



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006116115/15, 10.05.2006

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.05.2006

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2007

(45) Опубликовано: 27.05.2008 Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2100044 C1, 27.12.1997. RU 2077362
C1, 20.04.1997. RU 2188057 C2, 27.08.2002. US
3870638 A1, 11.03.1975. RU 2057580 C1,
10.04.1996.

Адрес для переписки:

190013, Санкт-Петербург, Московский пр., 26,
ГОУ ВПО "СПбГТИ (ТУ)", ОНТИ и ОИС

(72) Автор(ы):

Абиев Руфат Шовкет оглы (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет)" (RU)(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ И ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ЖИДКОСТЯМИ И АППАРАТ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

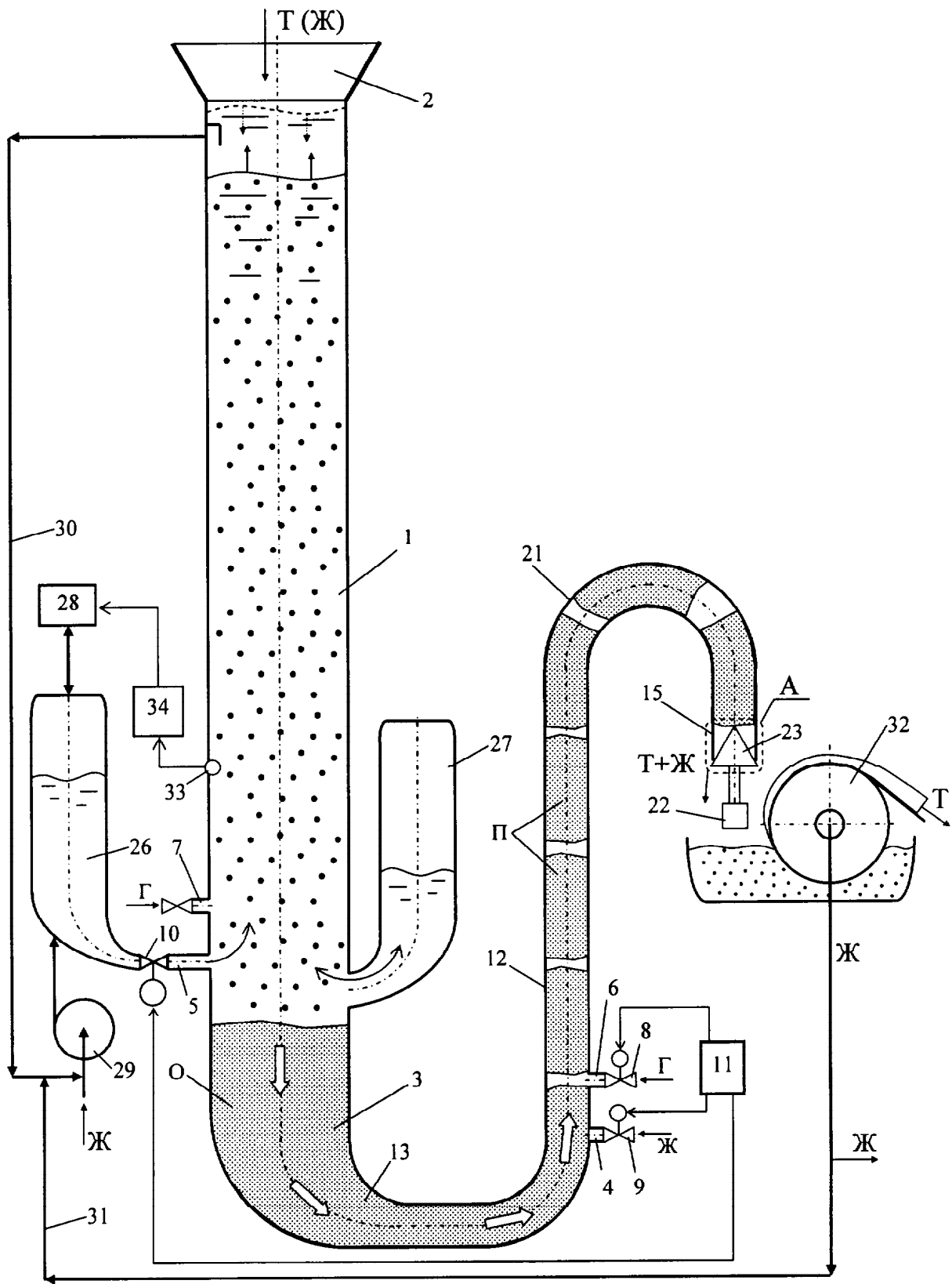
(57) Реферат:

Изобретение относится к способам обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, с одновременной их гидравлической транспортировкой в плотном слое и устройствам для их обработки, и может быть использовано для растворения, экстрагирования, выщелачивания и кристаллизации. Способ заключается в возбуждении пульсаций в суспензии с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии и газонаполненного упругого элемента. Амплитуду колебаний задают такой, чтобы скорость колебательного движения частиц относительно жидкости превышала скорость их свободного осаждения в неподвижной

