

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **046128**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2024.02.08**

(21) Номер заявки  
**202290015**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.06.04**

(51) Int. Cl. **B01D 53/50** (2006.01)  
**B01D 53/62** (2006.01)  
**B01D 53/80** (2006.01)  
**B01D 53/82** (2006.01)  
**C04B 18/16** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ОЧИСТКИ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ОТ CO<sub>2</sub> И/ИЛИ SO<sub>x</sub>**

---

(31) **19179579.8**

(32) **2019.06.12**

(33) **EP**

(43) **2022.04.19**

(86) **PCT/EP2020/065402**

(87) **WO 2020/249444 2020.12.17**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ХАЙДЕЛЬБЕРГЦЕМЕНТ АГ (DE)**

(72) Изобретатель:  
**Скочек Ян, Заяц Мацией, Бен Хаха  
Мозен, Федерен Стефан (DE)**

(74) Представитель:  
**Беляева Е.Н. (BY)**

(56) **WO-A2-2007106372**

Christian J. Engelsen et al. "Carbon dioxide uptake in demolished and crushed concrete", 1 December 2005 (2005-12-01), pages 1-40, XP055520419, OSLO ISBN: 978-82-536-0900-3, Retrieved from the Internet: URL: [http://www.nordicinnovation.org/Global/\\_Publications/Reports/2005/03\\_018\\_carbon\\_dioxide\\_uptake\\_in\\_demolished\\_and\\_crushed\\_concrete.pdf](http://www.nordicinnovation.org/Global/_Publications/Reports/2005/03_018_carbon_dioxide_uptake_in_demolished_and_crushed_concrete.pdf), [retrieved on 2018-10-31], pages 7-10, pages 12-14, pages 21-23  
**EP-A1-2347815**

---

(57) Способ очистки отходящего газа, включающий предоставление переработанных мелких частиц бетона в качестве отходов производства с высоким содержанием карбонизируемых фаз Ca и/или Mg, и где  $d_{90} \leq 1000$  мкм, и тангенс угла наклона n по Розину-Раммлеру составляет от 0,6 до 1,4, нагнетание отходов производства в поток отходящих газов, содержащий CO<sub>2</sub> и/или SO<sub>x</sub>, для реакции с CO<sub>2</sub> и SO<sub>x</sub>, при относительной влажности от 50 до 100 об.% и температуре от 40 до 130°C, при количестве сухих отходов производства в диапазоне от 5 до 30 кг/м<sup>3</sup>, извлечение частично карбонизированных и/или сульфированных отходов производства и очищенного отходящего газа, и рециркуляцию части частично карбонизированных и сульфированных отходов производства при одновременном удалении оставшейся части, а также использование густой суспензии из отходов производства для очистки отходящих газов от CO<sub>2</sub> и/или SO<sub>x</sub>.

---

**B1**

**046128**

**046128**

**B1**

Изобретение относится к способу очистки отходящего газа за счет нагнетания сухих или влажных отходов производства в поток отходящего газа, а также к применению потока отходов производства для очистки отходящего газа от  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{SO}_x$ , с  $x$  от 0 до 3.

Цемент, с одной стороны, является важным строительным материалом, тогда как, с другой стороны, цементная промышленность страдает от высокого уровня выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с производством цементного клинкера. Производство портландцемента, который является важнейшим компонентом бетона, связано с выбросами значительных объемов диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), который является парниковым газом. По разным оценкам, при производстве одной тонны портландцементного клинкера образуется приблизительно одна тонна  $\text{CO}_2$ . Приблизительно половина выбросов  $\text{CO}_2$  при производстве цемента обусловлена кальцинированием известняка, то есть процессом, при котором осуществляют обжиг известняка, и газ  $\text{CO}_2$  выбрасывается в атмосферу.

Кроме того, процесс производства цемента также характеризуется выбросами оксидов серы ( $\text{SO}_x$ ). Присутствие соединений на основе серы в сырье оказывает большое влияние на цементную промышленность из-за используемого в процессе большого количества известняка, в особенности, если залежи содержат большое количество пирита ( $\text{FeS}_2$ ).  $\text{SO}_x$  также образуется при сжигании серы из используемого в печи топлива или из отходов, которые, как правило, сжигаются на цементных заводах и которые могут содержать органические соединения серы. Существуют, однако, ограничения в отношении выбросов  $\text{SO}_x$ . Такие вещества опасны для здоровья человека при вдыхании, а при их взаимодействии с атмосферой происходит образование серной кислоты, вызывающей кислотные дожди.

Поскольку базовые химические соединения заменить невозможно, в отрасли предпринимаются попытки найти другие способы снижения выбросов  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_x$ . Самым простым решением для снижения такого воздействия  $\text{CO}_2$  на окружающую среду является производство композитных цементов. К сожалению, увеличение доли композитных цементов в портфеле продуктов ограничено наличием высококачественных дополнительных вяжущих материалов (ДВМ), то есть реактивных материалов, которые обеспечивают существенное повышение прочности.

Также, для снижения выбросов  $\text{CO}_2$  на цементных заводах или угольных электростанциях были разработаны технологии улавливания и хранения углерода (УХУ). Тем не менее, эти технологии недостаточно развиты, чтобы они могли применяться в полном объеме. Кроме того, эти технологии являются затратными.

Естественная карбонизация материалов на основе цемента потенциально может являться способом уменьшения углеродного следа, связанного с процессом производства и применения цемента. Карбонизация происходит в течение срока эксплуатации и после сноса бетонных конструкций, когда куски измельченного бетона подвергаются воздействию атмосферы в течение периода складирования. Теоретически, из-за нестабильности гидратных соединений в присутствии  $\text{CO}_2$  (даже в случае очень низкой концентрации  $\text{CO}_2$  0,04%, которая преобладает в атмосфере), бетон способен со временем поглощать почти то же количество  $\text{CO}_2$ , что высвободилось первоначально при обжиге кальцита в цементной печи.

Реабсорбция  $\text{CO}_2$  путем карбонизации особенно актуальна для переработанных бетонных заполнителей (ПБЗ), которые получены в местах сноса бетонных зданий и объектов инфраструктуры. В ходе переработки бетона осуществляют его измельчение, при этом частицы меньшего размера ускоряют карбонизацию. После отделения больших частиц переработанного заполнителя оставшиеся мелкие частицы характеризуются довольно высоким содержанием реактивного цемента (таким образом, может поглощаться большее количество  $\text{CO}_2$ ). Аналогичный подход может использоваться в отношении других отходов, богатых Са или Mg (например, летучей золы, шлака и т.д.). В недавних исследованиях уже предлагалось использовать естественную карбонизацию для улавливания  $\text{CO}_2$  в этих материалах, в частности, в переработанных мелких частицах бетона (ПМЧБ), см., например, Engelsen et al., "Carbon Dioxide Uptake in Demolished and Crushed Concrete", BYGGFORSK Norwegian Building Research Institute, Project report 395, Oslo 2005 и B. Lagerblad "Carbon Dioxide Uptake During Concrete Life Cycle: State of the Art", Tech. Rep. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 2005. Тем не менее, карбонизация бетона, который складывается в кучах, с использованием воздуха - очень длительный процесс, занимающий сотни лет.

