і йод. Сполуки галогену є джерелами галогенів, особливо, бром і йоду. Для бром джерела галогену включають різні неорганічні солі бром, включаючи броміди, бромати й гіпоброміти. У різних варіантах реалізації органічні сполуки бром є менш кращими через їх вартість або доступність. Однак, органічні джерела бром, що містять придатну високу кількість бром, підпадають в межі захисту даного винаходу. Необмежуючі приклади органічних сполук бром включають метиленбромід, етилбромід, бромформ і тетрабромід вуглецю. Необмежуючі неорганічні джерела йоду включають гіпойодити, йодати і йодиди, причому йодиди є кращими. Також можна використовувати органічні сполуки йоду.

[0088] Коли сполука галогену являє собою неорганічний замісник, вона переважно є сіллю лужноземельного елемента, що містить бром або йод. Типові лужноземельні елементи включають берилій, магній і кальцій. Особливо кращими сполуками галогену є броміди і йодиди лужноземельних металів, наприклад, кальцію. Бромні і йодні сполуки лужних металів, такі як броміди і йодиди, ефективні при зниженні викидів ртуті. Але в деяких варіантах реалізації вони менш кращі, тому що вони можуть викликати корозію труб бойлера та інших сталевих поверхонь і/або вносити вклад у руйнування труби і/або в руйнування вогнетривкої цегли. У різних варіантах реалізації було виявлено, що бажане уникати калієвих солей галогенів, щоб уникнути проблем у печі.

[0089] У різних варіантах реалізації було виявлено, що застосування солей лужноземельних металів, наприклад, кальцію, дозволяє уникнути таких проблем, як з натрієм і/або калієм. Таким чином, у різних варіантах реалізації сорбенти, що додаються в систему спалювання вугілля, по суті не містять сполук бром або йоду, що містять лужний метал, або, більше конкретно, по суті не містять сполук бром або йоду, що містять натрій або калій.

[0090] У різних варіантах реалізації композиції, сорбують і що містять галоген, забезпечують у формі рідкої або твердої композиції. У різних варіантах реалізації композицію, що містить галоген, наносять на вугілля перед спалюванням, додають у піч у ході спалювання і/або вносять у димові гази нижче по потоку від печі. Коли галогенова композиція є твердою, вона може додатково містити описані в даному документі компоненти – кальцій, діоксид кремнію й оксид алюмінію, у вигляді порошкового сорбенту. Альтернативно, тверду галогенову композицію наносять на вугілля і/або де-небудь ще в системі спалювання окремо від компонентів, сорбують і що містять кальцій, діоксид кремнію й оксид алюмінію. Коли вона являє собою рідку композицією, її звичайно наносять окремо.

[0091] У різних варіантах реалізації рідкий сорбент ртуті включає розчин, що містить від 5 до 60 мас. % розчинної солі, що містить бром або йод. Необмежуючі приклади кращих солей бром і йоду включають бромід кальцію і йодид кальцію. У різних варіантах реалізації рідкі сорбенти містять 5 – 60 мас. % броміду кальцію і/або йодиду кальцію. Для ефективності додавання у вугілля перед спалюванням, у різних варіантах реалізації переважно додавати сорбенти ртуті, що мають наскільки можливо високий вміст сполуку бром або йоду. У необмежувачому варіанті реалізації рідкий сорбент містить 50 мас. % або більше сполуку галогену, такого як бромід кальцію або йодид кальцію.

[0092] У різних варіантах реалізації композиції, що сорбують і що містять сполуку галогену, додатково містять нітратну сполуку, нітритну сполуку або комбінацію нітратної й нітритної сполук. Кращі нітратні й нітритні сполуки включають сполуку магнію й кальцію, переважно кальцію.

[0093] Для додаткової ілюстрації, один варіант реалізації даного о винаходу включає додавання рідкого сорбенту ртуті безпосередньо в сировинне або здрібнене вугілля до

спалювання. Наприклад, сорбент ртуті додають у вугілля в живильниках вугілля. Кількість рідкого сорбенту ртуті, що додається, становить від 0,01 до 5 %. У різних варіантах реалізації використовуване для обробки кількість становить менше 5 %, менше 4 %, менше 3 %, менше 2 %, менше 1 %, менше 0,5 % і менше 0,2 %, де всі відсоткові частки розраховані, виходячи з кількості підлягаючого обробці вугілля або витрати вугілля, затрачуваного при спалюванні. Можливо використовувати більшу кількість для обробки, але це приводить до непотрібної витрати матеріалу, тому що не досягається ніякої додаткової переваги. Краща кількість для обробки становить від 0,025 до 2,5 мас. %. Кількість твердої солі бромиду або йодиду, що додається у формі рідкого сорбенту, звичайно знижується по масовій частці в сорбенті. В ілюстративному варіанті реалізації кількість, що додається, сполуки бромиду або йодиду є низькою, такою як від 0,01 мас. % до 1 мас. %, виходячи із твердої речовини. Коли використовують 50 мас. % розчин, тоді сорбент додають при нормі від 0,02 % до 2 %, щоб досягтися низького рівня додавання. Наприклад, у кращому варіанті реалізації вугілля обробляють рідким сорбентом у кількості від 0,02 до 1 %, переважно від 0,02 до 0,5 %, розрахованому при допущенні, що бромід кальцію становить приблизно 50 мас. % від сорбенту. У типовому варіанті реалізації приблизно 1 %, 0,5 % або 0,25 % рідкого сорбенту, що містить 50 % бромиду кальцію, додають на вугілля перед спалюванням, причому відсотковий вміст розрахований, виходячи з маси вугілля. У кращому варіанті реалізації початкову обробку починають при низьких рівнях (таких як від 0,01 % до 0,1 %) і поступово збільшують доти, поки не досягнеться необхідного (низького) рівня викидів ртуті, ґрунтуючись на відстеженні викидів. Схожу кількість для обробки галогеном використовують, коли галоген додають у вигляді твердої або багатокомпонентної композиції з іншими компонентами, такими як кальцій, діоксид кремнію, оксид алюмінію, оксид заліза й т.п.