жидкости. На выгружаемый слой осадка накладывают пульсации давления с помощью жидкости, подаваемой в нижнюю часть слоя осадка, или газа, подаваемого в верхнюю часть осадка. Аппарат включает один или несколько газонаполненных упругих элементов, присоединенных к нижней части корпуса и одну или несколько пульсационных камер, к которым подключен генератор колебаний суспензии. Аппарат снабжен управляемыми клапанами для прерывания расходов жидкости и газа. Технический результат состоит в повышении эффективности процесса массообмена и снижении энергетических затрат, а также в повышении надежности работы аппарата. 2 н. и 3 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 325 208 C2

RU 2 325 208 C2



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006116115/15, 10.05.2006**

(24) Effective date for property rights: **10.05.2006**

(43) Application published: **10.12.2007**

(45) Date of publication: **27.05.2008 Bull. 15**

Mail address:
**190013, Sankt-Peterburg, Moskovskij pr., 26,
GOU VPO "SPbGTI (TU)", ONTI i OIS**

(72) Inventor(s):
Abiev Rufat Shovket ogly (RU)

(73) Proprietor(s):
**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj
tehnologicheskij institut (tehnicheskij
universitet)" (RU)**

(54) **METHOD OF TREATMENT BY LIQUID FOR FINE-GRAINED AND POWDER-LIKE MATERIALS AND APPARATUS FOR ITS IMPLEMENTATION**

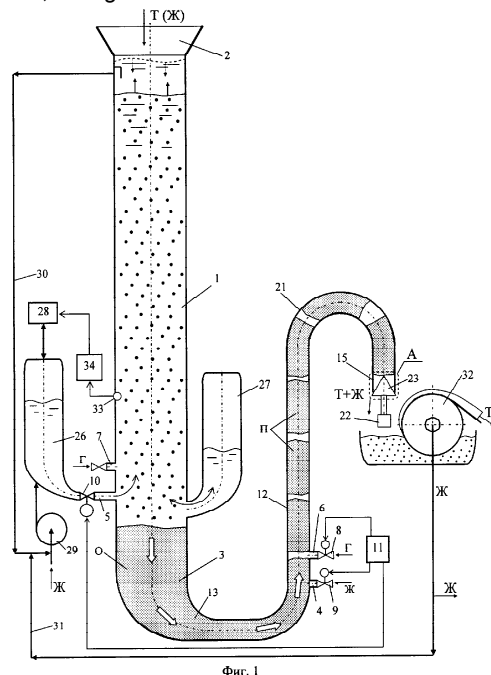
(57) Abstract:

FIELD: machine building; method of treatment by liquid for fine-grained and powder-like materials.

SUBSTANCE: method is constituted by exciting pulsations in the suspension with the frequency close to intrinsic frequency of a system comprising the suspension and a gas-filled elastic element. The oscillations amplitude is set for the velocity of oscillating movement of particles, relative to the liquid, to exceed the free settling velocity in motionless liquid. The outlet deposit layer is put under effect of the pressure oscillations of the liquid being supplied into the lower part of the deposit layer or of the gas being supplied to the upper part of the deposit. The apparatus includes one or several gas-filled elastic elements connected to the lower part of the case and one or several pulsation chambers connected to the suspension oscillations generator. The apparatus is equipped with the controlled valves to stop the supply of liquid and gas.

EFFECT: enhancing of the mass transfer efficiency; reduction of the energy consumption;

enhancing the apparatus reliability.
5 cl, 4 dwg



Фиг. 1

RU 2 3 2 5 2 0 8 C 2

RU 2 3 2 5 2 0 8 C 2

Изобретение относится к способам обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, с одновременной их гидравлической транспортировкой в плотном слое и устройствам для их обработки, и может быть использовано в химической, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности для растворения, экстрагирования, выщелачивания, кристаллизации, смешения с одновременной подачей концентрированной суспензии.

Известен способ обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, заключающийся в подаче мелкодисперсной пульпы в верхнюю часть пульсационной колонны при соотношении твердой фазы к жидкой Т:Ж=1:10, подаче жидкости противотоком в нижнюю часть колонны и наложении пульсаций на суспензию в колонне (Карпачева С.М., Рябчиков Б.Е. Пульсационная аппаратура в химической промышленности. - М.: Химия, 1983; с.139-141), а также устройство для его реализации, содержащее пульсационную колонну, верхнюю загрузочную и нижнюю отстойную зоны, пульсационную камеру, генератор пульсаций и эрлифтный узел разгрузки (Карпачева С.М., Захаров Е.И. Основы теории и расчета пульсационных колонных реакторов. - М.: Атомиздат, 1980, с.38-39). Обработанную и сгущенную пульпу выводят из нижней отстойной зоны пульсационным насосом, а осветленный раствор выходит через верхний слив колонны. Известные способ и устройство позволяют интенсифицировать воздействие на гетерогенную среду за счет пульсаций.