WO 2007/106372 A2 раскрывает очистку отходящего газа в сочетании с первым компонентом, содержащим источник СаО и ионы щелочных металлов, и со вторым компонентом, содержащим реактивные силикаты. Пыль из цементной печи, печи для обжига извести и другие отходы производства с высоким содержанием СаО, являются предпочтительными в качестве первого компонента, а для второго компонента предпочтительным является шлак. Процесс получения конкретного сочетания характеризуется большой трудоемкостью.

Следовательно, сокращение выбросов  $\text{CO}_2$ , связанных с производством цемента, на сегодняшний день представляется актуальной задачей и выступает в качестве движущей силы инноваций. В то же время, безотходная экономика предусматривает повторное использование потоков отходов производства. Сюда входит переработка и повторное использование ранее использованного бетона. Существует несколько примеров применения ПБЗ и ПМЧБ для производства бетона. Применимость ПМЧБ в производстве цемента и бетона представляется сложной задачей из-за неподходящих характеристик ПМЧБ, таких как высокая потребность в воде и низкая до латентной гидравлическая реактивность или реактив-

ность зольной пыли. Аналогичным образом, сложной задачей представляется и применение уловленной золы с высоким содержанием кальция.

Неопубликованная ранее Европейская заявка на изобретение № 17207076.5, поданная 13 декабря 2017г., EP 3 498 681 A1, предлагает карбонизированные ПМЧБ в качестве дополнительного вяжущего материала. Считается, что карбонизация достигается за счет воздействия на ПМЧБ отходящих газов. В документе не рассматривается эффект воздействия такой карбонизации на отходящий газ.

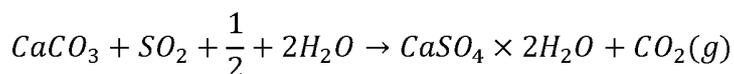
Неопубликованная ранее Европейская заявка на изобретение № 18176964.7, поданная 11 июня 2018г., EP 3 581 257 A1, предлагает использование отходов производства, в частности ПМЧБ, в качестве запаса или в специальном устройстве для очистки отходящего газа от  $CO_2$  и/или  $SO_x$ , при значении  $x$  в диапазоне от 0 до 3. Недостаток данного подхода заключается в том, что он не может быть свободно интегрирован в имеющиеся устройства очистки, и нужна реконструкция.

Кроме того, ранее предлагались методы снижения выбросов  $SO_x$  в цементной промышленности. Эти методы делятся на три основные категории: удаление, которое неотъемлемо от процесса, технология с изменениями процесса и технологии отмывки  $SO_x$ . Технологии с изменениями процесса уменьшают количество вырабатываемых  $SO_x$ , в то время как при технологии очистки  $SO_x$  происходит улавливание  $SO_x$  после их выработки. С использованием некоторых систем печей потенциально можно уменьшить количество вырабатываемых  $SO_x$  посредством внесения изменений в процесс, например, путем замены оборудования, изменения рабочих процедур и/или замены используемого сырья или топлива. Тем не менее, замена оборудования и изменения в процессе являются затратными. Замена одного сырья другим сырьем может быть экономически нецелесообразной, а увеличение количества вводимой щелочи, например,  $NaHCO_3$  для снижения содержания серы может оказаться невозможным из-за ухудшения качества продукта по общей концентрации щелочи в цементе.

Технологии очистки, при которых происходит улавливание  $SO_x$ , выработанных в системе печи, можно разделить на четыре класса: впрыск сухого реагента, впрыск горячей муки, абсорбция известью/известняком с использованием распылительной сушилки и мокрая очистка. Общая эффективность улавливания серы зависит от типа впрыскиваемого абсорбента, температуры зоны впрыска, тонкости измельчения абсорбента и времени обработки. Примером системы с сухими реагентами является добавление гидроксида кальция ( $Ca(OH)_2$ ) к исходному потоку, подаваемому в печь, или его впрыск в вертикальную трубу между двумя верхними циклонами устройства для предварительного нагрева. В системе впрыска горячей муки в качестве источника извести ( $CaO$ ) для поглощения  $SO_x$  используют кальцинированный материал из системы печи. В распылительной сушилке с известью/известняком осуществляют впрыск извести или суспензии извести в колонку-кондиционер устройства для предварительного нагрева.

Имеющиеся технологии в области очистки газа от оксидных газовых компонентов, таких как  $SO_2$ , предусматривают обеспечение их контакта с известью при изготовлении цемента мокрым способом. При мокром способе с участием  $CaCO_3$  в атмосферу вместе  $SO_2$  выбрасывается  $CO_2$ . На выходе получается  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ . Этот способ в целом применяют во многих отраслях промышленности, в том числе и в производстве цемента. Суть способа заключается в обеспечении тесного контакта влажной суспензии с  $SO_2$  и поглощение  $SO_2$  в водной суспензии.

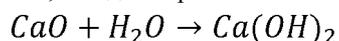
Поскольку в густой суспензии присутствует  $CaCO_3$ , рассредоточенная оксидная среда, которая формируется за счет  $SO_2$ , растворит  $CO_2$  и за счет этого в конце концов приведет к образованию  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ :



Очистка  $SO_x$  также может производиться с использованием  $CaCO_3$  или  $Ca(OH)_2$  в полумокром или полусухом абсорбционном процессе. В результате этого процесса, использующего декарбонизированные абсорбенты на основе  $Ca$ , в основном получается  $CaSC_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ . Суть процесса состоит в том, что  $SO_2$  абсорбируется в распыленной суспензии и участвует в реакции до тех пор, пока продукт не станет сухим. Однако при этом продукт реакции в основном представлен не сульфатом, а сульфитом. В качестве абсорбента в рамках этого процесса необходимо использовать  $Ca(OH)_2$  диспергированный в густой суспензии с содержанием твердых веществ до 15%. Сам по себе  $Ca(OH)_2$  обычно изготавливали при помощи термической декарбонизации  $CaCO_3$ :

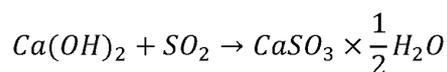


Чтобы обеспечить реактивность  $CaO$ , в ходе второго этапа необходимо провести его гидратацию:



В итоге оба процесса прямо или косвенно при абсорбции  $SO_2$  приводят к выбросам  $CO_2$ . В полумокром или полусухом процессе в качестве нежелательного побочного эффекта часть  $Ca(OH)_2$  снова повторно объединяется с  $CaCO_3$  и тем самым устраняет причину, благодаря которой происходит поглощение  $SO_2$ . Следовательно для полусухого или полумокрого процесса поглощения  $SO_x$  обычно необходима

стехиометрия с получением S из Ca, при которой на моль поглощенной S уходит >1,3 моль Ca. В чистом виде это выглядит так:



Однако по умолчанию использование абсорбента на основе Ca, который приготовлен из известняка, препятствует осуществлению цели поглощения CO<sub>2</sub> одновременно с SO<sub>2</sub>. Даже полумокрый и полусухой процессы не обеспечивают абсорбцию CO<sub>2</sub>, поскольку он был десорбирован на предыдущих этапах.

