

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041283**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.10.04

(51) Int. Cl. **B07B 7/00 (2006.01)**
B01D 45/12 (2006.01)

(21) Номер заявки
202091406

(22) Дата подачи заявки
2017.12.08

(54) **СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ НАНО- И МИКРОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ
ОБОГАЩЕНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

(43) **2020.09.07**

(86) **PCT/RU2017/000918**

(87) **WO 2019/112463 2019.06.13**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"ОБЪЕДИНЕННАЯ КОМПАНИЯ
РУСАЛ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР" (RU)**

(56) **USHAKOV S.G. et al. Inertsionnaya
separatsiya pyli. Moscow "Energiya", 1974, p. 7,
29-32**

**RU-U1-128835
RU-C1-2106182
RU-C1-2242290
SU-A-831149
US-B2-9233325**

(72) Изобретатель:

**Иванов Николай Аркадьевич,
Немаров Александр Алексеевич,
Кондратьев Виктор Викторович,
Горовой Валерий Олегович, Лебедев
Николай Валентинович, Колосов
Александр Дмитриевич, Небогин
Сергей Андреевич, Клешнин Антон
Александрович (RU)**

(74) Представитель:

Панова С.А. (RU)

(57) Изобретение относится к области обогащения полезных ископаемых. Способ разделения частиц пыли при обогащении полезных ископаемых с использованием газового сепаратора включает стадию разделения частиц по крупности. Подают нано- и микроразмерные частицы пыли во влажный газовый поток тангенциально в центробежное поле цилиндра с разделением частиц по гидрофильности и гидрофобности, далее направляют образовавшиеся крупные конгломераты гидрофильных частиц в бункер, а оставшуюся часть гидрофобных частиц направляют в верхний патрубок газового сепаратора с последующим обжигом этих частиц для сжигания лишнего гидрофобного компонента, при этом стенки газового сепаратора и патрубок для выхода крупных частиц предварительно обрабатывают гидрофобизатором или они изначально могут быть выполнены из гидрофобного материала. Технический результат заключается в повышении эффективности разделения нано- и микроразмерных частиц по их поверхностным свойствам.

B1

041283

041283

B1

Область техники

Изобретение относится к области обогащения полезных ископаемых, а именно к разделению нано- и микроразмерных частиц, которые при флотации плохо разделяются на гидрофобные и гидрофильные, так как при таких размерах частиц капиллярные силы намного превышают гравитационные. Изобретение также может быть использовано при обогащении полезных ископаемых различного минерального состава до определенной крупности, когда капиллярные силы превышают гравитационные и гидродинамические силы.

Уровень техники

Известен способ флотации извлечения наноразмерных частиц из техногенных отходов (патент RU 2500480, В03D 1/02, С01В 31/00, С01В 33/12, опубл. 10.12.2013). Недостатком данного способа является то, что пенный и камерный продукт флотации следует сгущать и сушить для получения сухого ценного продукта, а это требует дополнительных энергозатрат. Также скорость обогащения при данном способе флотации будет низка по сравнению с каким-либо другим "сухим" способом обогащения.

Известны способы обеспыливания (Пирумов А.И., Обеспыливание воздуха, М., изд-во "Стройиздат", 1974, 207 с). В книге показано (с. 36-39), что гидрофобная пыль (углерод и т.п.) плохо смачивается влажным воздухом (газом), поэтому для обеспыливания таких частиц применяют смачиватель или разгоняют их до такой скорости, чтобы они могли погрузиться в воду. Данные способы, во-первых, не предназначены для разделения частиц пыли на гидрофобные и гидрофильные, во-вторых, для разгона гидрофобной пыли до скорости, позволяющей погрузиться гидрофобной частице в воду, требуются дополнительные энергозатраты, в-третьих, при обеспыливании от гидрофобной пыли необходимо применение смачивателей для гидрофилизации гидрофобных частиц.

Существует ряд патентов, в которых для обеспыливания гидрофобной пыли применяются смачиватели. (Например, патент RU 2495250, E21F 5/06, опубл. 10.10.2013). Есть смачиватель по а.с. СССР № 1260532, опубл. 30.09.1986.

Известен способ липкостной сепарации (патент RU 2018371, В03В 5/44, опубл. 30.08.1994), предназначенный для обогащения полезных компонентов определенного класса крупности. Технологический процесс основан на использовании липкостных свойств гидрофобных минералов.