Однако при использовании известного способа и устройства возникают серьезные проблемы, связанные с надежной и равномерной выгрузкой шлама, накапливающегося в нижней части аппарата. Предусмотренный для этого эрлифт не позволяет добиться гарантированной выгрузки в случае частиц с плотностью более 2500-3000 кг/м³ и при их размере крупнее 100 мкм. Установка в нижней части механических разгрузочных устройств (шнековых или шлюзовых питателей и т.п.), во-первых, не может обеспечить полной герметичности аппарата, во-вторых, сопряжена, с повышенным износом оборудования и разрушением частиц (что особенно нежелательно в процессах кристаллизации).

Кроме того, в известном способе и устройстве не использована возможность снижения энергетических затрат путем возбуждения пульсаций на частоте, близкой к собственной частоте колебаний системы гетерогенная среда - элементы аппарата. Таким образом, известные способ и устройство характеризуются повышенными затратами энергии на проведение процесса массообмена.

Известны способ обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, заключающийся в перекачке по трубам концентрированных смесей различных жидких продуктов и мелкозернистых или порошкообразных материалов, а также устройство для его реализации (Смолдырев А.Е., Сафонов Ю.К. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей. - М.: Машиностроение, 1989. - 256 с.; с.3). Известные способ и устройство нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, однако их экономическая эффективность ограничивается стоимостью подачи жидкостеносителя и ее дальнейшей очистки. Кроме того, экспериментально установлено, что в известном способе существуют предельно достижимые объемные концентрации частиц мелкозернистых материалов, при которой еще происходит перемещение гидросмеси по трубам (в отн. ед.): для мелкоизмельченных - до 0,4-0,5, для зернистых - до 0,35-0,45, для кусковых - 0,2-0,25, а для полидисперсных материалов - до 0,35-0,4 (Смолдырев А.Е., Сафонов Ю.К. Трубопроводный транспорт концентрированных гидросмесей. - М.: Машиностроение, 1989. - 256 с.; с.50). Это ограничивает применимость способа при необходимости вертикального транспорта частиц, либо при большой производительности по твердому материалу, когда производительность по жидкости должна быть в 3-5 раз выше.

Известны способ обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями и устройство для его реализации (Романков П.Г., Курочкина М.И. Экстрагирование из твердых материалов. - Л.: Химия, 1983, с.209, рис.5.27). Известное устройство содержит корпус в виде колонны, пористую перегородку в нижней части,

расположенную под ней нижнюю камеру, оборудованную вертикальной трубой для отвода жидкости, центральную трубу, расположенную соосно корпусу, а в верхней части - распределитель жидкости и кольцевую разгрузочную камеру для выгрузки отработанного материала. Известный способ заключается в наложении колебаний на суспензию,

5 подаваемую в верхнюю часть аппарата в виде плотного слоя в центральной трубе, а затем движущуюся вверх в кольцевой зоне под действием пульсаций жидкости, подаваемых снизу через пористую перегородку. Жидкость подается через распределитель в верхнюю часть аппарата в кольцевую зону, движется вниз, фильтруется через пористую перегородку и отводится из нижней камеры через вертикальную трубу. Известное способ и
10 устройство позволяют интенсифицировать обработку твердых частиц жидкостью.

Недостатками известного способа и устройства являются следующие. Пульсации, подводимые к нижней камере, накладываются в большей степени на жидкость, отводимую из аппарата, и в меньшей - на суспензию, находящуюся над пористой перегородкой. Кроме того, разделение фаз в кольцевой разгрузочной камере в верхней части аппарата в виде
15 сгущенной суспензии не может быть осуществлено без дополнительных физических воздействий на суспензию. Поэтому отработанный твердый материал будет выгружаться из верхней части аппарата в виде сильно разбавленной суспензии. Это приведет к необходимости использования дополнительных устройств для дальнейшей сепарации фаз (таких как гидроциклоны, фильтры, центрифуги), увеличению расхода вводимой в аппарат
20 жидкости и росту непроизводительных затрат энергии.

Известен аппарат для обработки мелкозернистых материалов (RU 2077362 C1 B01D 11/02), в котором осуществляется возбуждение пульсации в суспензии с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии и цилиндра с поршнем (газонаполненным упругим элементом). Такой режим позволяет более
25 эффективно использовать вводимую в аппарат энергию. В известном аппарате предполагается обработка твердой фазы в виде плотного слоя, что ограничивает объемную долю жидкости в аппарате и в некоторой степени затрудняет массоотдачу от частиц к жидкости, приводит к снижению равномерности распределения концентрации целевых компонентов в жидкости. Кроме того, известный аппарат работает в
30 периодическом режиме, что снижает его производительность и усложняет эксплуатацию.