Следовательно, в настоящий момент не существует процессов, которые обеспечивают одновременную абсорбцию SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> без выделения дополнительного CO<sub>2</sub>. Сохраняется необходимость в разработке экономически эффективного способа сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и/или выбросов SO<sub>x</sub> при производстве цемента. Кроме того, существует постоянная потребность в экономии затрат, потребность в простом и эффективном способе очистки отходящего газа, в частности, очистки от диоксида углерода и оксидов серы.

Неожиданно на данном этапе было обнаружено, что отходы производства с высоким содержанием карбонизируемых фаз кальция и/или магния и с большой удельной площадью поверхности, а именно переработанные мелкие частицы бетона (ПМЧБ), которые способны поглощать значительные количества CO<sub>2</sub> и SO<sub>x</sub> из отходящего газа, могут использоваться для очистки отходящего газа вместо известных веществ, таких как известняк и гидроксид кальция. Они, в частности, применимы для очистки отходящего газа цементных заводов и угольных электростанций, а также любых других промышленных процессов, которые предусматривают содержание значительного количества SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в потоке отработавшего газа.

В то же время карбонизация таких промышленных отходов, как ПМЧБ, позволяет повысить ценность ПМЧБ благодаря повышению качества получаемого карбонизированного материала. Он может использоваться как высококачественный ДВМ, который обеспечивает высокие значения коэффициента замещения клинкера и продлевает период производства композитного цемента.

Таким образом, настоящее изобретение решает вышеуказанные задачи с использованием способа очистки отходящего газа от CO<sub>2</sub> и SO<sub>x</sub>, с  $x$  от 0 до 3, включающего

а) предоставление переработанных мелких частиц бетона с  $d_{90} \leq 1000$  мкм и тангенсом угла наклона  $n$  по Розину-Раммлеру от 0,6 до 1,4.

б) нагнетание переработанных мелких частиц бетона в поток отходящего газа для реакции с CO<sub>2</sub> и SO<sub>x</sub>, с предоставлением в потоке отходящего газа количества сухих отходов производства в диапазоне от 5 до 30 кг/м<sup>3</sup>, при температуре в диапазоне от 30 до 130°C и относительной влажности от 50 до 100%, за счет чего происходит, по меньшей мере, частичная карбонизация и сульфатация переработанных мелких частиц бетона,

с) извлечение карбонизированных и/или сульфированных переработанных мелких частиц бетона и очищенного отходящего газа, и

д) рециркуляцию части частично карбонизированных и сульфированных переработанных мелких частиц бетона на этап а) путем его объединения с вновь предоставленными переработанными мелкими частицами бетоном при одновременном удалении оставшейся части. Кроме того, цель достигается за счет использования переработанных мелких частиц бетона для очистки отходящего газа, включающего предоставление переработанных мелких частиц бетона с  $d_{90} \leq 1000$  мкм и тангенсом угла наклона  $n$  по Розину-Раммлеру от 0,6 до 1,4, нагнетание переработанных мелких частиц бетона в поток отходящего газа для реакции с CO<sub>2</sub> и SO<sub>x</sub>, с предоставлением в потоке отходящего газа количества сухих отходов производства в диапазоне от 5 до 30 кг/м<sup>3</sup>, регулирование относительной влажности от 50 до 100% и температуры от 40 до 130°C, за счет чего происходит, по меньшей мере, частичная карбонизация и сульфатация переработанных мелких частиц бетона, извлечение частично карбонизированных и/или сульфированных переработанных мелких частиц бетона и очищенного отходящего газа, а также рециркуляцию части частично карбонизированных и/или сульфированных переработанных мелких частиц бетона на этап нагнетания при одновременном удалении оставшейся части.

Таким образом, неожиданно было обнаружено, что карбонизация и сульфатация переработанных мелких частиц бетона, а также указанных отходов производства обеспечивает улучшенный способ очистки отходящего газа, содержащего CO<sub>2</sub> и/или SO<sub>x</sub>. В частности, технологические затраты могут быть снижены благодаря простоте способа и напрямую использованию имеющихся устройств для очистки, что позволяет обеспечить уменьшение инвестиционных затрат. Кроме того, настоящее изобретение позволяет повысить ценность отходов и получить продукт с высокой добавленной стоимостью, а также получить новые ресурсы для производства композитного цемента путем повышения ценности ПМЧБ.

Эти и другие свойства, аспекты и преимущества настоящего изобретения можно будет лучше понять при изучении представленного ниже подробного описания, чертежей и приложенной формулы изобретения.

В контексте настоящего изобретения под карбонизацией понимается химический процесс, при котором CO<sub>2</sub> вступает в реакцию с соединениями кальция, особенно с продуктами гидратации цемента из

CaO, которые в основном представлены гидроксидом кальция СН (напоминаем, что согласно химической нотации, С=CaO, Н=H<sub>2</sub>O, S=SiO<sub>2</sub>, C=CO<sub>2</sub>, A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, F=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, M=MgO, и S=SO<sub>3</sub>) и гидросиликатами кальция С-S-Н. Сюда входит и аналогичная реакция с соединениями магния. Под термином "карбонизируемый" подразумевается, что карбонизация происходит в условиях окружающей среды.

Понятие химии карбонизации подробно описано в других источниках, например, в документе Engelsen et al., который упоминался ранее. В ходе карбонизации углекислый газ или карбонат-ионы должны пройти через карбонизированную поверхность в материал и добраться до свежего бетона. Скорость переноса главным образом зависит от градиентов концентрации, среды переноса (пористости) и толщины слоя уже карбонизированного бетона. Карбонизация бетона происходит крайне медленно, поскольку она в основном зависит от диффузии CO<sub>2</sub> через пористую сетку бетона. Это объясняет тот факт, что полной карбонизации можно достичь только в долгосрочной перспективе. Общее количество поглощаемого CO<sub>2</sub> увеличивается после стадии разрушения. В связи с этим реабсорбция CO<sub>2</sub> путем карбонизации может быть особенно актуальна для переработанного бетона. В ходе переработки бетона осуществляются его измельчение, при этом частицы меньшего размера ускоряют карбонизацию. После отделения больших частиц переработанного заполнителя оставшиеся мелкие частицы характеризуются довольно высоким содержанием реактивного цемента (таким образом, может поглощаться большее количество CO<sub>2</sub>). Скорость карбонизации после разрушения будет выше по сравнению с периодом полезного использования бетона из-за увеличения площади поверхности более мелких частиц при расчете по массе. Таким образом, скорость будет возрастать по мере уменьшения фракции гранулометрического состава. Чем меньше размер частиц, тем выше скорость карбонизации даже при низком водоцементном соотношении. Аналогичные правила действуют и в отношении сульфатации.