[0094] Коли використовують рідкий сорбент, його розпорошують, капають або іншим образом подають на вугілля або в які-небудь інші місця в системі спалювання вугілля. У різних варіантах реалізації додавання у вугілля або інше паливо здійснюють при умовах навколишнього середовища до вступу композиції палива/сорбенту в піч. Наприклад, сорбент додають до тонкоздрібненого вугілля до його введення в піч. Альтернативно або додатково, рідкий сорбент додають у піч у ході спалювання і/або в димові газу нижче по потоку від печі. Додавання композиції сорбенту ртуті, що містить галоген, часто супроводжується зниженням вмісту ртуті, вимірюваного в димових газах, у межах хвилини або декількох хвилин, у різних варіантах реалізації зниження вмісту ртуті відбувається на додаток до зниження, що досягається шляхом використання лужного порошкового сорбенту на основі кальцію, діоксиду кремнію й оксиду алюмінію.

[0095] В інших варіантах реалізації винахід включає додавання галогенового компонента (у якості ілюстрації, розчину бромиду кальцію) безпосередньо в піч у ході спалювання. В інших варіантах реалізації у винаході забезпечують додавання розчину бромиду кальцію так, як обговорювали вище, у газовий потік нижче по потоку від печі в зоні, що характеризується температурою в інтервалі від приблизно 1480 °C (2700 °F) до приблизно 815,5 °C (1500 °F), переважно від приблизно 1204 °C (2200 °F) до приблизно 815,5 °C (1500 °F). У різних варіантах реалізації використовуване для обробки кількість сполук бромиду, таких як бромиду кальцію, розділяють між додаванням разом зі спалюванням, перед і після спалювання в різних частках.

[0096] В одному варіанті реалізації різні компоненти, що сорбують, додають до вугілля до його спалювання для одержання так званого збагаченого вугілля. Вугілля, на яке наносять сорбенти, переважно являє собою пилоподібне вугілля, і його тонко подрібнюють або перетворюють у порошок згідно зі звичайними процедурами. У необмежуючому прикладі вугілля тонко подрібнюють так, що 75 мас. % часток проходять крізь сито 200 меш (сито 200 меш має діаметр отворів 75 мкм). У різних варіантах реалізації компоненти, що сорбують, додають до вугілля у вигляді твердої речовини або у вигляді комбінації рідини й твердої речовини. Звичайно тверді композиції, що сорбують, перебувають у формі порошку. Якщо сорбент додають у вигляді рідини (у якості ілюстрації, у вигляді розчину однієї або більше солей бромиду й йоду у воді), в одному варіанті реалізації вугілля залишається вологим, коли його подають у випалювальну піч. У різних варіантах реалізації композицію, що сорбує, безупинно додають до вугілля в пристрої спалювання вугілля шляхом розпилення на вугілля або змішування з ним, коли він перебуває на транспортері, у шнековому екструдері або інших завантажувальних пристроях. Додатково або альтернативно, композицію, що сорбує, окремо змішують із вугіллям у пристрої для спалювання вугілля або на вуглевидобувнім підприємстві. У кращому варіанті реалізації композицію, що сорбує, додають до вугілля у вигляді рідини або порошку в міру того, як його подають у випалювальну піч. Наприклад, у кращому промисловому варіанті реалізації сорбент вносять в подрібнювачі, які тонко подрібнюють вугілля перед введенням. Якщо

потрібно, норму додавання композиції сорбенту змінюють для досягнення необхідного рівня викидів ртуті. В одному варіанті реалізації контролюють вміст ртуті в димових газах, і кількість сорбенту, що додається, регулюють, збільшуючи або знижуючи його, як потрібно для підтримання необхідного вмісту ртуті.

[0097] У кращих варіантах реалізації азот, ртуть і сірку контролюють із застосуванням промислових стандартних способів, таких як способи, опубліковані Американським товариством по випробуваннях і матеріалам (ASTM), або міжнародних стандартів, опублікованих Міжнародною організацією по стандартах (ISO). Пристрій, що включає аналітичний прилад, переважно розташовують у конвективному шляху нижче по потоку від пунктів додавання сорбентів ртуті та сірки. У кращому варіанті реалізації реєстратор розташовують на чистій стороні системи очищення димових газів від твердих часток. Альтернативно або додатково, димові гази відбирають у належних місцях у конвективному шляху без необхідності установки приладу або контролюючого пристрою. У різних варіантах реалізації обмірюваний вміст ртуті або сірки використовують для забезпечення сигналів зворотному зв'язку до насосів, що управляють клапанам, розпилювачам і іншим пристроям, які пускають у хід або регулюють для настроювання норми додавання композиції, що сорбує, в систему спалювання вугілля. Альтернативно або додатково, норму додавання сорбенту може настроїти людина-оператор, на основі спостережуваного вмісту ртуті і/або сірки.

[0098] У різних варіантах реалізації зола, отримана шляхом спалювання вугілля в присутності описаних у даному документі сорбентів, є в'язкою в тому відношенні, що вона твердіє і здобуває міцність при об'єднанні з водою. Зола зазвичай є самотвердіючою через відносно високий вміст кальцію. Зола служить сама по собі або в комбінації з портландцементом у якості гідралічного цементу, що підходить для введення до складу різноманітних в'язких сумішей, таких як цементні розчини, бетони й рідкі будівельні розчини.