Известен аппарат для обработки мелкозернистых материалов (RU 2188057 C2 B01D 11/02), содержащий один или более одинаковых корпусов, соединенных друг с другом в нижней части переточным каналом, побудитель колебаний давления и технологические патрубки, снабженный пульсационной трубой, нижний конец которой через задвижку
35 соединен с переточным каналом, а верхний через вентиль - с побудителем колебаний давления, причем побудитель колебаний давления подсоединен к верхней части одного из корпусов также через вентиль. Известное изобретение позволяет повысить эффективность устройства и надежность его работы. Однако область применения этого устройства ограничена обработкой капиллярно-пористых частиц. Кроме того, в конструкции аппарата
40 предусмотрены контейнеры с перфорированными днищами, на которых лежит слой обрабатываемых капиллярно-пористых частиц в виде плотного слоя. Использование таких элементов предполагает работу аппарата только в периодическом режиме, что снижает его производительность и усложняет эксплуатацию.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является способ обработки
45 мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями и устройство для его реализации (RU 2100044 C1 B01D 11/02). Известный способ заключается в проведении тепломассообменных и гидродинамических процессов в системах твердая фаза - жидкость, включающем контакт фаз в условиях пульсирующего несинусоидального течения дисперсной фазы в технологическом аппарате, при этом контакт фаз осуществляют
50 непрерывно в условиях плотного слоя дисперсной фазы с объемной концентрацией 75-85%, перемещающегося в течение полупериода пульсации со скоростью, превышающей скорость псевдооживления, с направлением движения дисперсионной среды в этом полупериоде. Предлагаемый способ реализован на установке, состоящей из U-образного

аппарата, связанного через пульсопровод с пульсатором. Верхняя часть одного из колена аппарата является пульсационной камерой. Конструкция пульсатора позволяет формировать несинусоидальные импульсы давления, которые по пульсопроводу передаются в пульсационную камеру. Известное изобретение позволяет повысить

5 эффективность способа проведения процессов в гетерогенной системе. К недостаткам известного изобретения относятся:

1) пульсации в суспензии возбуждают с произвольной частотой, т.е. в известном способе и аппарате не используются упруго-инерционные свойства системы, что приводит к недостаточно эффективному использованию энергии;

10 2) известный способ предполагает обработку твердых частиц в виде плотного слоя дисперсной фазы с объемной концентрацией 75-85%, т.е. в виде плотного слоя, что снижает эффективность процессов обработки, приводит к увеличению неравномерности распределения параметров (температуры, концентрации извлекаемых либо растворяемых компонентов) по объему аппарата, поскольку движение жидкости в поровом пространстве

15 происходит в стесненных условиях, а объем жидкости также существенно ниже, чем в разбавленных суспензиях;

3) в известном изобретении плотный слой частиц перемещается в течение полупериода пульсации со скоростью, превышающей скорость псевдооживления, что связано со спецификой плотного слоя, т.е. известный способ не может быть распространен на случай

20 разбавленной суспензии;

4) в известном изобретении предлагается создавать пульсирующее несинусоидальное течение дисперсной фазы в технологическом аппарате, необходимое для продвижения дисперсной фазы в виде плотного слоя; этот признак также имеет специфическую направленность, т.е. пригоден лишь для плотного слоя и не может быть обобщен на

25 случай разбавленной суспензии.

Таким образом, известные способ и аппарат имеют ряд существенных ограничений, обусловленных областью их применения для обработки дисперсной фазы с объемной концентрацией 75-85%, т.е. в виде плотного слоя. При обработке дисперсной фазы в более широком диапазоне концентраций эффективность известного изобретения

30 недостаточно высока, а энергетические затраты, обусловленные необходимостью продвижения плотного слоя большой протяженности, чрезмерно высоки (для обеспечения заданного времени пребывания аппарат должен иметь достаточную длину, которая может достигать от нескольких метров до десятков и даже сотен метров. По этой же причине снижается и надежность аппарата, поскольку не исключено закупоривание (образование

35 "пробок") дисперсной фазы, движущейся в виде плотного слоя, особенно на поворотных участках.

Задача предлагаемого изобретения - повышение эффективности способа за счет ускорения процесса массообмена и снижения энергетических затрат, а также повышение надежности работы аппарата, реализующего способ.

40 Поставленная задача решается тем, что в способе обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, заключающемся в подаче в аппарат твердых частиц и жидкости, осаждении частиц в жидкости и наложении пульсаций на образовавшуюся суспензию с последующей выгрузкой выпавшего осадка в виде плотного слоя, согласно изобретению, пульсации в суспензии возбуждают с частотой, близкой к

45 частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии и газонаполненного упругого элемента, амплитуду колебаний задают такой, чтобы скорость колебательного движения частиц относительно жидкости превышала скорость их свободного осаждения в неподвижной жидкости, при этом в суспензию вводят газ, а на выгружаемый слой осадка накладывают пульсации давления с помощью жидкости, подаваемой в нижнюю часть слоя

50 осадка, или газа, подаваемого в верхнюю часть осадка.

Поставленная задача решается также тем, что в нижнюю часть выгружаемого слоя осадка импульсно вводят газ, причем импульсы ввода газа подают в конечной фазе импульсов давления жидкости, накладываемых на выгружаемый плотный слой осадка.