В соответствии с изобретением для очистки отходящего газа используют переработанные мелкие частицы бетона, которые представляют собой отходы производства с высоким содержанием карбонизируемых фаз Са и/или Mg. Термин "с высоким содержанием карбонизируемых фаз Са и/или Mg" означает, что, по меньшей мере, 12,5 мас.% отходов (от массы оксидов), представляют собой СаО и/или MgO, при этом до карбонизации, по меньшей мере, 80 мас.% СаО и MgO находятся в карбонизируемых фазах. Предпочтительно, СаО и/или MgO составляют, по меньшей мере, 20 мас.%, более предпочтительно, по меньшей мере, 30 мас.%, наиболее предпочтительно, по меньшей мере, 50 мас.% отходов. Предпочтительно в карбонизируемых фазах находятся, по меньшей мере, 85 мас.%, более предпочтительно, по меньшей мере, 90 мас.% СаО и MgO. Таким образом, несмотря на то, что часть карбонизируемых СаО и MgO в отходах может быть уже карбонизирована до карбонизации, по меньшей мере, 10 мас.% отходов (исходя из массы оксидов), являются карбонизируемыми, но еще не карбонизированными СаО и/или MgO.

Однако при этом газообразный CO<sub>2</sub> не может напрямую реагировать с соединениями кальция и магния, такими как гидросиликаты кальция, гидросиликаты магния и кальциево-магниевые гидросиликаты цемента. Таким образом, газ CO<sub>2</sub> сначала должен раствориться в воде и образовать карбонат-ионы, которые, в свою очередь, будут вступать в реакцию с ионами кальция и/или магния внутриводной воды. Благодаря механизму парной диффузии одним из основных факторов является влажность. В бетоне с заполненными водой соединительными порами механизм транспортировки представлен диффузией ионов, которая приводит к медленной карбонизации. В сухом бетоне диффузия газа CO<sub>2</sub> происходит быстро, но при этом недостаток воды также замедляет карбонизацию. Таким образом, при необходимости, относительную влажность отходящего газа регулируют в диапазоне от 50 до 100% в соответствии с изобретением за счет нагнетания густой суспензии из отходов производства или воды в дополнение к сухим или полусухим отходам. Аналогичные действия с соответствующими изменениями производятся и с SO<sub>x</sub>, который также должен раствориться в воде для начала реакции.

При необходимости, отходы производства с высоким содержанием кальция и магния могут быть переданы на этап предварительной обработки по настоящему изобретению. Например, переработанные мелкие частицы бетона могут быть подвергнуты механической обработке, в частности помолу, для достижения большей тонкости помола, за счет чего повышается скорость карбонизации/сульфатации, т.е. обеспечивается более быстрая и равномерная карбонизация/сульфатация. Гранулометрический состав, который определяется путем лазерной гранулометрии ПМЧБ, используемых в качестве отходов производства с высоким содержанием кальция и магния по настоящему изобретению, составляет  $d_{90} \leq 1000$  мкм, предпочтительно  $d_{90} \leq 500$  мкм, более предпочтительно  $d_{90} \leq 200$  мкм, наиболее предпочтительно  $d_{90} \leq 100$  мкм, а предпочтительное значение тангенса угла наклона n по Розину-Раммлеру составляет 0,6-1,4, более предпочтительно 0,7-1,2.

Предварительная обработка также может включать смешивание отходов производства с дополнительными веществами, которые ускоряют процесс карбонизации и/или улучшают окончательные свойства карбонизированных отходов производства, особенно синтетического ДВМ, когда в качестве исходного материала используют ПМЧБ. Предпочтительно в качестве дополнительных используют вещества для повышения эффективности процесса измельчения или карбонизации или смеси двух или более из них. Как правило, дополнительный материал присутствует в количестве 0,001-1 мас.% от общей массы ис-

пользуемых отходов производства. Подходящие вещества включают водные растворители, такие как алканол амины, например, первичные амины, такие как моноэтаноламин (MEA) и дигликольамин (DGA), вторичные амины, такие как диэтаноламин (DEA) и диизопропаноламин (DIPA), и третичные амины, такие как метилдиэтаноламин (MDEA) и триэтаноламин (TEA), или их смеси, галогениды, этилендинитрилтетрауксусную кислоту (EDTA) или другие вещества, которые улучшают растворение  $\text{CO}_2$  в поровом растворе. Кроме того, для повышения эффективности карбонизации и изменения свойств продуктов реакции могут использоваться ферменты, такие как карбоангидраза.

При необходимости, после предварительной обработки и/или регулирования относительной влажности (ОВ) и/или подмешивания дополнительных веществ отходы производства подвергают карбонизации и/или сульфатации для очистки отходящего газа от  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{SO}_x$  в соответствии с изобретением посредством нагнетания в отходящий газ отходов производства.

Скорость процесса карбонизации и/или сульфатации увеличивается с понижением температуры. Свободное тепло отходящих газов используют для повышения температуры конденсации воды и ускорения процесса карбонизации за счет оптимизации ОВ. Подходящей также является обычная температура, которую предпочтительно используют, если для повышения температуры потребуется дополнительный нагрев. Наиболее подходящим условием для улучшения абсорбции  $\text{CO}_2$  или  $\text{SO}_2$  является низкий уровень так называемой температуры близкой к равновесию  $<10^\circ\text{C}$  в полумокрых и полусухих системах, которая представляет собой разницу между температурой конденсации воды и рабочей температурой. Такие условия обеспечиваются, когда происходит испарение воды, например, из густой суспензии. В результате этого температура газа падает, и в то же время увеличивается температура конденсации воды. Окончательная предпочтительная температура газа составляет от  $55^\circ\text{C}$  до  $75^\circ\text{C}$  при температуре конденсации от  $60$  до  $70^\circ\text{C}$  в полумокром газоочистителе после основного фильтра. Еще одним способом повысить скорость реакции и скорость очистки отходящего газа является использование повышенного давления. Тем не менее, как правило, выгода от увеличения скорости не перевешивает расходы, необходимые для повышения давления, поэтому обычно очистка происходит при обычном давлении. Если возможно повысить давление, может использоваться избыточное давление в диапазоне 0,01-4 бар, предпочтительно 0,1-2 бар.

В одном из вариантов осуществления используют так называемый полусухой газоочиститель, отличающийся тем, что отходы производства нагнетаются в него в сухом виде. При недостаточном количестве водяного пара, т.е. когда в отходящем газе недостаточно пара, относительную влажность регулируют в диапазоне от 50 до 95%, предпочтительно от 50 до 90% или от 50 до 85%. Для этого вместе с загрузкой сухих отходов производства в них добавляют воду или часть отходов производства в форме густой суспензии. Воду, как правило, нагнетают вначале, тогда как в ходе непрерывной работы переработанная часть отходов производства содержит достаточное количество воды, и необходимое содержание воды обеспечивается за счет нагнетания этой густой суспензии. Общее количество сухих отходов производства в газоочистителе составляет от 5 до 30  $\text{кг}/\text{м}^3$ , предпочтительно от 10 до 20  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Это количество подают вместе с подачей свежей загрузки новых отходов производства вместе с рециркулированными переработанными отходами. Воду или часть отходов производства нагнетают в виде густой суспензии, чтобы обеспечить необходимую ОВ на уровне от 50 до 90%, а при необходимости и охлаждение (кондиционирование газа). Добавляемая вода или густая суспензия содержит дополнительные подмешанные вещества, если они предусмотрены. Стандартное количество отходов производства в густой суспензии составляет от 4 до 28 мас.% растворенных твердых ПМЧБ, предпочтительно от 10 до 18 мас.%. Доля сухих ПМЧБ в густой суспензии и количество ПМЧБ в виде густой суспензии, которые нагнетают в газовый поток, зависят от газового режима и режима, который необходимо обеспечить. Как правило, большая часть отходов производства будет нагнетаться в сухом твердом виде. Температуру регулируют в диапазоне  $40-130^\circ\text{C}$ , более предпочтительно  $55-80^\circ\text{C}$ , наиболее предпочтительно  $55-75^\circ\text{C}$ .