Недостатком известного способа извлечения из руд алмазов является то, что данный способ предназначен только для крупных минеральных частиц. При использовании способа для обогащения мелких частиц будет низкая производительность и скорость обогащения, а также обогащать пыль этим способом практически невозможно.

Известен способ липкостной сепарации извлечения алмазов из алмазосодержащего сырья, (патент RU 2223825, В03В 7/00, В03В 9/00, опубл. 20.02.2004), включающий двустадийное измельчение руды в мельницах самоизмельчения, извлечение крупных алмазов люминесцентной сепарацией, извлечение средних алмазов липкостной сепарацией, доизмельчение крупных и средних фракций хвостовых продуктов в истирающих мельницах самоизмельчения по замкнутому циклу с последующим доизвлечением мелких алмазов пенной сепарацией совместно с пневмофлотацией и выводом хвостов пенной сепарации в отвал, отличающийся тем, что перед извлечением крупных алмазов люминесцентной сепарацией и средних липкостной сепарацией осуществляют предварительную виброконцентрацию алмазов на грохотах-концентраторах с возвратом хвостовых продуктов виброконцентрации на доизмельчение в замкнутом цикле с мельницами второй стадии самоизмельчения, обесшламливание и фракционирование мелкозернистого материала осуществляют с применением гидроклассификации, с выводом сливного продукта гидроклассификации в отвал и дообогащением пескового продукта с применением пенной сепарации, пневмофлотации и пленочной флотации.

Недостатком известного способа извлечения из руд алмазов является то, что данный способ предназначен только для крупных минеральных частиц. При использовании способа для обогащения мелких частиц будет низкая производительность и скорость обогащения, а также обогащать пыль этим способом практически невозможно.

Флотационное разделение нано- и микроразмерных частиц по степени их гидрофобности или гидрофильности в традиционных флотомашинах практически невозможно. Флотация частиц, имеющих линейный размер меньше 300 мкм, представляет собой по сей день большую трудность при обогащении полезных ископаемых. Как написано в одной технической энциклопедии (Техническая энциклопедия / Л. К. Мартене и др. - М.: ОГИЗ РСФСР, 1934. - Том 25, с. 33): "При значительном увеличении степени дисперсности, т.е. уменьшении размеров частиц, при переходе в область шламов (вблизи коллоидной области) флотируемость всегда обращается в нуль".

Перечислим основные негативные и позитивные факторы, влияющие на их флотацию:

1) при флотации данных частиц в обычной механической импеллерной флотомашине состав пенного продукта в большинстве случаев практически не изменяется по сравнению с исходным продуктом. Такие частицы уже подвержены броуновскому движению и легко выносятся через сливной порог флотомашин;

2) при обычной флотации даже существенно гидрофилизированные наночастицы за счет пленочной флотации переходят в пенный продукт, так как размер обычных флотационных пузырьков значительно

превышает размер наночастиц и микрочастиц. Это объясняется тем, что гравитационные и гидростатические силы пропорциональны диаметру частицы в третьей степени, а поверхностные силы пропорциональны диаметру частицы. Поэтому из простых расчетов видно, что поверхностные силы даже для существенно гидрофильных нано- и микрочастиц значительно превышают гравитационные и гидростатические.

Известен гидрофильтр для очистки воздуха от пыли (патент RU 128835, B01D 47/06, опубл. 10.06.2013), в котором воздух очищается от загрязнений (гидрофобной и гидрофильной пыли) с помощью водяной завесы, водяных бассейнов, капель и т.п. Заявляемое изобретение имеет существенное отличие от вышеуказанного устройства и это взаимодействующий с пылью влажный газ, который радикально отличается от элементов физического взаимодействия в вышеуказанной полезной модели, в которой пыль взаимодействует с газожидкостной системой (каплями, водой и воздухом). Размеры капель воды значительно превосходят размеры частиц пыли, что приводит к совсем другому виду взаимодействия (контакта) пыли и воды. Другими словами, в заявляемом изобретении пыль во влажной газовой среде, а в устройстве согласно патенту RU 128835 - газожидкостная система (пыль, жидкость, газ). Механизм взаимодействия пыли со смесью газов во влажной среде и с системой (вода, газ и капли воды, диаметр которых на несколько порядков превышает диаметр какой-либо частицы пыли) радикально отличаются, что подтверждается получением различных результатов при их выполнении: в первом случае (заявляемый способ) происходит разделение частиц пыли на гидрофобные и гидрофильные, а во втором случае (RU 128835) происходит практически полное очищение газа частиц пыли (гидрофобной и гидрофильной). В заявляемом способе капли есть, но они нано- и микроразмерные и возникают на поверхности гидрофильной пыли из влажного газа. Отдельных от твердой поверхности гидрофильной пыли капель нет. В полезной модели при такой обработке загрязненного газа при создании водяной завесы гидрофобные и гидрофильные частицы будут выпадать и в первый и во второй бассейны.