Кроме того, поставленная задача решается тем, что аппарат для обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов, включающий вертикальный корпус, узлы подачи суспензии и разгрузки, один или несколько газонаполненных упругих элементов, присоединенные к нижней части корпуса, одну или несколько пульсационных камер, к

5 которым подключен генератор колебаний суспензии, а также патрубки для подачи жидкости и газа, согласно изобретению, снабжен управляемыми клапанами для прерывания расходов жидкости и газа, соединенными с генератором импульсов, а узел разгрузки выполнен в виде трубы, заканчивающейся разгрузочным патрубком.

Поставленная задача решается также тем, что узел разгрузки снабжен коническим

10 бункером с нижним разгрузочным патрубком и верхним патрубком, к которому подсоединен управляемый клапан для подачи сжатого газа, а нижняя часть бункера выполнена проницаемой для жидкости и оборудована кольцевой камерой для подачи жидкости.

Поставленная задача решается также тем, что к разгрузочному патрубку подключен управляемый исполнительным механизмом запорный клапан, периодически герметично

15 закрывающий и открывающий разгрузочный патрубок, причем управляемый запорный клапан снабжен внутренними каналами для подачи сжатого воздуха, в верхней части закрытыми защитным козырьком в виде конуса, присоединенного к клапану.

Предлагаемое изобретение позволяет за счет возможности реализации резонанса, за счет существенного снижения расхода циркулирующей жидкости повысить эффективность

20 процесса массообмена, снизить энергетические затраты; за счет выгрузки осадка в виде плотного слоя, без использования механических устройств позволяет снизить износ и повысить долговечность аппарата, т.е. увеличить надежность его работы.

Заявляемое техническое решение является новым, обладает изобретательским уровнем и промышленно применимо.

Возбуждение колебаний с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии и элементов аппарата, при задании амплитуды колебаний такой, чтобы скорость колебательного движения частиц относительно жидкости превышала

25 скорость их свободного осаждения в неподвижной жидкости, позволяет повысить эффективность процесса массообмена и снизить энергетические затраты.

Это достигается за счет того, что при скорости колебательного движения частиц относительно жидкости, превышающей скорость их свободного осаждения в неподвижной жидкости, уменьшается толщина гидродинамического и диффузионного пристенных слоев на поверхности частиц, вследствие чего возрастает коэффициент массоотдачи. Средняя

30 скорость движения частиц остается при этом практически неизменной, что позволяет

35 обеспечить необходимое время их пребывания в аппарате.

Способы осуществления связи между амплитудой колебаний и скоростью движения частиц известны из уровня техники.

Суть предлагаемого приема сводится к тому, чтобы обеспечить скорость колебательного движения частиц относительно жидкости $V_{\text{кол}}$ больше скорости их осаждения в

40 неподвижной жидкости $V_{\text{ос}}$.

Скорость осаждения частиц в неподвижной жидкости $V_{\text{ос}}$ может быть найдена либо экспериментальным путем (осаждение частиц в емкости с жидкостью с измерением времени и пути осаждения; см., например, Коузов П.А. Основы дисперсионного анализа промышленных пылей. - Л.: Химия, 1971. - 279 с.), либо рассчитана теоретически, с

45 использованием кривой Релея (зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса при осаждении) - итерационным методом или прямым методом - по зависимости числа Рейнольдса от числа Архимеда (см., например, Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. - Л.: Химия, 1974. - С.121-133).

50 Скорость колебательного движения частиц относительно жидкости $V_{\text{кол}}$, разумеется, также может быть определена опытным путем, например, с использованием высокоскоростной видеосъемки частиц в колеблющейся жидкости. Она может быть также рассчитана с использованием соотношений, приведенных в литературе для одиночной

частицы (см., например. Тепло- и массообмен в звуковом поле / В.Е.Накоряков, А.П.Бурдуков, А.М.Болдарев, П.Н.Терлеев; Под ред. С.С.Кутателадзе. - Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1970. - С.49; Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. - М.: Иностран. лит, 1957. - 948 с.), либо для частицы, находящейся в суспензии (Блехман И.И. Вибрационная механика. - М.: Физматлит, 1994. - С.331-334). В литературе (см., например, Блехман И.И. Вибрационная механика. - М.: Физматлит, 1994. - С.331-334) приведены формулы для расчета амплитуды линейных смещений частиц A_r и сдвига по фазе ε_r по отношению к колебаниям жидкости.

Таким образом, скорость колебательного движения частиц относительно жидкости $V_{\text{кол}}$ может быть рассчитана по вычисленным значениям A_r и ε_r по известной формуле (см., например, Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания. М.: Гос. изд-во физ-мат. лит., 1960. - С.12-17)

$$V_{\text{кол}}(t) = \omega \cdot A_r \cdot \sin(\omega t + \varepsilon_r), \quad (1)$$

где ω - угловая частота колебаний (пульсаций), создаваемых в аппарате, с^{-1} ;
 t - время, с.

Согласно изобретению, амплитуду колебаний задают такой, чтобы скорость колебательного движения частиц относительно жидкости превышала скорость их свободного осаждения в неподвижной жидкости, что равносильно удовлетворению неравенства

$$\omega \cdot A_r > V_{\text{ос}}. \quad (2)$$

Таким образом, по известным соотношениям следует найти такую амплитуду колебаний, чтобы удовлетворялось неравенство (2).