В еще одном варианте осуществления изобретения мокрый процесс применяют в так называемом мокром газоочистителе при относительной влажности 100%. В густой суспензии из отходов производства содержание твердых отходов составляет от 4 до 28 мас.%, предпочтительно от 10 до 18 мас.%. Густую суспензию нагнетают в газовый поток, отличающийся тем, что для усиления эффекта абсорбции соотношение жидкости и газа в нем должно быть в диапазоне от 20 до 50 л густой суспензии на кубический метр газа. Общее количество сухих отходов производства в сочетании со свежим и рециркулированным ранее переработанным материалом в густой суспензии составляет от 2 до 15  $\text{кг}/\text{м}^3$  газа. Избыточный раствор собирается в поддоне газоочистителя и закачивается повторно в газовый поток при помощи одного или нескольких насосов и форсунок. Плотность рециркулируемого абсорбционного раствора предпочтительно находится в диапазоне от 15 до 25 мас.% твердых веществ. Поскольку этот процесс является непрерывным, часть густой суспензии экстрагируют и осушают, а затем замещают свежей густой суспензией. В извлеченной массе часть отходов производства будет не затронута реакцией. Обычно большую часть густой суспензии рециркулируют в газоочиститель для сведения к минимуму количества такой не затронутой реакцией массы. Например, на установке стандартного размера за час извлекают 1-2 кубических метра густой суспензии, которую замещают тем же количеством свежей густой суспензии, тогда как в процессе рециркуляции участвует несколько тысяч, от 2000 до 6000  $\text{м}^3$ . Температура газоочистите-

ля самостоятельно устанавливается в диапазоне от 50 до 75°C благодаря равновесию при температуре по мокрому термометру, и газоочиститель работает в газовом режиме водонасыщения. Эта температура может быть выше, если газоочиститель работает под давлением.

В третьем варианте используют так называемый полумокрый газоочиститель. Здесь влажность находится на уровне ниже 100%, как в полусухой системе, но при этом отходы производства нагнетают в виде заранее смешанной густой суспензии, и не в сухом виде. Регулируемая температура и ОВ здесь такие же, как и в полусухом газоочистителе.

Мокрый газоочиститель обычно расположен после фильтра системы, тогда как полусухой или полумокрый газоочиститель может быть установлен как до, так и после этого фильтра. Если до фильтра системы установлена колонка-кондиционер газа, то также есть возможность заменить используемый здесь известняк или гидроксид кальция на отходы производства. В результате этого можно увеличить абсорбцию  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{SO}_x$  без связанных с нею выбросов углекислого газа. Обычно температура отходящих газов при поступлении в мокрый, полумокрый или полусухой газоочиститель в точке после основного фильтра находится в диапазоне от 80 до 250°C. Стандартная температура газа на входе в колонку-кондиционер газа, в том числе если ее используют в полусухом или полумокром газоочистителе в точке до основного фильтра или мельницы, находится в диапазоне от 250°C до 450°C. Внутри газоочистителя температуры регулируются и устанавливаются самостоятельно в соответствии с приведенными разъяснениями.

Как правило, в полумокрой или полусухой системе реактора газоочистителя в контуре рециркуляции используют устройство сбора твердых частиц. В нем частично карбонизированные и/или сульфированные отходы производства осушают, предпочтительно до твердой массы влажностью менее 1%. Полученный сухой рециркулированный материал собирают, предпочтительно на тканевом фильтре, и в сухом виде нагнетают обратно в поток отходящих газов. Таким образом, появляется возможность дать отходам производства вступить в реакцию с  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$  до практически полного химического расхода с образованием карбонизированной и/или сульфированной твердой массы. Поскольку этот процесс является непрерывным, поверхность и поры отходов производства и переработанного материала не будут полностью насыщены, и часть материала всегда будет оставаться незатронутой реакцией. Плотность отходов производства (и переработанного материала) в реакторе измеряется как массовая концентрация и обычно находится в диапазоне от 5 до 30  $\text{кг/м}^3$  (при стандартных температуре и давлении) газа. В ходе мокрого процесса частично карбонизированные и/или сульфированные отходы производства на выходе из реактора газоочистителя обычно рециркулируют в систему без осушки. Для извлечения части этого материала используют устройство разделения, например, расширительный бак или клапан. Извлеченная часть может осушаться и далее перерабатываться в виде густой суспензии. Чаще всего ее отделяют от воды, например, при помощи центрифуги, для повторного использования воды в процессе.

В качестве отходящего газа, который очищают согласно данному изобретению, могут выступать любые отходящие газы установки, работающей на таком топливе, как уголь, нефть, газ и др., в частности, топливо с содержанием серы, сжигаемое для производства тепла для процесса производства материала или энергии. В частности, осуществляют очистку неочищенных отходящих газов установок по производству цемента и силовых установок (угольные электростанции и прочие установки, работающие на углеродном топливе), так как в них отмечается высокая концентрация  $\text{CO}_2$  и/или  $\text{SO}_x$ . Однако при этом также может очищаться отходящий газ из печей для обжига извести, из производства магния, а также серосодержащий отходящий газ из производства керамической продукции, например, обжига пирита или сульфита. Типичный отходящий газ из вращающейся печи для производства клинкера содержит: 14-33 об.%  $\text{CO}_2$  в зависимости от технологии клинкера, используемого топлива и сырья, см., например, "Carbon dioxide Capture and Storage: Special Report of the intergovernmental panel on climate change" ("Улавливание и хранение углерода: Специальный отчет межправительственной группы по климатическим изменениям"), P. Metz, Cambridge University Press, 2005, с. 79. Кроме того, он может содержать 0,002-0,2 об.%  $\text{SO}_x$  в неочищенном газе, в зависимости, главным образом, от используемого сырья и топлива, а также от параметров процесса. Если в качестве побочного продукта способа требуется получить карбонизированные ПМЧБ с низким содержанием серы, отходящие газы также могут очищаться от серы до очистки при помощи отходов производства по настоящему изобретению.

Затем может осуществляться улавливание обработанного отходящего газа и его обработка в соответствии с известными на настоящий момент процессами. Такая обработка включает в себя такие процессы, как, например, удаление пыли, охлаждение газа, кондиционирование газа или использование газа для других технологических целей, таких как регенерация тепла или сушка влажных материалов.

Далее изобретение описывается более подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, при этом объем изобретения не ограничивается описанными частными вариантами осуществления изобретения. Настоящее изобретение включает любые комбинации описанных, в особенности, предпочтительных признаков изобретения, которые не исключают один другой.