[0099] В'язку природу золи, отриманої як описано в даному документі, демонструють, наприклад, шляхом розгляду показника активності міцності золи або, більше точно суміші в'язучого, що містить золу. Як описано в ASTM 3311-05, вимір показника активності міцності виконують, порівнюючи поведінку при затвердінні й наростання властивості бетону на основі 100 % портландцементу й випробовуваного бетону, у якому 20 % портландцементу замінюють рівною масою випробовуваного цементу. У стандартному випробуванні міцність порівнюють на 7 добу та на 28 добу. "Минулим" випробування вважають випробовуваний бетон, коли його міцність становить 75 % від міцності бетону на портландцементі або вище. У різних варіантах реалізації зола по винаходу показує активність міцності від 100 % до 150 % у випробуванні ASTM, що вказує на високий рівень "проходження випробування". Схожі високі значення спостерігають, коли випробування проводять на досліджуваних сумішах, відмінних від суміші 80:20 портландцементу до золи. У різних варіантах реалізації показник активності міцності від 100 % до 150 % досягають із сумішами від 85:15 до 50:50, де перше число у відношенні представляє портландцемент і друге число у відношенні представляє золу, отриману згідно з винаходом. В окремих варіантах реалізації наростання міцності випробовуваної в'язкої суміші з однієї золи (тобто, коли зола представляє 100 % цементу у випробовуваній суміші) становить більше 50 % від наростання міцності контрольного зразка з одного портландцементу і переважно становить більше 75 % і більше переважно 100 % або більше, наприклад 100 – 150 %. Такі результати показують високу в'язку природу золи, отриманої шляхом спалювання вугілля або іншого палива в присутності компонентів, що сорбують, описаних у даному документі.

[0100] Оскільки, зола, одержувана при спалюванні вугілля згідно з винаходом, містить ртуть у формі, що не вилужується, її можна продавати на ринку. Необмежуючі застосування відпрацьованого або використаного зольного винесення або зольного залишку включають застосування як компонента у цементному продукті, такому як портландцемент. У різних варіантах реалізації цементні продукти містять від приблизно 0,1 мас. % аж до приблизно 99 мас. % вугільної золи, отриманої шляхом спалювання композицій по винаходу. В одному аспекті властивість ртуті й інших важких металів у вугільній золі до не вилугування робить її підходящою для всіх відомих промислових застосувань вугільної золи.

[0101] Вугільну золу по винаходу, особливо зольне винесення, зібраний системами пиловловлення (пиловловлювачем із тканинними фільтрами, електростатичними осаджувачами і т.п.) застосовують у бетоні на портландцементі (БПЦ) у якості часткової або повної заміни портландцементу. У різних варіантах реалізації золу застосовують як мінеральну добавку або в якості компонента змішаного цементу. У якості компонента суміші зола може повністю або частково замінити портландцемент і її можна додавати безпосередньо в товарну бетонну суміш

на бетонному заводі. Альтернативно або додатково, золу перемелюють із цементним клінкером або змішують із портландцементом для одержання цементу з добавками.

[0102] Зольні винесення класу F і класу 3 визначені, наприклад, у стандарті США ASTM 3 618. Стандарт ASTM слугують у якості технічних вимог до зольного винесення, коли його застосовують для часткової заміни портландцементу. Необхідно відзначити, що вугільна зола, отримана описаними в даному документі способами, звичайно містить більше кальцію й менше діоксиду кремнію і оксиду алюмінію, ніж передбачене технічними вимогами для зольного винесення класу F і класу C у ASTM 3 618. Звичайні значення для зольного винесення по винаходу становлять > 50 мас. % CaO та < 25 % $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$. У різних варіантах реалізації зола складається з від 51 до 80 мас. % CaO та від приблизно 2 до приблизно 25 % загального вмісту діоксиду кремнію, оксиду алюмінію й оксиду заліза. Спостерігають, що зольне винесення за винаходом є сильно в'язким, що дає можливість заміщення або зниження кількості портландцементу, застосовуваного у таких в'язких матеріалах на 50 % або більше. У різних застосуваннях вугільна зола, одержувана від спалювання вугілля з описаними в даному документі сорбентами, є досить в'язкою, щоб повністю (на 100 %) замінити портландцемент у таких композиціях.

[0103] Для додаткової ілюстрації Американський інститут бетону (ACI) рекомендує, щоб зольне винесення класу F заміщало від 15 до 25 % портландцементу, і зольне винесення класу C заміщало від 20 до 35 %. Було виявлено, що вугільна зола, отримана згідно з описаним у даному документі способом, є досить в'язкою для заміщення аж до 50 % портландцементу, при збереженні наростання міцності в ході 28 доби, еквівалентної наростання міцності в продукті з використанням 100 % портландцементу. Це означає, що хоча в різних варіантах реалізації зола не відноситься по хімічному складу до золи класу C або класу F згідно ASTM C 618, вона проте підходить для формування сумішей бетонних виробів з високою міцністю.

[0104] Вугільну золу, отриману згідно з винаходом, також можна застосовувати в якості компонента у виробництві текучого заповнювача, який також називають рідким будівельним розчином (РБР). РБР застосовують як самовирівнюючий самоущільнюючий, заповнюючий матеріал замість ущільненого ґрунту або іншого заповнювача. Описану в даному документі золу застосовують у різних варіантах реалізації в якості 100 %-вої заміни портландцементу в таких РБР матеріалах. Такі композиції складаються з води, цементу і агрегату для одержання необхідної плинності і наростання кінцевої міцності. Наприклад, кінцева міцність текучого заповнювача не повинна перевищувати 1035 кпа (150 фунтів на кв. дюйм), якщо потрібно замінювати затверділий матеріал. Якщо при складанні композиції досягають більше високої кінцевої міцності, для видалення може знадобитися відбійний молоток. Однак, коли це потрібно для складання композиції текучих заповнюючих сумішей, використовуваних у застосуваннях, витримуючих високі навантаження, можна розробляти суміші з більшим діапазоном міцності при стиснанні після твердіння.

[0105] Вугільна зола, отримана згідно з описаним у даному документі способом, також придатна для використання як компонента сумішей для стабілізованої основи та підстильного шару. З 1950-х років численні варіанти складів основного вапна /зольного винесення/заповнювача застосовують як суміші для стабілізованої основи. Один приклад застосування стабілізованої основи являє собою застосування її в якості стабілізованої дорожньої основи. Для ілюстрації, гравійні дороги можна повторно використовувати на місці із застосуванням золи даної композиції. Існуючу поверхню дороги тонко подрібнюють і повторно наносять на її первісне положення. Золу, отриману описаними в даному документі способами, розпорошують поверх здрібненого дорожнього матеріалу й вмішують. Після ущільнення на дорожнє покриття поміщають верхній водоізолюючий шар. Зола по винаходу підходить для таких застосувань, тому що вона не містить важких металів, які вилужуються більшою мірою, ніж впливає по нормативних вимогах. Напроти, зола, отримана способами за винаходом, містить менше ртуті, що вилужується, і менше інших важких металів, що вилужуються, (таких як миш'як і свинець), ніж вугільна зола, отримана шляхом спалювання вугілля без описаних у даному документі сорбентів.