Возбуждение колебаний с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии и элементов аппарата, позволяет реализовать резонансный режим колебаний, требующий значительно меньших затрат энергии по сравнению с нерезонансными колебаниями или другими способами взаимодействия твердой и жидкой фаз.

За счет ввода в суспензию газа достигается, во-первых, снижение частоты собственных колебаний системы, так как при этом резко снижается жесткость колеблющегося столба суспензии, во-вторых, пузырьки газа играют роль локальных трансформаторов энергии, поскольку вблизи каждого из пузырьков амплитуда пульсаций жидкости и находящихся в них частиц максимальны. Вблизи колеблющихся пузырьков возникают микротечения, омывающие частицы, вводимая в гетерогенную систему энергия перераспределяется, массоперенос от частиц в жидкость улучшается, энергия расходуется более целенаправленно. Все это позволяет дополнительно повысить эффективность процесса массообмена.

За счет выгрузки образовавшегося в аппарате осадка в виде плотного слоя, и наложения на выгружаемый слой осадка пульсаций давления повышается надежность работы аппарата, так как перечисленные физические воздействия способствуют разрушению связей между частицами в плотном слое, обладающем свойствами жидкости Шведова-Бингама, и облегчают его выгрузку из аппарата даже в направлении вертикально вверх.

На фиг.1 представлен один из вариантов исполнения аппарата для обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, на фиг.2 и 3 в увеличенном масштабе показаны некоторые его элементы. На фиг.1-3 использованы следующие буквенные обозначения: Г - газ, Ж - жидкость, Т - твердые частицы, О - осадок, П - "пробка" суспензии в виде плотного слоя, Ж+Т - суспензия. На фиг.4 показан характер движения твердых частиц относительно жидкости: z - вертикальная координата центра тяжести частицы, t - время.

Аппарат содержит вертикальный корпус 1, узел подачи суспензии 2 (может представлять собой питатель для подачи твердых частиц и патрубков ввода жидкости, на фиг.1 показан условно) и узел разгрузки 3, патрубки 4, 5 для подачи жидкости и патрубки 6, 7 для подачи газа, снабжено управляемыми клапанами 8, 9, 10 для прерывания расходов

жидкости и газа, соединенными с генератором импульсов 11, а узел разгрузки 3 выполнен в виде трубы 12, соединенной с нижней частью корпуса 1 при помощи плавного перехода 13.

Узел разгрузки 3 может быть снабжен присоединенным к трубе 12 коническим бункером 14 (см. фиг.2) с нижним разгрузочным патрубком 15 и верхним патрубком 16, к которому подсоединен управляемый клапан 17 для подачи сжатого газа, а нижняя часть бункера выполнена проницаемой для жидкости, например, в виде перфорированной конической перегородки 18 и оборудована кольцевой камерой 19 для подачи жидкости через патрубок 20. В альтернативном варианте труба 12 в верхней части имеет отвод (плавный поворот) 21 на угол от 0 до 180°, обеспечивающий выгрузку осадка в необходимом направлении (от вертикального вверх до вертикального вниз), заканчивающийся нижним разгрузочным патрубком 15.

К разгрузочному патрубку 15 подключен управляемый исполнительным механизмом 22 запорный клапан 23 (см. фиг.3), периодически герметично закрывающий и открывающий разгрузочный патрубок 15 при помощи исполнительного механизма 22 (на фиг.3 условно не показан). Исполнительный механизм 22 может представлять собой механический, электромагнитный, электромеханический, пневматический или гидравлический привод возвратно-поступательного движения.

Управляемый запорный клапан 23 может быть снабжен внутренними каналами 24 (см. фиг.3) для подачи сжатого воздуха, в верхней части закрытыми защитным козырьком 25 в виде конуса, присоединенного к клапану 23. Это позволяет подавать воздух через разгрузочный патрубок 15, не допуская засорения каналов 24 истекающей из патрубка 15 суспензией.

К нижней части корпуса присоединена пульсационная камера 26, а также газонаполненный упругий элемент 27, в котором газ (например, воздух) защемлен жидкостью. Пульсационных камер 26 и газонаполненных упругих элементов 27 может быть несколько, что позволяет добиться более равномерного распределения поля течения в корпусе 1. Диаметры патрубков, соединяющих пульсационную камеру 26 и газонаполненный упругий элемент 27, достаточно большие по сравнению с размером частиц суспензии, что позволяет предотвратить их засорение. Объем газа в газонаполненном упругом элементе 27 может в процессе работы аппарата изменяться в результате его растворения в жидкости либо утечек и должен регулироваться при помощи известных средств автоматизации путем постепенной подкачки необходимого количества газа (на фиг.1 условно не показаны).