Известен аппарат для мокрой очистки газа (патент RU 2106182, B01D 47/06, опубл. 10.03.1998), в котором так же, как в вышеуказанной полезной модели RU 128835, производится очистка газа от пыли (гидрофобной и гидрофильной) и очищающий элемент - газоводяная система, в которой вода первоначально присутствует в жидком виде (капли и т.д.) отдельно от твердой поверхности частиц пыли. Коагуляция частиц пыли в данном устройстве происходит как гидрофобных, так и гидрофильных. Это происходит, потому что капли воды значительно превосходят по размерам частицы пыли. В заявляемом способе нано- и микроразмерные капли, образованные на поверхности гидрофильных частиц, способствуют "склеиванию" этих гидрофильных частиц между собой. В то же время гидрофобные частицы, не имеющие на своей поверхности сорбированной воды, не коагулируют. Данный механизм склеивания достаточно подробно описан в описании заявляемого способа.

Известно устройство "Циклон" (патент RU 2242290, B04C 5/23, опубл. 20.12.2004), в котором так же, как и вышеуказанных устройствах (патент RU 128835, патент RU 2106182), описан способ очищения газа от пыли путем распыления воды в поток очищаемого газа. То есть, рабочее тело в данном устройстве - смесь капель воды с газом, а не влажный газ. Способ аналогичен применяемым в вышеуказанных устройствах и не позволяет разделить гидрофобные и гидрофильные частицы пыли, так как с такой водяной завесой взаимодействуют все частицы пыли независимо от их поверхностных свойств.

Наиболее близким к заявляемому способу является способ разделения пыли по крупности в воздушном потоке (Ушаков С.Г. и др. "Инерционная сепарация пыли", М.: "Энергия", 1974). В данном способе хорошо показаны различные варианты разделения пыли по крупности, но нет вариантов разделения пыли по гидрофильности и гидрофобности. Простая инерционная сепарация пыли по крупности не разделяет пыль на гидрофильные и гидрофобные частицы.

Раскрытие изобретения

Технической задачей и результатом, на решение и достижение которых направлено предложенное изобретение, является разделение нано- и микроразмерных частиц по их поверхностным свойствам, которые при обычных способах обогащения (флотация в импеллерной флотомашине, гравитационное обогащение в суспензии) практически не разделяются.

Задача решается, а технический результат достигается тем, что в предлагаемом способе разделения частиц пыли при обогащении полезных ископаемых с использованием газового сепаратора, включающем стадию разделения частиц по крупности, новым является то, что подают нано- и микроразмерные частицы пыли во влажный газовый поток тангенциально в центробежное поле цилиндра с разделением частиц по гидрофильности и гидрофобности, далее направляют образовавшиеся крупные конгломераты гидрофильных частиц в бункер, а оставшуюся часть гидрофобных частиц направляют в верхний патрубок газового сепаратора с последующим обжигом этих частиц для сжигания лишнего гидрофобного компонента, при этом стенки газового сепаратора и патрубков для выхода крупных частиц предварительно обрабатывают гидрофобизатором или они изначально могут быть выполнены из гидрофобного материала.

Заявляемое изобретение дополняют следующие уточняющие признаки.

Обжиг производят пламенем, например, от газовой горелки. Способ, в котором используется бункер с исходным материалом гидрофильных и гидрофобных частиц пыли, насос для подачи влажного га-

за, струйный насос, газовый сепаратор, патрубок для выхода вниз крупных частиц, имеющих большую скорость витания, патрубок для выхода вверх мелких гидрофобных частиц, имеющих низкую скорость витания, газовая горелка, пламя которой подается в верхнюю часть - патрубок или емкость для обжига.