Если не указано иное, любое количество в процентах или в частях подразумевает массовое отношение и, при наличии сомнений, относится к общей массе соответствующей композиции/смеси. В случае употребления при каком-либо описании термины "приблизительно", "около" и другие подобные выра-

жения, относящиеся к количественным значениям, означают, что указанное количество включает значения на 10% выше и на 10% ниже, предпочтительно, на 5% выше и на 5% ниже, в любом случае, по меньшей мере, на 1% выше и на 1% ниже, наиболее предпочтительными являются точно указанные значения или предельные диапазоны.

#### Краткое описание чертежей

На фиг. 1 схематически показан вариант осуществления способа по настоящему изобретению, в котором используют густую суспензию, т.е. мокрый процесс.

На фиг. 2 схематически показан вариант осуществления полусухого или полумокрого процесса.

На фиг. 1 показан стандартный цементный завод. Он включает устройство для предварительного нагрева и кальцинатор 1, вращающуюся печь 2 и охладитель 3 клинкера для производства цементного клинкера из сырья, предусмотренного в башне 4. Охлаждающий воздух, который подают в охладитель 3, в основном передается в печь 2 и устройство предварительного нагрева/кальцинатор 1, а часть его может выводиться напрямую в выводную трубу 5 через фильтр 6. Установка включает колонку-кондиционер 7 газа для охлаждения отходящего газа за счет воды, нагнетаемой с добавлением или без добавления известняка или гидроксида кальция. Вытяжной вентилятор 8 обеспечивает необходимый поток газа. Как принято в данной области техники, кондиционированные отходящие газы из колонки-кондиционера 7 газа, как правило, используют для осушения сырья в мельнице 9, где часть кислотных газов также поглощается сырьем. Количество  $SO_2$ , которое собирается в системе сырьевой мельницы, может оставлять от 10 до 95% в зависимости от газа, влажности сырья и типа сырьевой мельницы. Мельница 9 оснащена сепаратором 10 для возврата более крупных частиц обратно в мельницу 9 и передачи сырьевой муки на башню 4. Отходящие газы из мельницы 9 и сепаратора 10 передаются на фильтр 11 при помощи вытяжных вентиляторов 12 и 13. В прямом режиме работы, когда мельница 9 отключена, отходящий газ из колонки-кондиционера 7 направляется напрямую на фильтр 11.

Реактор 14 мокрого газоочистителя также предусматривает очистку отходящего газа от  $CO_2$  и/или  $SO_x$  при помощи нагнетаемой густой суспензии из отходов производства. Густая суспензия предоставляется из сухих ПМЧБ в башне 15 и воды из резервуара 16 в смесителе 17 и хранится в накопительном резервуаре 18. Отношение концентрации ПМЧБ к воде в смеси обычно находится в диапазоне от 1:3 до 1:10, предпочтительно от 1:4 до 1:6, наиболее предпочтительно около 1:5. Насос 19 подачи густой суспензии нагнетает ее в газоочиститель 14. При необходимости, для доведения относительной влажности до 100% при помощи водяного насоса 20 может нагнетаться вода. Отходящий газ (из фильтра 11) и густая суспензия из отходов производства направляются в противотоке через газоочиститель 14, очищенный отходящий газ остается сверху и по линии 21 передается в выводную трубу 5. В мокром газоочистителе 14 газ, который может поступать при любой температуре до  $250^\circ C$ , охлаждают нагнетаемой густой суспензией из ПМЧБ и, при необходимости, водой, которую подают насосом 20 подачи пресной воды, до температуры по мокрому термометру, как правило, от  $50$  до  $75^\circ C$ , главным образом от  $55$  до  $65^\circ C$ , в функциональной зависимости от матрицы газа, выходящего из печи 2. Содержание твердых частиц в густой суспензии составляет от 10% до 28%. Доля воды, нагнетаемой насосами 19 и 20, находится в функциональной зависимости от снижения температуры, которое достигается за счет резкого охлаждения водой, и количества густой суспензии, содержащей ПМЧБ, которое требуется для достижения необходимой эффективности сбора  $SO_2$ . Густую суспензию загружают со скоростью от 20 до  $50 \text{ л/м}^3$ . Это обеспечивает интенсивный контакт  $SO_2$  и  $CO_2$  с компонентами из состава газа. Обычно эффективность поглощения  $SO_2$  составляет от 70% до 99% и зависит от количества не вступивших в реакцию ПМЧБ, которое загружается в систему. Значение pH в густой суспензии обычно регулируется на уровне от 3 до 8, предпочтительно от 4 до 6,5, а в идеале около 6. По мере того, как вода испаряется по мере резкого охлаждения газа подпиточной водой, требуется подача новой воды, которую подают в виде свежей густой суспензии насосом 19 и насосом 20. В то же время подпиточная вода приливает к каплеуловителям на выходе из мокрого газоочистителя 14, после чего перенос частиц в основной газовый поток обычно сокращается до уровня от 5 до  $20 \text{ мг/м}^3$ . Плотность суспензии, подаваемой насосом 23 и находящейся в газоочистителе 14, обычно составляет от 10 до 18% твердых веществ, но не более 28%. Общее время удержания ПМЧБ в газоочистителе 14 обычно составляет от 8 до 48 часов, но не менее 8 часов, что позволяет обеспечить полное потребление активных центров ПМЧБ на 95-99,9%, обычно на 97%. Скорость сбора  $CO_2$  обычно зависит от количества добавленных ПМЧБ. После завершения процесса очистки газа и улавливания капель газ выпускается в основную выводную трубу 5. При необходимости, выводная труба может повторно нагреваться отходящим воздухом охладителя клинкера, после чего выводимый газ не формирует водяных капель после его выброса в атмосферу. Густая суспензия с частично вступившими в реакцию отходами производства выходит из газоочистителя 14 в нижней части и делится в разделительном устройстве 22 на первую, как правило, основную, часть, рециркулируемую в реактор 14 через насос 23, и вторую, как правило, второстепенную часть, которую извлекают в устройство 24 дальнейшей переработки. Извлекаемая часть, главным образом, представляет собой сульфат и карбонат кальция. Могут быть предусмотрены и другие устройства/средства для очистки отходящего газа, такие как каталитический и некаталитический NO и  $NO_2$ . Далее предусмотрено, что отходящий газ из фильтра 11 также может выводиться напрямую на выводную трубу 5.

Обычная рабочая температура на входе в газоочиститель 14 составляет от 80 до 150°C. В результате этого рабочая температура в полностью водонасыщенной среде составляет от 50 до 70°C. При этой температуре, хотя скорость использования активного центра ПМЧБ и составляет от 10% до 30%, а эффективность сбора SO<sub>2</sub> находится в диапазоне от 20% до 90%, сбор CO<sub>2</sub> будет на уровне <5%. Посредством рециркуляции ПМЧБ, собранных разделительным устройством 22, обратно в реактор 14, использование ПМЧБ в части сбора SO<sub>2</sub> может быть повышено до уровня от 80% до 95%. Выдержанная густая суспензия в итоге должна быть обезвожена в центрифугах, на ленточных фильтрах или гидроциклонах. Обычно остаточная влажность достигается на уровне от 5 до 50%. Но при необходимости подачи сухих остаточных ПМЧБ может быть предоставлено от 5% до 25%, но в большинстве случаев можно ожидать влажность на уровне от 10% до 15% при использовании центрифуги или вакуумного ленточного фильтра. Выдержанные ПМЧБ могут быть повторно использованы для конечного помола цемента или при производстве бетона.