Наложение пульсаций на суспензию осуществляется при помощи генератора колебаний суспензии, выполненного либо в виде генератора пневматических пульсаций 28, либо в виде насоса 29, присоединенных к пульсационной камере 26 (как показано на фиг.1) либо непосредственно к корпусу 1. Трубопроводы 30 и 31 позволяют организовать рецикл жидкой фазы в устройстве, в том числе поступающей из вакуум-насоса 32 (к заявляемому устройству непосредственно не относится и показан для объяснения принципа его действия), обеспечивающего дополнительное концентрирование и подсушку выгруженного через патрубок 15 осадка. Подача свежей жидкости осуществляется через всасывающий патрубок насоса 29; таким образом реализуется противоточное движение фаз в корпусе 1. При возбуждении пульсаций суспензии при помощи генератора пневматических пульсаций 28 насос 29 может подключаться непосредственно к нижней части корпуса 1 для обеспечения необходимого расхода жидкости.

В корпусе 1 установлен датчик 33 давления или скорости, или ускорения, или перемещения суспензии, соединенный с контроллером 34, причем контроллер 34 подстраивает частоту генератора колебаний 28 суспензии так, чтобы обеспечить максимальную амплитуду колебаний суспензии в корпусе 1. В альтернативном варианте генератор импульсов 11 выполняет функции генератора колебаний суспензии; при этом контроллер 34 подключен к генератору импульсов 11, а сигнал с контроллера 34 поступает на генератор импульсов 11, управляющий клапаном 10. В обоих случаях

использование датчика 33 с контроллером 34 позволяет настраивать частоту колебаний суспензии в корпусе 1 на резонансный режим, характеризующийся максимальной амплитудой колебаний.

Предлагаемый аппарат работает следующим образом, реализуя три основных процесса:

- 5 1) загрузку твердой и жидкой фаз (происходит по известному способу), 2) взаимодействие твердой и жидкой фаз при осаждении частиц в пульсирующей жидкости, 3) выгрузку образовавшегося осадка из аппарата.

Процесс взаимодействия твердой и жидкой фаз при осаждении частиц в пульсирующей жидкости осуществляется следующим образом.

- 10 В верхнюю часть корпуса 1 при помощи узла загрузки 2 подают твердые частицы и жидкость (в случае прямотока). В случае необходимости противоточного движения фаз жидкость подается насосом 29 в пульсационную камеру 26, а из нее - через патрубок 5 в корпус 1.

- 15 При использовании в качестве генератора колебаний суспензии генератора пневматических пульсаций 28 клапан 10 открывают и удерживают в открытом положении, пульсации на жидкость в пульсационной камере 26 передаются от генератора пневматических пульсаций 28. Струи жидкости, проникая через патрубок 5 в корпус 1, создают колебательное движение суспензии в корпусе 1.

- 20 При использовании в качестве генератора колебаний суспензии насоса 29 (генератор пневматических пульсаций 28 при этом отключен) клапан 10 периодически открывается и закрывается в соответствии с сигналами, поступающими от генератора импульсов 11. Жидкость, подаваемая насосом, на первой стадии каждого цикла колебаний (при закрытом состоянии клапана 10) накапливается в пульсационной камере 26, сжимая находящийся над ней газ. Газ накапливает потенциальную энергию, которую он при открытии клапана 25 10 передает жидкости в пульсационной камере. Жидкость, перетекая через патрубок 5 в корпус 1, сообщает вертикальный импульс находящейся в нем суспензии.

- 30 Под действием импульса, передаваемого суспензии струями жидкости, суспензия совершает движение снизу вверх, поскольку находящийся в нижней части корпуса осадок препятствует заметному прониканию жидкости через межзерновые каналы в осадке. При этом происходит расширение газа в газонаполненном упругом элементе 27, а жидкость из него частично вытесняется в корпус 1. Достигнув предельного верхнего положения, суспензия начинает движение вниз, сжимая газ в газонаполненном упругом элементе 27. Таким образом осуществляется один цикл колебаний. Далее процесс колебаний суспензии продолжается. Благодаря разности плотностей твердых частиц и жидкости частицы не 35 успевают повторять колебательные движения жидкости, т.е. существует сдвиг по фазе колебательного движения твердых частиц и жидкости. Кроме того, амплитуда колебаний твердых частиц также ниже амплитуды колебаний жидкости. В результате этого возникает колебательное относительное движение твердых частиц и жидкости, накладываемое на поступательное относительное движение твердых частиц и жидкости, типичное для 40 простого осаждения.

- Средняя скорость относительного движения частиц, т.е. скорость осаждения, примерно равна скорости осаждения в неподвижной жидкости (на фиг.4 она характеризуется тангенсом угла β). Это означает, что время пребывания частиц при равной высоте аппарата остается практически такой же, как при простом осаждении. Вместе с тем, 45 мгновенная скорость относительного движения частиц, т.е. мгновенная скорость их обтекания в несколько раз превышает скорость осаждения в неподвижной жидкости (на фиг.4 ее амплитуда характеризуется тангенсом угла α). Поэтому толщина пристенного слоя на поверхности частиц становится тоньше, в ней возникают вторичные циркуляционные токи (Тепло- и массообмен в звуковом поле / В.Е.Накоряков, 50 А.П.Бурдуков, А.М.Болдарев, П.Н.Терлеев; под ред. С.С.Кутателадзе. - Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1970. - с.8-12; Галицейский Б.М., Рыжов Ю.А., Якуш Е.В. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках. - М.: Машиностроение, 1977. - с.106), что приводит к многократному снижению диффузионного сопротивления

пристенного слоя и к существенному улучшению условий массоотдачи от поверхности частиц.