Изобретение пояснено на чертежах, на которых показано:

фиг. 1 - схема закрепившейся цилиндрической частицы SiO_2 на разделе фаз воздух-вода при пленочной флотации;

фиг. 2 - две сферические частицы SiO_2 , скрепленные каплей воды;

фиг. 3 - зависимость отношения гравитационной силы к капиллярной (k) от диаметра (D) сферической частицы SiO_2 ;

фиг. 4 - хрустальные гидрофильные миллиметровые шарики (содержание $\text{PbO} = 25\%$), слипшиеся за счет мелких капель влажного воздуха и повисшие на конце пинцета;

фиг. 5 - частицы рукавной пыли кремневого производства, увеличенные в 200000 раз;

фиг. 6 - частицы рукавной пыли при увеличении в 30000 раз;

фиг. 7 - рукавная пыль кремневого производства, протравленная плавиковой кислотой;

фиг. 8 - блок-схема предложенного способа.

Проведем расчет сил, действующих на частицу на разделе фаз воздух-вода при пленочной флотации.

Рассмотрим пленочную флотацию гидрофильных частиц на примере закрепившейся на поверхности раздела фаз воздух-вода цилиндрической частицы SiO_2 .

На фиг. 1 показана схема закрепившейся цилиндрической частицы SiO_2 на разделе фаз воздух-вода при пленочной флотации.

Получаем:

$$F_g - F_a = 2\pi r^3 (\rho_{\text{SiO}_2} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot g = 2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-21} \cdot 1600 \cdot 10 = 1,00531 \cdot 10^{-16} \text{ H}$$

$$F_{\text{п.н}} = \sigma \cdot 2\pi \cdot r = 72 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} = 4,52 \cdot 10^{-8} \text{ H}$$

$$\sin \alpha = \frac{F_g - F_a}{F_{\text{п.н}}} = \frac{1,00531 \cdot 10^{-16}}{4,52 \cdot 10^{-8}} = 2,22222 \cdot 10^{-9}$$

$$\alpha = \arcsin(\sin \alpha) = 2,22222 \cdot 10^{-9},$$

где F_g - вес цилиндра SiO_2 ,

F_a - сила Архимеда,

$F_{\text{п.н}}$ - сила поверхностного натяжения,

$\rho_{\text{SiO}_2} = 2600 \text{ кг/м}^3$ - плотность SiO_2 ,

$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды,

$r = 10^{-7} \text{ м}$ - радиус цилиндра,

$\sigma = 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ - коэффициент поверхностного натяжения на разделе фаз воздух-вода,

ускорение свободного падения g принято 10 м/с^2 .

Следовательно, при обычном дисперсном составе исходных пузырьков при традиционных способах флотации в импеллерной флотомашине крупность пузырьков значительно больше гидрофильных наночастиц. Эти частицы хорошо флотируются на пузырьках, размер которых значительно превышает размер наночастиц за счет пленочной флотации.

Осуществление изобретения

Сущность изобретения заключается в следующем.

Во влажном газовом турбулентном потоке гидрофильные нано- и микроразмерные частицы "склеиваются", и образуются прочные конгломераты гидрофильных частиц, скрепленные нано- и микроразмерными каплями воды.

Рассмотрим две шарообразные наноразмерные частицы SiO_2 и скрепляющую их наноразмерную каплю воды (фиг. 2). На фиг. 2 показаны две сферические частицы SiO_2 , скрепленные каплей воды.

Рассчитаем соотношение размера капли воды и диаметра сферической частицы SiO_2 , при котором данная система "сферические частицы SiO_2 - капля воды" будет устойчива.

Без потери общности будем считать каплю воды цилиндром с диаметром d , расположенную между сферическими частицами с диаметром D . Будем исходить из следующих основных физических параметров: поверхностное натяжение воды $\sigma = 72 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, плотность SiO_2 $\rho = 2600 \text{ кг/м}^3$, ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Рассчитаем отношение к гравитационной силе F_g , действующей на одну из сфер, к капиллярной силе F_k , действующей между сферическими частицами:

$$k = \frac{F_g}{F_k} = \frac{\rho \cdot \frac{\pi \cdot D^3}{6} \cdot g}{\sigma \cdot \pi \cdot d} = \frac{\rho \cdot g \cdot D^3}{6 \cdot \sigma \cdot d} \quad (1)$$

При $d=D/10$ получим

$$k = \frac{F_g}{F_k} = \frac{\rho \cdot \frac{\pi \cdot D^3}{6} \cdot g}{\sigma \cdot \pi \cdot d} = \frac{\rho \cdot g}{6 \cdot \sigma} \cdot 10 \cdot D^2 \quad (2)$$

Построим график зависимости k от D . Зависимость отношения гравитационной силы к капиллярной (k) от диаметра (D) сферической частицы SiO_2 показана на фиг. 3.