На фиг. 2 показан полумокрый процесс. Аналогичным частям установки присвоены те же ссылочные номера, что и на фиг. 1. Как и на фиг. 1 цементный завод включает обычные устройства, и газоочиститель 14 для очистки отходящего газа добавлен после обеспыливающего фильтра 11. Тем не менее, в отличие от фиг. 1, здесь в газоочиститель 14 постоянно дополнительно нагнетают воду. Влажность в газоочистителе 14 регулируют до уровня ниже насыщения, а очищенный отходящий газ, а также частично карбонизированные/сульфированные частицы отходов производства выводятся на газоочиститель 14 в верхней части. Разделительное устройство 22 извлекает необходимые части очищенного газа и отходов производства, а также рециркулирует их заранее определенные части в газоочиститель 14. Здесь продукт представляет собой смесь сульфита, сульфата и карбоната кальция. Вентилятор 25 установлен для передачи отходящего газа из разделительного устройства 22 на выводную трубу 5 и для содействия в извлечении газа и частиц из газоочистителя 14. В газоочистителе 14 происходит осушка густой суспензии из ПМЧБ собственным теплом, и за счет этого температура конденсации воды увеличивается, а рабочая температура одновременно снижается в идеале до 60-80°C. После достаточной очистки газа от SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> он при помощи вентилятора 25 переправляется к основной выводной трубе 5, где он объединяется с другими потоками газа или воздуха, такими как отходящий газ охладителя 3 клинкера. Однако при этом он не должен объединяться с ними, если нет необходимости повторно подогревать газовые потоки высокой влажности. В газоочистителе 14 газ охлаждается обычно со 100°C в соединении до 60-85°C посредством нагнетания воды водяным насосом 20 и густой суспензии из ПМЧБ насосом 19 для густой суспензии. При прямом режиме работы температура на входе может достигать 250°C. Чтобы обеспечить хорошее тонкое распыление воды, ее капли подаются системой форсунок, которая работает на сжатом воздухе из компрессора 26, который выступает в качестве распылительного агента. Обычно 95% формируемых капель должны по размеру быть меньше 800 мкм. Более мелкие капли не произведут негативного воздействия на реактор 14, но, в связи с использованием ПМЧБ и сбором SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> на фильтре 11, 95% капель не будут по размеру меньше 70 мкм.

Густая суспензия, которую получают из ПМЧБ в хранилище 15 и смешивают в резервуаре 17 для подготовки густой суспензии перед отправлением в накопительный резервуар 18, имеет плотность от 10% до 28% твердых веществ. Доля воды, нагнетаемой насосом 20, находится в функциональной зависимости от требований относительно снижения температуры с целью достижения разницы температуры, близкой к равновесию, между окончательной температурой в реакторе 12 и температурой конденсации воды. Близкая к равновесию температура обычно составляет от 1 до 10°C, в идеале от 3 до 7°C, но при этом всегда должна оставаться разница, позволяющая избежать конденсации воды в связанном с процессом оборудовании, а также в оборудовании для переноса пыли и твердых веществ. В системе реактора газоочистителя 14 в зависимости от количества нагнетаемой густой суспензии ПМЧБ эффективность сбора SO<sub>2</sub> может достигать 95%, например, от содержания в 1 500 мг/м<sup>3</sup> до 30 мг/м<sup>3</sup>. При помощи возврата не полностью карбонизированных/сульфированных ПМЧБ плотность твердых веществ в реакторе можно регулировать в пределах диапазона от 10 до 100 кг/м<sup>3</sup>. Потери ПМЧБ из реактора, которые необходимо восполнять свежей густой суспензией, обычно составляют от 1 до 10 кг/м<sup>3</sup>. Следовательно, количество циклов рециркуляции или возврата в реактор составляет от 10 до 1000, обычно 100. После выхода осушенных ПМЧБ из разделительного устройства 22, их при благоприятном раскладе используют в количестве до 95% и могут быть использованы как для конечного помола цемента, так и для подмешивания в бетон. Если необходимо провести работы по обслуживанию полумокрого газоочистителя, отходящие газы из печи можно провести обходным маршрутом напрямую в фильтр 11 и на выводную трубу 5. Степень использования ПМЧБ обычно составляет от 80 до 90%, но не должна превышать 95%, чтобы избежать коррозии оборудования.

#### Список условных обозначений

- 1 устройство для предварительного нагрева и кальцинатор,
- 2 вращающаяся печь,
- 3 охладитель,
- 4 башня для сырьевой муки,
- 5 выводная труба,

- 6 фильтр охладителя клинкера,
- 7 колонка-кондиционер газа,
- 8 вытяжной вентилятор,
- 9 сырьевая мельница,
- 10 сепаратор мельницы,
- 11 основной фильтр системы,
- 12 вытяжной вентилятор мельницы,
- 13 вытяжной вентилятор,
- 14 газоочиститель,
- 15 башня отходов производства,
- 16 резервуар для воды,
- 17 смеситель густой суспензии,
- 18 накопительный резервуар для густой суспензии из отходов производства,
- 19 насос для густой суспензии,
- 20 водяной насос,
- 21 линия подачи очищенного газа на выводную трубу,
- 22 разделительное устройство,
- 23 насос рециркуляции густой суспензии,
- 24 переработка карбонизированных/сульфированных отходов производства,
- 25 вытяжной вентилятор газоочистителя,
- 26 компрессор.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ очистки отходящего газа от  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_x$ , с  $x$  от 1 до 3, включающий следующие этапы:
  - a) предоставление переработанных мелких частиц бетона с  $d_{90} \leq 1000$  мкм и тангенсом угла наклона  $n$  по Розину-Раммлеру от 0,6 до 1,4 в сухом виде или в виде густой водной суспензии,
  - b) нагнетание переработанных мелких частиц бетона в отходящий газ для реакции с  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_x$ , с предоставлением в потоке отходящего газа количества сухих переработанных мелких частиц бетона в диапазоне от 5 до 30 кг/м<sup>3</sup>, и регулирование относительной влажности в диапазоне от 50 до 100% и температуры в диапазоне от 40 до 130°C,
  - c) извлечение частично карбонизированных и/или сульфированных переработанных мелких частиц бетона и очищенного отходящего газа,
  - d) рециркуляцию части частично карбонизированных и сульфированных переработанных мелких частиц бетона на стадию a) при одновременном удалении оставшейся части.
2. Способ по п.1, отличающийся тем, что переработанные мелкие частицы бетона, предоставленные на стадии a), получают переработкой или повторным использованием использованного бетона.
3. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что переработанные мелкие частицы бетона добавляют в виде густой суспензии, содержащей от 4 до 28 мас.%, предпочтительно от 10 до 18 мас.%, твердых веществ, и в количестве от 20 до 50 л/м<sup>3</sup>, или в виде сухого материала в сочетании с добавлением воды и/или густой суспензии.
4. Способ по пп.1-3, отличающийся тем, что, по меньшей мере, 12,5 мас.% переработанных мелких частиц бетона, которые рассчитывают как оксиды, представляют собой  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , и, по меньшей мере, 80 мас.%  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  находятся в карбонизируемых фазах до карбонизации, и/или  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  составляют, по меньшей мере, 20 мас.%, предпочтительно, по меньшей мере, 30 мас.%, и наиболее предпочтительно, по меньшей мере, 50 мас.% отходов производства, и/или, по меньшей мере, 85 мас.%, предпочтительно, по меньшей мере, 90 мас.%  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  находятся в карбонизируемых фазах.
5. Способ по одному из пп.1-4, дополнительно включающий механическую предварительную обработку переработанных мелких частиц бетона, в частности помол.
6. Способ по одному из пп.1-5, отличающийся тем, что переработанные мелкие частицы бетона имеют гранулометрический состав с  $d_{90} \leq 500$  мкм, предпочтительно  $d_{90} \leq 200$  мкм, более предпочтительно  $d_{90} \leq 100$  мкм, и/или тангенс угла наклона  $n$  по Розину-Раммлеру составляет от 0,7 до 1,2.
7. Способ по одному из пп.1-6, отличающийся тем, что отходящий газ берут с установки, работающей на таком топливе, как уголь, нефть, газ и, в частности, топливе с содержанием серы, сжигаемом для производства тепла для процесса производства материала или энергии, особенно предпочтительно от угольной электростанции, установки по производству керамической продукции, установки по производству магния, печи для обжига извести или цементного завода.
8. Способ по одному из пп.1-7, отличающийся тем, что температуру во время реакции переработанных мелких частиц бетона с  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_x$  в отходящем газе поддерживают в диапазоне от 40 до 120°C, предпочтительно от 55 до 85°C для нагнетания переработанных мелких частиц бетона в сухом виде, при необходимости, с дополнительным нагнетанием воды и/или густой суспензии при относительной влажности от 50 до 95%, предпочтительно от 55 до 75% для нагнетания переработанных мелких частиц бето-