[0106] Таким чином, у винаході забезпечують різні способи усунення потреби в захороненні вугільної золи або зольного винесення, одержуваних при спалюванні вугілля, яке містить багато ртуті. Замість витратного захоронення матеріал можна продавати або використовувати іншим чином у якості сировинного матеріалу.

[0107] У кращому варіанті реалізації застосування сорбентів приводить до одержання в'язкої золи, яка може повністю або частково замінити портландцемент у різноманітних галузях застосування. Завдяки повторному використанню в'язкого продукту, уникають одержання щонайменше частини портландцементу, зберігаючи енергію, яка потрібна для одержання

цементу, і уникаючи виділення значної кількості діоксиду вуглецю, яке могло б відбуватися при виготовленні цементу. Інше скорочення викидів діоксиду вуглецю одержують зі зниженої потреби у вапні або карбонаті кальцію в СКВ в скруберах десульфуризації. Таким чином, у винаході запропоновані, у різних варіантах реалізації, способи заощадження енергії і зниження парникових викидів, таких як викиди діоксиду вуглецю. Подальші подробиці різних варіантів реалізації цього аспекту винаходу наведені нижче.

Приклади

Приклад 1

[0108] Нижче представлені необхідні технічні характеристики для порошкового сорбенту та галоїдного сорбенту для застосування в одержанні збагаченого вугілля із застосуванням суббітомінозного вугілля.

Порошковий сорбент

Компонент	Вміст (мас. %)	Компонент	Вміст (мас. %)
Оксид кальцію (CaO)	> 40 %	Оксид калію (K ₂ O)	< 1 %
Діоксид кремнію (SiO ₂)	>10 %	Оксид натрію (Na ₂ O) ¹	< 1 %
Оксид алюмінію (Al ₂ O ₃)	2 – 10 %	Оксид сірки (SO ₃)	< 7 % ¹
Оксид заліза (Fe ₂ O ₃)	1 – 5 %	Хлорид (Cl)	< 0,5 %
Оксид магнію (MgO)	1-5 %	Ртуть (Hg)	<0,1 мкг/г ²
Розподіл по розмірах	> 80 % проходить крізь сито 200 меш	Розподіл по розмірах слід визначати за допомогою аналізу на ситах з тонкого дроту	

¹ Крім суворого обмеження, що становить 7 % SO₃, відношення CaO й SO₃ не повинне становити менше 6:, і переважно його слід підтримувати більше 8:1. Це забезпечує достатню кількість CaO для поглинання доданої сірки.

² На практиці, вміст Hg у порошковому сорбенті необхідно підтримувати меншим або рівним вмісту Hg в оброблюваному вугіллі.

Прийнятними способами випробування для аналізу на вміст оксидів є:
ASTM D3682 Стандартні способи випробування для основних і другорядних елементів у залишках після спалювання із процесів використання вугілля

ASTM 3114 Стандартні способи випробування для хімічного аналізу гідралічного цементу

Прийнятні способи випробування для визначення вмісту ртуті:

ASTM D6414 Стандартний спосіб випробування для визначення загального вмісту ртуті в вугіллі й залишках від спалювання вугілля шляхом екстрагування кислотою або вологого окиснення/ атомної абсорбції з використанням холодного пари

ASTM D6722 Стандартний спосіб випробування для визначення загального вмісту ртуті в вугіллі й залишках від спалювання вугілля шляхом аналізу за допомогою прямого спалювання

EPA 7473 Вміст ртуті у твердих або напівтвердих відходах (технологія холодної пари з ручним керуванням)

Галоїдний сорбент

Компонент	Вміст (мас. %)	Спосіб визначення
Бромід кальцію (CaBr ₂)	52 – 54	Технологічний контроль складання суміші й визначення питомої щільності
Вода (H ₂ O)	46-48	Технологічний контроль складання суміші й виміру питомої щільності

Приклад 2

[0109] Виконували ряд випробувань у пристрої для дослідження процесів горіння (ПДПГ) Дослідного центру енергетики й навколишнього середовища (EERC) для визначення впливу сорбентів на викиди NO_x і Hg у ході спалювання суббітомінозного вугілля з басейну ріки Паудер (БРП). Випробування проводили, щоб підтримати зусилля для підтвердження того, що у використовуваному способі одержують "збагачене вугілля", визначений у розділі 45 Кодексу внутрішніх доходів. У розділі 45(c)(7)(A) збагачене вугілля визначають як таке, що включає паливо, яке 1) є твердим паливом, отриманим з вугілля, 2) продається платником податків з обґрунтованим очікуванням, що воно буде застосовуватися з метою одержання пару, і 3)

сертифікується платником податків як таке, що приводить (при застосуванні в одержанні пару) до "сертифікованого зниження викидів".

У розділі 45(c)(7)(A) термін "сертифіковане зниження викидів" визначають як означаючий зниження щонайменше на 20 % викидів NOx і щонайменше на 40 % викидів або SOx, або Hg, що виділяються при спалюванні збагаченого вугілля, у порівнянні з викидами, що виділяються при спалюванні сирого вугілля.