Из полученной зависимости видно, что конгломерат из двух сферических частиц с нано- и микро-размерной каплей воды устойчив при $D < 1,3$ мм. При $D=100$ нм, $d=10$ нм капиллярная сила будет превышать гравитационную примерно в $2 \cdot 10^8$ раз. Следовательно, в потоке влажного воздуха наноразмерные гидрофильные частицы будут образовывать прочные конгломераты, образованные путем их сцепления между собой наноразмерными каплями воды. Аналогично, любые другие гидрофильные наноразмерные частицы будут слипаться за счёт капель смачивающих их поверхность жидкостей.

В то же время во влажном газовом потоке гидрофобные частицы не слипаются и при газовой сепарации имеют меньшую скорость витания по сравнению с образованными конгломератами гидрофильных частиц. По разнице скорости витания гидрофобных частиц и конгломератов гидрофильных частиц можно производить их разделение в любом газовом сепараторе. Например, в газовом сепараторе конгломераты гидрофильных частиц будут выпадать под действием гравитационных сил в бункер для крупных частиц, имеющих высокую скорость витания, а гидрофобные частицы будут выходить вверх при низкой скорости витания, например, в центральный патрубок газового сепаратора или любого другого устройства для разделения частиц в газовом потоке. В поток гидрофобных частиц подается пламя какой-либо горелки, что приводит к сжиганию лишнего компонента.

На фиг. 4 показаны хрустальные гидрофильные миллиметровые шарики (содержание $\text{PbO}=25\%$), слипшиеся за счет мелких капель влажного воздуха и повисшие на конце пинцета. Для данных шариков отношение гравитационной силы к капиллярной немного меньше единицы (см. фиг. 3). Данный пример показывает, что образование конгломератов гидрофильных частиц происходит даже для достаточно крупных минеральных частиц.

На фиг. 5 показаны частицы рукавной пыли кремниевого производства, увеличенные в 200000 раз. На фотографии видно, что частицы покрыты углеродом. Анализ, проведенный на электронном микроскопе JEOL JIB-Z4500 с помощью энергодисперсионного детектора X-max 80 мм² фирмы OXFORD INSTRUMENTS в технопарке ИРНИТУ, показал, что содержание углерода в рукавной пыли составляет 4-5% от всей массы рукавной пыли. Остальная масса пыли 96-95% представляет собой шарики и сферы SiO_2 .

На фиг. 6 показаны частицы рукавной пыли при меньшем увеличении. Не все частицы покрыты углеродом. Основная часть этих частиц легко смачивается водой, и во влажном воздухе они легко слипаются в конгломераты.

На фиг. 7 показана фотография, полученная на просвечивающем электронном микроскопе, рукавной пыли кремниевого производства, протравленная плавиковой кислотой. На фотографии видны углеродные сферы, которые первоначально покрывали шарики и сферы SiO_2 .

Предложенный способ осуществляется следующим образом.

Первоначально гидрофобные и гидрофильные частицы пыли разделяются во влажном газовом потоке. Гидрофильные частицы слипаются за счет капиллярных сил в крупные конгломераты, которые приобретают более высокую скорость витания, что способствует их разделению по скорости витания с гидрофобными частицами, имеющими меньшую крупность.

В поток гидрофобных частиц пыли подается пламя горелки для сжигания гидрофобной поверхности частиц или самих частиц, если они состоят, например, из одного углерода или любого другого гидрофобного материала.

Пример.

Конструкция устройства для реализации способа в качестве неограничивающего примера состоит из следующих элементов: бункер с исходным материалом гидрофильных и гидрофобных частиц пыли; насос для подачи влажного газа; струйный насос; газовый сепаратор; патрубок для выхода вниз крупных частиц (не показан), имеющих большую скорость витания; патрубок для выхода вверх мелких гидрофобных частиц (не показан), имеющих низкую скорость витания; горелка, пламя которой подается в верхнюю часть с гидрофобными частицами после газового сепаратора для обжига шариков SiO_2 , покрытых углеродом. Стенки газового сепаратора и патрубок для выхода конгломератов гидрофильных частиц обрабатываются любым приемлемым гидрофобизатором для исключения налипания материала на стенки устройства и лучшего выхода в бункер для их сбора. В качестве альтернативы стенки газового сепаратора и патрубок для выхода конгломератов гидрофильных частиц делаются изначально гидрофобными, что также препятствует налипанию частиц на стенки. Последовательность действий показана в блок-схеме на фиг. 8.