на в виде густой суспензии при относительной влажности 100%.

9. Способ по одному из пп.1-8, отличающийся тем, что основную часть переработанных мелких частиц бетона рециркулируют, и, в частности, массовое соотношение рециркулируемых и удаленных переработанных мелких частиц бетона находится в диапазоне от 10000 до 100, предпочтительно от 6000 до 200.

10. Способ по одному из пп.1-9, отличающийся тем, что перед или после очистки отходящий газ дополнительно проходит один или более из следующих этапов:

- удаление пыли,
- охлаждение газа,
- кондиционирование газа,
- регенерацию тепла,

и/или очищенный отходящий газ используют для высушивания влажных материалов.

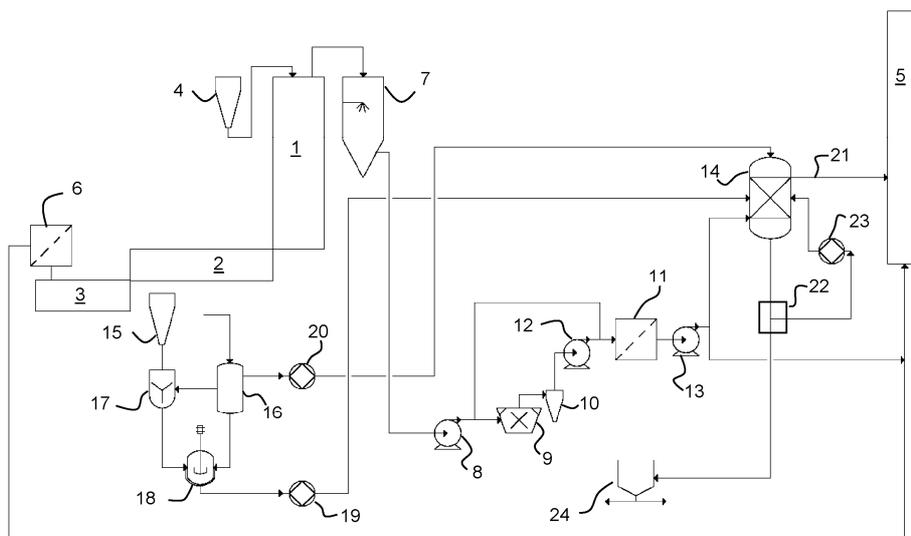
11. Применение густой водной суспензии из переработанных мелких частиц бетона с  $d_{90} \leq 1000$  мкм и углом  $n$  по Розину-Раммлеру от 0,6 до 1,4 в сухом виде для очистки отходящего газа от  $CO_2$  и/или  $SO_x$  в способе по любому из пп.1-9.

12. Применение по п.11, отличающееся тем, что переработанные мелкие частицы бетона предварительно смешивают с водой с образованием густой суспензии, и густую суспензию нагнетают в отходящий газ.

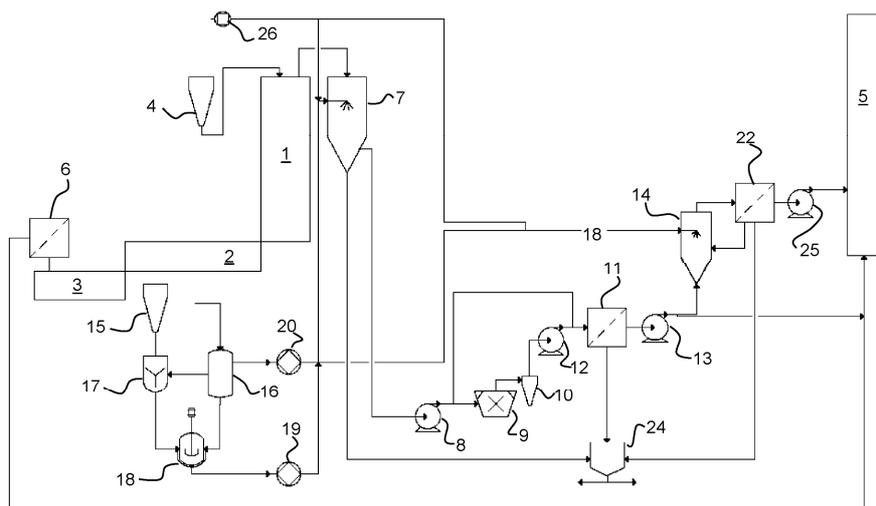
13. Применение по п.11, отличающееся тем, что переработанные мелкие частицы бетона нагнетают в отходящий газ в сухом виде вместе с водой или с предварительно смешанной густой суспензией из переработанных мелких частиц бетона и воды.

14. Применение по одному из пп.11-13, отличающееся тем, что густую суспензию нагнетают в установку кондиционирования газа цементного завода.

15. Применение по одному из пп.11-13, отличающееся тем, что густую суспензию нагнетают в реактор газоочистителя, интегрированный в действующий цементный завод или в угольную электростанцию для очистки отходящего газа.



Фиг. 1



Фиг. 2