Опис пристроїв і операцій

[0110] ПДПГ широко застосовують для дослідження викидів SOx і NOx і перетворення токсичних слідових металів (Hg, As і Pb) у ході спалювання вугілля й іншого палива або відходів. ПДПГ здатна виробляти зразки газу й часток, які є типовими представниками зразків, вироблюваних у промислових і повномасштабних бойлерах, що працюють на здрібненому вугіллі (иг). Пристрій для досліджень містить кілька пристроїв для боротьби із забрудненням, які можна використовувати для зниження викидів, включаючи електростатичний осаджувач (ЕСО) або пиловловлювач із тканинним фільтром для вловлювання пилу, колону селективного каталітичного відновлення (ВКВ) для боротьби з викидами NOx і вологий очисник для боротьби з викидами сірки. ПДПГ сконструйоване для відтворення майже всіх типів і конфігурацій повномасштабних бойлерів, що працюють на здрібненому вугіллі, використовуваних в енергетичних пристроях США для виробітку електрики з пари. Наприклад, ПДПГ може забезпечувати спалювання здрібненого вугілля з витратою від приблизно 161 кВт до приблизно 220 кВт (від 550000 до 750000 БТО /година), залежно від необхідних робочих умов. Хоча ПДПГ налаштовують для моделювання умов повномасштабних бойлерів, що працюють на здрібненому вугіллі, через множину змінних параметрів, які можуть впливати на результати спалювання в промисловому бойлері, неможливо точно повторити те, що спостерігають при регулярних промислових діях. Інтенсивність спалювання звичайно залежить від сорту вугілля, при цьому інтенсивність спалювання низькосортних вугіль перебуває на нижній межі діапазону, а інтенсивність спалювання високосортних вугіль перебуває на рівні зазначеного діапазону від середнього до верхнього. Тому що ПДПГ піч має вогнетривке облицювання, інтенсивність спалювання встановлюють, виходячи з температури газу на виході з печі (ТГВП), необхідної для моделювання конкретного бойлера, який можна було б застосувати у вугільній енергетичній установці. Для суббітомінозних вугіль інтенсивність спалювання, складова від приблизно 161 кВт до приблизно 176 кВт (від 550000 до 600000 БТО /година), звичайно дає ТГВП від приблизно 1149 °C (2100 °F) до приблизно 1204 °C (2200 °F), яка є типовою для багатьох вугільних енергетичних установок, у яких спалюють суббітомінозні вугілля, такі як розглянуте у даному документі випробовуване вугілля.

[0111] Повітря, яке надходить у зону горіння в ПДПГ, подають за допомогою нагнітального вентилятора в цій системі з урівноваженою тягою. Витяжний вентилятор за системою використовують для підтримки низького вакууму в зоні горіння й випуску димових газів згоряння у витяжну трубу. Повітря, яке надходить у зону горіння, звичайно попередньо нагрівають, використовуючи електричний нагрівач повітря, і його розділяють на первинне повітря, вторинне повітря й гостре дуття (ГД).

[0112] Аналіз газоподібних продуктів згоряння забезпечують за допомогою системи безперервного контролю викидів (СБКВ) у двох місцях розташування: на виході з печі, яке використовують для контролю й підтримки нормативних рівнів надлишкового повітря для всіх періодів випробування, і на виході пиловловлювача, яке використовують для оцінки якого-небудь підсмоктування повітря, яке може відбуватися, так щоб викиди, що представляють інтерес системи, що відбираються наприкінці, можна було скорегувати по розведенню, викликаному підсмоктуванням. Для цих груп випробувань аналізи димового газу одержували з димоходу на виході з ЕСО. Кожна підвіска СБКВ містить п'ять модулів для визначення O₂, CO₂, CO, SO₂ і NOx. За винятком модуля для визначення SO₂, кожний з модулів був виготовлений Ametek. У кожному з аналізаторів застосовують кондиціонер димових газів для видалення вологи з потоку газу до аналізу. Усі дані представлені в даному документі щодо сухого газу. Усі аналізи газів безупинно відслідковують і реєструють за допомогою системи збору даних ПДПГ. National Instruments забезпечував як апаратну частину ЕОМ, так і програмне забезпечення (Labview), використовуване для збору всіх представлених у даному документі даних.

[0113] Аналізатори СБКВ окремо калібрують перед кожним випробуванням, проведеним на ПДПГ. Азот використовують у якості нульового перевірного газу, при цьому кілька каліброваних газів застосовують для калібрування кожного приладу в інтервалі, використовуваному в ході випробування. Звичайно O₂ вимірюють в інтервалі від 0 % до 10 %, Z₂ вимірюють в інтервалі від 0 % до 20 %, З вимірюють в інтервалі від 0 до 500 частин на млн., і NOx вимірюють в інтервалі від 0 до 1000 частин на млн. Виміру SO₂ проводять у різних

інтервалах, залежно від вмісту сірки у випробовуваному вугіллі. У ході цих випробувань прилад для виміру SO_2 калібрували в інтервалі від 0 до 1000 частин на млн., який відповідав вмісту сірки у випробовуваному тут суббітомінозному вугіллі БРП.

[0114] Виміри вмісту ртуті (Hg) у димовому газі одержували окремо за допомогою пристрою безперервного контролю (ПБК) вмісту ртуті, виготовленого Tekran® Instrument Corporation. Система витягає зразок газу з димового газу, що випускається на виході з пиловловлювача. Вологу видаляють із газового потоку до аналізу. У системі кондиціювання димового газу застосовують 10 %-вий розчин NaOH для видалення CO_2 і SO_2 , щоб запобігти впливу на здатність аналізатора точно вимірювати концентрацію Hg у димовому газі. Тому що всі аналізатори Hg можуть вимірювати тільки елементарну ртуть, Hg^0 , загальну концентрацію ртуті, Hg_T , одержують шляхом відновлення частки окисненої ртуті, Hg^{2+} , 10 %-вим розчином NaOH, що містять дихлорид олова. Tekran Instrument уловлює Hg^0 з обробленого зразка на картридж, що містить адсорбент їх надчистого золота. Амальгамовану Hg потім термічно десорбують і реєструють, застосовуючи атомно-флуоресцентну спектроскопію холодної пари. Конструкція із двома картриджами забезпечує чергування відбору зразків і десорбції, що приводить до безперервного виміру потоку зразка. Аналогічно описаній вище калібруванню СБКВ, ПБК також установлюють на нуль і калібрують до випробування, і перевіряють по завершенню випробування. Ніякого зсуву не було помічене в ході проведених і наведених у даному документі випробувань.