Обрабатывалась рукавная пыль кремниевого производства с первоначальным содержанием углерода 4-5%. Рукавная пыль подавалась во влажном газовом потоке тангенциально в центростремительное поле ци-

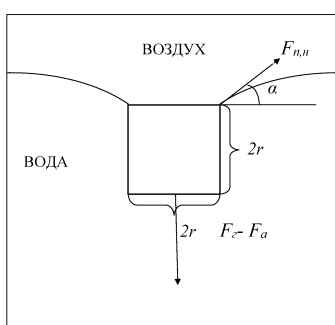
линдра. В результате происходила сепарация пыли по гидрофильности и гидрофобности. Гидрофильные (чистые частицы SiO_2) слипались в конгломераты, имеющие большую скорость витания. Гидрофобные частицы, покрытые углеродом, образовывали поток частиц, расположенный по центру цилиндра. В поток гидрофобных частиц подавалось пламя пропановой горелки. В течение 4-6 с частицы, покрытые углеродом, обгорали в пламени горелки и обнажались практически до чистого SiO_2 . Конечное содержание углерода составляло 0,5-1% от всей массы рукавной пыли. Остальная масса 99-99,5% состояла из SiO_2 .

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

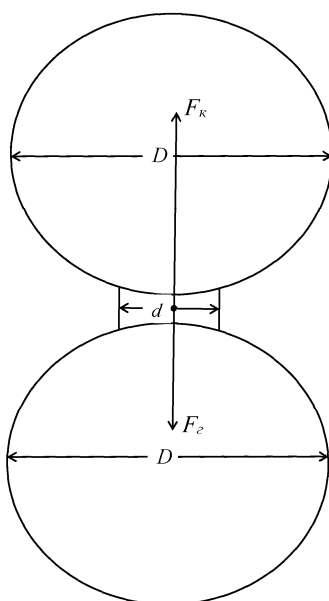
1. Способ разделения частиц пыли при обогащении полезных ископаемых с использованием газового сепаратора, включающий стадию разделения частиц по крупности, отличающийся тем, что подают нано- и микроразмерные частицы пыли во влажный газовый поток тангенциально в центробежное поле цилиндра с разделением частиц по гидрофильности и гидрофобности, далее направляют образовавшиеся крупные конгломераты гидрофильных частиц в бункер, а оставшуюся часть гидрофобных частиц направляют в верхний патрубок газового сепаратора с последующим обжигом этих частиц для сжигания лишнего гидрофобного компонента, при этом стенки газового сепаратора и патрубок для выхода крупных частиц предварительно обрабатывают гидрофобизатором или они изначально могут быть выполнены из гидрофобного материала.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что обжиг производят пламенем, например, от газовой горелки.

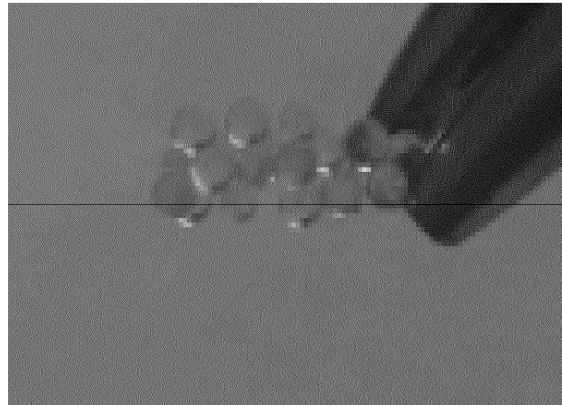
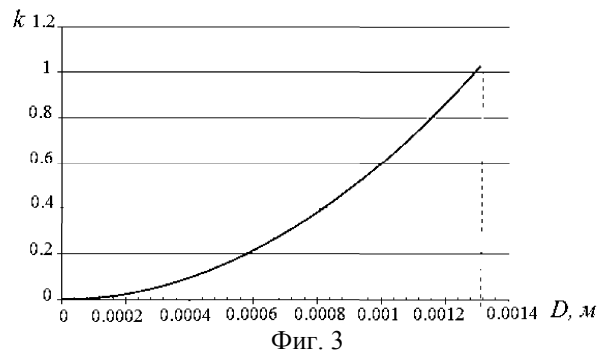
3. Способ по п.1, в котором используются бункер с исходным материалом гидрофильных и гидрофобных частиц пыли, насос для подачи влажного газа, струйный насос, газовый сепаратор, патрубок для выхода вниз крупных частиц, имеющих большую скорость витания, патрубок для выхода вверх мелких гидрофобных частиц, имеющих низкую скорость витания, газовая горелка, пламя которой подается в верхнюю часть - патрубок или емкость для обжига.