Конфігурація ПДПГ, використовувана при цих випробуваннях, включає тільки ЕСО для пиловидалення, з вимірами як Hg, так і NO_x , одержуваними з каналу на виході ЕСО. При завершенні періодів випробування сирого й збагаченого вугілля, зразки палива й зольного винесення збирали й аналізували. Зразки, зібрані в ході випробування, описані в нижченаведеному обговоренні.

Одержання й аналіз палива

[0115] Випробовуване суббітомінозне вугілля являло собою зразок, отриманий зі штабеля вугілля. Вугілля являло собою суббітомінозне вугілля БРП із великою теплотою згорання, приблизно складовий від приблизно 19770 кДж/кг до приблизно 23260 кДж/кг (від 8500 до 10000 БТО /фунт), залежно від вмісту вологи, який добувають із декількох шахт, розташованих у Вайомінгу.

[0116] Вугілля в стані поставки оглядали на вміст поверхневого зволоження перед прийманням і висушували на настилі при необхідності. Висушений на повітрі зразок подрібнювали до максимального розміру приблизно 6 мм (1/4 дюйма) і подавали в молотковий млин, створюючи розподіл по розмірах із приблизно 70 %, що проходять крізь сито 200 меш, для застосування в ході випробування, що типово для обробки вугілля, що досягається в більшості енергетичних установок, що працюють на вугіллі. Цей розподіл по розмірах є типовим з тих, яких досягають шляхом тонкого здрібнювання вугілля в більшості повномасштабних бойлерів енергетичних установок. Зразок збагаченого вугілля, використовуваний у ході цієї серії випробувань, одержували за допомогою EERC, і його вважали порівняним з рафінованим вугіллем, отриманим у пристроях згідно з розділом 45. Сорбенти, використовувані для одержання збагаченого вугілля, наносили на Тонкоздрібнене паливо, як описано нижче. Це відрізняється від повномасштабного нанесення, коли сорбенти наносять на вугілля, яке забирають із запасів на вугільному складі, змішують, подрібнюють і потім направляють у млини для тонкого здрібнювання. Основною причиною нанесення сорбентів на Тонкоздрібнений вугілля для використання у випробуваннях лабораторного масштабу є потенційна втрата матеріалу в системі збору пилу, використовуваної в ході тонкого здрібнювання зразків палива. Усі зразки палива лабораторного масштабу віддалено роздрібнюють і тонко подрібнюють до використання. Шляхом одержання збагаченого палива з тонкоздрібненого зразка уникають потенційної втрати сорбентів у системі збору пилу, що приводить до кращого моделювання того, що відбувається у повному масштабі.

[0117] Тонкоздрібнене паливо розділяють на дві частини: зразок сировини й другий зразок вугілля, яке переробляють у збагачене вугілля. Збагачене вугілля нагтовлювали шляхом викладання зваженого кількості (приблизно 226 кг (приблизно 500 фунтів)) на підлозі пристрою для збагачення вугілля. Зважена кількість галоїдного сорбенту й порошкового сорбенту акуратно наносили на вугілля, яке періодично перемішували, при цьому наносили сорбенти. Порошковий розчинник розподіляли вручну, роблячи кілька проходжень по всій довжині штабеля вугілля з перемішуванням палива після кожного проходження. Галоїдний сорбент поміщали під тиском у невелику металеву розпилювальну каністру, так що сопло розпилювальної каністри виробляло аерозоль, який наносили на поверхню штабеля, що зазнавала впливу. Обробка вимагала декількох проходжень для повного розподілу сорбенту.

Після кожного проходження використовували граблі для перекидання штабеля, піддаючи нову поверхню впливу наступного проходу обробки. У кожному випадку кілька невеликих порцій сорбенту розподіляли по штабелю вугілля, потім його перемішували, доки не досягали розрахункової норми обробки, що становить 0,008 мас. % галоїдного сорбенту та 0,25 мас. % порошкового сорбенту.

[0118] Кожен зі зразків (сире вугілля і збагачене вугілля) переміщали в бункери для зберігання для застосування в описаному нижче лабораторному випробуванні. Ці бункери для зберігання перебувають безпосередньо над завантажувальним вугільним бункером у ході випробування. Поворотний клапан застосовують для переміщення зразків вугілля і збагаченого вугілля, відповідно, з бункерів для зберігання в завантажувальний бункер. Бункери для зберігання й завантажувальний бункер очищають розведеним кислим розчином після кожного випробування для видалення будь-яких слідів обробленого палива.

Аналіз палива

[0119] У ході кожного періоду випробування зразок вугілля транспортують із бункера для зберігання через невелику трубу, яка проникає в бічну стінку завантажувального пристрою під кутом 70, причому її відкритий кінець розташований безпосередньо нижче поворотного клапана між бункером для зберігання й завантажувальним бункером. Ця труба перехоплює невелику частину палива щораз, коли завантажувальний бункер заповнюється. У такий спосіб одержують дійсний зразок палива після спалювання. Зразок вугілля падає під дією сили ваги в мішок для відбору проб, приєднаний до кінця труби для відбору проб. Новий мішок приєднують до труби для відбору проб перед кожним новим періодом випробування, відокремлюючи зразки палива, що представляють паливо періодів випробувань сирого й збагаченого вугілля.

[0120] Вугілля після випалу безупинно відбирають для визначення базової лінії викидів при спалюванні сирого вугілля й викидів при аналогічному спалюванні збагаченого вугілля. Сире вугілля та збагачене вугілля надавали окремо для визначень технічного й кінцевого аналізів, теплоти згоряння, елементарного аналізу вмісту неорганічних оксидів (за допомогою рентгенівської флуоресценції) і вмісту хлору і ртуті. Результати цих аналізів представлені в таблиці 1. Зразки палива піддавали декільком стадіям обробки, які звичайно забезпечують можливість випаровування деякої частини вологи, що утримується в вугіллі у стані поставки. Найбільше зниження відбувається в ході тонкого здрібнювання палива. Розпилювач молоткового млина створює витяжну тягу, яка звичайно висушує, поверхні часток дрібного вугілля, які знову зазнають впливу, що є результатом тонкого здрібнювання. Ступінь сушіння, що відбувається, в основному залежить від умов навколишньої атмосфери (температури й відносної вологості) під час одержання палива. У результаті, можна легко виконати комплекс аналізів після випалу, з порівнянням сирого вугілля та збагаченого вугілля.

[0121] Було визначено, що сире вугілля (випробування AF-CTS-1461) має теплоту згоряння після випалу, що становить приблизно 22378 кДж/кг (9621 БТО /фунт) при вміст і вологи 20,03 мас. %. Були визначені теплота згоряння і зольність у перерахуванні на суху речовину, які склали приблизно 27984 кДж/кг (12031 БТО /фунт) і 4,91 мас. %, відповідно. Був визначений вміст сірки в сирому вугіллі, яке склало 0,37 мас. % у перерахуванні на суху речовину (приблизно 283 г (0,624 фунта) SO_2 /млн. БТО). Порошковий сорбент і рідкий галоїдний сорбент не мають теплоту згоряння, і рідкий галоїдний сорбент вносить додаткову кількість вологи в збагачене вугілля через вміст води в рідині, так що звичайно очікують зменшення теплоти згоряння (БТО /фунт) збагаченого вугілля в порівнянні із БТО /фунт сирого вугілля. Зольний аналіз неорганічних речовин, що містяться в кожному паливі, показує, що збагачене вугілля збагачене CaO та SO_2 , при цьому збіднений SiO_2 , Al_2O_3 і Fe_2O_3 щодо сирого вугілля. Був визначений вміст ртуті, який склав 0,0570 мкг/г (приблизно 2684 г (5,924 фунти)/Тера БТО, у перерахуванні на суху речовину) і 0,0556 мкг/г (приблизно 2676 г (5,908 фунтів)/Тера БТО, у перерахуванні на суху речовину) у зразках сирого і збагаченого вугілля, відповідно. Був визначений вміст хлору в зразках сирого і збагаченого вугілля, який склав 19,4 і 30,0 мкг/г, відповідно.

[0122] Сухий ситовий аналіз, виконаний на зразках сирого і збагаченого вугілля, зібраних у ході кожного випробування, представлені в таблиці прикладу 2. Результати для сирого вугілля показують, що 84,3 мас. % походять крізь сито 200 меш і 69,2 мас. % проходять крізь сито 325 меш, при цьому 87,1 мас. % проходять крізь сито 200 меш і 73,1 мас. % проходять крізь сито 325 меш для зразка збагаченого вугілля.

Приклад 2

Сире вугілля являє собою вугілля БРП. Збагачене вугілля являє собою сире вугілля БРП плюс 0,008 мас. % галоїдного сорбенту та 0,25 % порошкового сорбенту. Порошковий сорбент

являє собою 15 % ЦПП і 85 % відходів здрібнювання. Галоїдний сорбент являє собою сорбент з прикладу 1. Викиди NOx і Hg вимірювали для сирого й збагаченого вугілля.

Результати NOx

	O ₂ , %	NOx, частин на млн.	NOx, частин на млн., скоректовано до 2,5 % O ₂	NOx, фунтів/млн. БТО	Зменшення NOx, %
Сире вугілля	2,71	151	152	0,197	немає даних*
Збагачене вугілля	2,75	116	117	0,154	21,83

5

Результати Hg

	O ₂ , %	CO ₂ , %	Hg _(T) , мкг/дНм ³ , скоректовано до 2,5 % O ₂	Hg, фунтів/Тера БТО	Зменшення Hg, %
Сире вугілля	2,71	15,97	2,052	1,392	немає даних
Збагачене вугілля	2,75	16,08	0,826	0,576	58,62

* не підлягає застосуванню

10 Концентрація ртуті становила 0,058 мкг/г у золі сирого вугілля та 0,833 мкг/г у золі збагаченого вугілля.

Приклад 3. Суббітомінозне вугілля центральної частини Америки

15 Сире вугілля являє собою вугілля БРП. Збагачене вугілля являє собою сире вугілля БРП плюс 0,005 мас. % галоїдного сорбенту й 0,25 % порошкового сорбенту. Порошковий сорбент являє собою 15 % ЦПП і 85 % відходів здрібнювання. Галоїдний сорбент являє собою сорбент із прикладу 1. Викиди NOx і Hg вимірювали для сирого й збагаченого вугілля.

20 Ранкові години використовував для встановлення базових викидів від спалювання сирого вугілля, що спалюється із середньою витратою приблизно 27,3 кг/год. (60,28 фунтів/ч) для досягнення ТГВП приблизно 11700С (приблизно 21390F). Надлишок кисню регулювали до 3,05 % (приблизно 16,98 % надлишкового повітря) на виході з печі, з гострим дуттям, використовуваним при кількості 15,13 %, моделюючи контрольні зразки NOx, застосовувані на генеруючій станції.

25 Збагачене вугілля спалювали з витратою приблизно 26,68 кг/год. (58,91 фунта/ч), досягаючи ТГВП приблизно 11700С (21390F) при надлишку кисню 3,1 % (приблизно 17,33 % надлишкового повітря) на виході з печі, з гострим дуттям, підтримуваним на рівні 15,18 %. Одержане зниження викидів наведено в нижченаведеній таблиці.