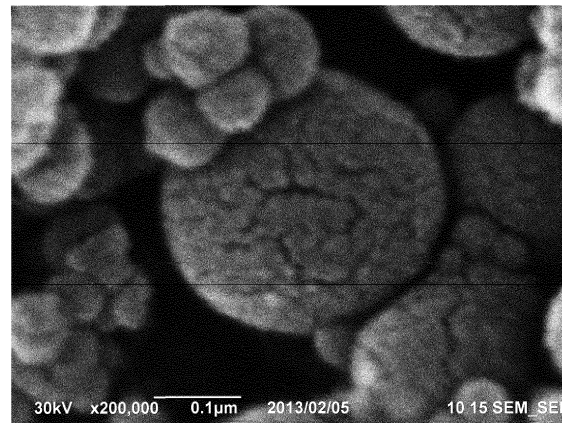
Фиг. 1



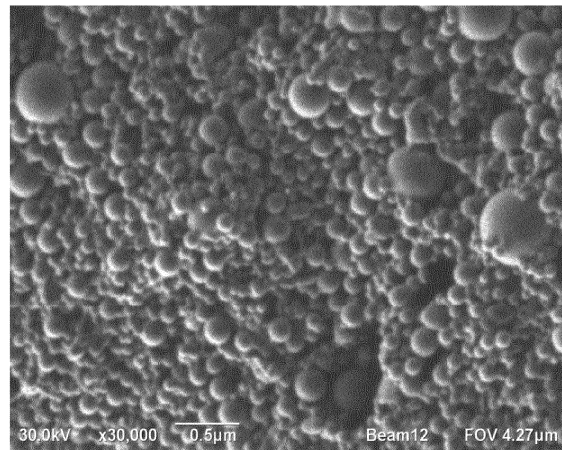
Фиг. 2



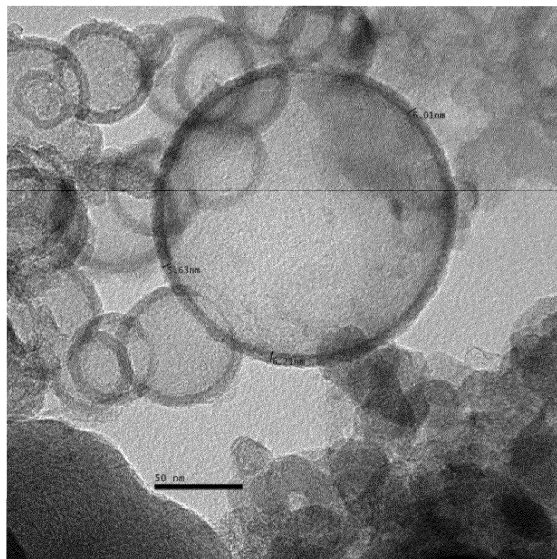
Фиг. 4



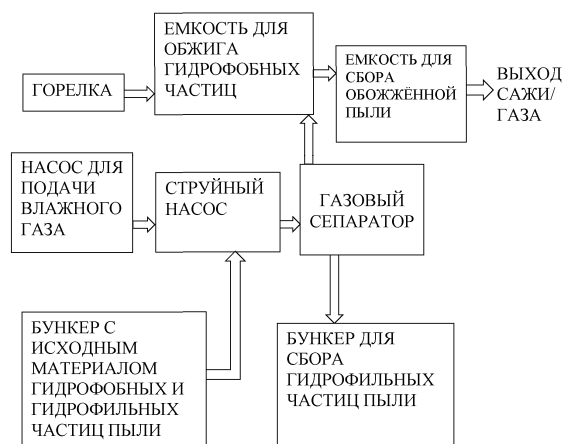
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