Результати NOx

	O ₂ , %	NOx, частин на млн.	NOx, частин на млн., скоректовано до 2,5 % O ₂	NOx, фунтів/млн. БТО	Зменшення NOx, %
Сире вугілля	3,86	243	256	0,327	немає даних*
Збагачене вугілля	3,84	191	200	0,252	22,94

30

Результати Hg

	O ₂ , %	CO ₂ , %	Hg _(T) , мкг/дНм ³ , скоректовано до 2,5 % O ₂	Hg, фунтів/Тера БТО	Зменшення Hg, %
Сире вугілля	3,86	17,07	2,877	2,018	немає даних
Збагачене вугілля	3,84	18,22	1,618	1,119	44,55

* не підлягає застосуванню

Реферат

35 Порошкові компоненти, що містять кальцій, оксид алюмінію, діоксид кремнію, залізо, магній, і галогеновий сорбент використовують у комбінації при спалюванні вугілля для досягнення екологічних переваг. Сорбенти додають у вугілля перед спалюванням і/або додають у полум'я або нижче по потоку від полум'я. Вміст луку і хлору в порошок мінімізують, щоб зм'якшити

утворення небажаних відкладань, особливо коли його застосовують із суббітомінозним та бурим вугіллям.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 5 1. Спосіб зниження викидів NO_x і щонайменше однієї речовини з SO_x і ртуті при спалюванні вугілля у печі, де спосіб включає спалювання збагаченого вугілля в печі, причому збагачене вугілля містить суміш суббітомінозного вугілля або бурого вугілля, сполуки брому і порошкового сорбенту, і при цьому порошковий сорбент містить цементний пічний пил (ЦПП) і додатково
- 10 містить менше 1 мас. % Na_2O і менше 1 мас. % K_2O , виходячи з маси порошкового сорбенту.
2. Спосіб за п. 1, у якому порошковий сорбент містить менше 0,5 мас. % Na_2O і менше 0,5 мас. % K_2O .
3. Спосіб за п. 1 у якому вугілля являє собою вугілля з басейну ріки Паудер (БРП).
4. Спосіб за п. 1, у якому збагачене вугілля містить від 0,001 до 1,0 мас. % сполуки брому та від
- 15 0,1 до 10 % порошкового сорбенту.
5. Спосіб за п. 4, у якому збагачене вугілля містить від 0,002 до 1,0 мас. % сполуки брому та від 0,1 до 2,0 мас. % порошкового сорбенту.
6. Спосіб за п. 1, у якому порошковий сорбент містить ЦПП і один або більше матеріалів, вибраних з відходів здрібнювання, випаленого матеріалу, перехідного цементу, вивіреного
- 20 клінкеру, накопиченого ЦПП і вапняку.
7. Спосіб за п. 1, у якому порошковий сорбент містить ЦПП і відходи здрібнювання.
8. Спосіб за п. 1, у якому порошковий сорбент містить ЦПП і алюмосилікатну глину.
9. Спосіб за п. 1, у якому порошковий сорбент містить ЦПП і каолін.
10. Спосіб за п. 1, у якому порошковий сорбент містить менше 0,5 мас. % хлору.
- 25 11. Спосіб вироблення енергії шляхом спалювання суббітомінозного вугілля, що містить ртуть, у печі пристрою для спалювання вугілля, що включає:
- нанесення композиції першого сорбенту на вугілля,
- подачу вугілля з нанесеним першим сорбентом у піч,
- додавання другого сорбенту в піч у міру подачі вугілля, і
- 30 спалювання вугілля в присутності першого та другого сорбентів у печі з одержанням теплової енергії та золи,
- де перший сорбент містить сполуку брому, другий сорбент містить більше 40 % CaO , більше 10 % SiO_2 , від 2 до 10 % Al_2O_3 , від 1 до 5 % Fe_2O_3 , від 1 до 5 % MgO , менше 1 % Na_2O , менше 1 % K_2O і менше 0,5 % хлору, де відсотковий вміст являє собою масовий відсотковий вміст,
- 35 розрахований, виходячи з загальної маси другого сорбенту.
12. Спосіб за п. 11, у якому другий сорбент містить менше 0,5 % Na_2O , менше 0,5 % K_2O де відсотковий вміст являє собою масовий відсотковий вміст, розрахований, виходячи з загальної маси другого сорбенту.
13. Спосіб за п. 11, у якому перший сорбент являє собою водний розчин броміду кальцію.
- 40 14. Спосіб за п. 11, що включає додавання броміду кальцію у кількості від 0,001 до 0,5 %, виходячи з кількості вугілля, що спалюється.
15. Спосіб за п. 11, у якому вугілля являє собою вугілля басейну ріки Паудер (БРП).
16. Спосіб за п. 11, у якому другий сорбент містить ЦПП і відходи здрібнювання.
17. Спосіб за п. 11, у якому другий сорбент містить ЦПП і один або більше матеріалів, вибраних
- 45 з відходів здрібнювання, випаленого матеріалу, перехідного цементу, вивіреного клінкеру, накопиченого ЦПП і вапняку.
18. Спосіб за п. 11, що включає додавання другого сорбенту у кількості від 0,1 до 10 мас. %, виходячи з маси споживаного вугілля.
19. Спосіб одержання збагаченого вугілля, що містить суббітомінозне вугілля або буре вугілля і
- 50 додатково містить компоненти сорбентів, який включає змішування вугілля, від 0,001 до 1 мас. % рідкого сорбенту та від 0,1 до 10 мас. % порошкового сорбенту, де відсотковий вміст являє собою масовий відсотковий вміст, розрахований, виходячи із загальної маси збагаченого вугілля, при цьому рідкий сорбент містить сполуку брому, а порошковий сорбент містить кальцій, діоксид кремнію, оксид алюмінію і додатково містить менше 1 мас. % Na_2O і менше 1
- 55 мас. % K_2O , і при цьому порошковий сорбент додатково містить менше 0,1 мас. % хлору.
20. Спосіб за п. 19, який виконують у періодичному режимі.
21. Спосіб за п. 19, який виконують у безперервному режимі.
22. Спосіб за п. 19, у якому рідкий сорбент являє собою водний розчин броміду кальцію.
23. Спосіб за п. 19, у якому порошковий сорбент містить менше 0,5 мас. % Na_2O і менше 0,5
- 60 мас. % K_2O .

24. Спосіб за п. 19, у якому порошковий сорбент містить ЦПП і один або більше матеріалів, вибраних з відходів здрібнювання, випаленого матеріалу, перехідного цементу, вивіреного клінкеру, накопиченого ЦПП і вапняку.
25. Спосіб за п. 19, у якому порошковий сорбент містить ЦПП, вапняк і алюмосилікатну глину.
- 5 26. Спосіб за п. 19, у якому порошковий сорбент містить каолін.
27. Спосіб за п. 19, у якому порошковий сорбент містить метакролін.
28. Спосіб за п. 19, у якому вугілля є вугіллям БРП.

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601