Реализация резонансного режима колебаний, при котором пульсации в суспензии возбуждают с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии, находящейся в корпусе 1, и элементов аппарата, а именно - газонаполненного упругого элемента 27, еще в большей степени способствует улучшению условий массоотдачи, так как высокая амплитуда относительных движений твердых частиц достигается при меньших энергетических затратах. Действительно, в этом случае суспензия в корпусе 1 выполняет роль инерционного элемента, а газ, заземленный в газонаполненном упругом элементе 27, выступает в качестве упругого элемента. Образующаяся при этом колебательная система обладает собственной частотой колебаний, определяемой комплексом упругих, инерционных и диссипативных свойств. Это позволяет легко управлять колебаниями в аппарате, взаимно подстраивая частоту внешних воздействий (частоту колебаний генератора) и собственную частоту колебаний системы. Конструктивно это возможно реализовать путем установки в корпусе датчика давления, или скорости, или ускорения, или перемещения суспензии, соединенного с контроллером, причем контроллер подстраивает частоту генератора колебаний суспензии так, чтобы обеспечить максимальную амплитуду колебаний суспензии.

Задание амплитуды колебаний такой, чтобы скорость колебательного движения частиц относительно жидкости превышала скорость их свободного осаждения в неподвижной жидкости, позволяет использовать преимущества возбуждения пульсаций в суспензии, выражающиеся в увеличении коэффициента массоотдачи при колебательном движении по сравнению с коэффициентом массоотдачи при простом осаждении.

Ввод пульсаций в суспензию может осуществляться и иначе - посредством сжатого воздуха, подаваемого импульсно в верхней части корпуса 1 либо в верхней части газонаполненного упругого элемента 27, при помощи установленных в корпусе 1 виброрешалок, путем импульсного ввода частиц твердого материала в верхней части корпуса 1 и т.д.

Ввод в суспензию газа через предусмотренный для этой цели патрубок 7 позволяет, во-первых, изменить упругие свойства колебательной системы за счет снижения жесткости столба суспензии в корпусе 1, поскольку скорость звука в газожидкостной смеси много меньше, чем в чистой жидкости (Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1973. - 848 с.). Во-вторых, вводимый в суспензию газ, распределяясь в суспензии в виде пузырьков, выполняет роль трансформатора энергии упругих волн сжатия - расширения в суспензии. Поверхность пузырьков газа, как наиболее легко деформируемый элемент, способна пульсировать с максимальной амплитудой (по сравнению с другими компонентами суспензии - жидкостью и твердыми частицами). Поэтому вблизи каждого из пульсирующих пузырьков усиливаются локальные пульсации, что способствует улучшению гидродинамической обстановки у поверхности твердых частиц, находящихся в окрестности пульсирующего пузырька. При этом уменьшается толщина пристенных гидродинамического и диффузионных слоев, а коэффициент массоотдачи от поверхности частиц возрастает. Для обеспечения достаточно высокой дисперсности пузырьков газ, вводимый через патрубок 7, может быть распределен при помощи барботеров, газораспределителей и т.п.

Осуществление выгрузки образовавшегося в аппарате осадка в виде плотного слоя позволяет, во-первых, создать в нижней части устройства зону с высоким гидравлическим сопротивлением, через которую существенно затруднена фильтрация жидкости и слабо проникают пульсации, возбуждаемые в суспензии. Во-вторых, при движении осадка в виде плотного слоя доля жидкости может составлять в нем не более 26-30% (Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - Л.: Химия, 1968. - С.9). Это позволяет в несколько раз сократить унос воды с осадком по сравнению со случаем выгрузки разбавленной суспензии. В-третьих, при движении осадка в виде плотного слоя отпадает необходимость в механических побудителях движения, таких как шнеки, лопатки, мешалки, скребки и т.п.

Это снижает износ, повышает долговечность и надежность устройства.

Наложение на выгружаемый слой осадка пульсаций давления позволяет снизить трение между плотным слоем осадка, движущегося в виде единой пробки либо отдельных пробок, разделенных слоями жидкости и газа. Пульсации давления создают жидкостью, подаваемой в нижнюю часть слоя осадка, а именно в трубу 12 через патрубок 4 и клапан 9, периодически открываемый по сигналам с генератора импульсов 11, либо газом, подаваемым в верхнюю часть осадка, а именно в разгрузочный патрубок 15 через внутренние каналы 24, выполненные в запорном клапане 23, управляемым исполнительным механизмом 22, либо газом, подаваемым в верхнюю часть осадка, а именно через патрубок 16 и клапан 17 (на фиг.1-3 подключение клапана 17, клапан на каналах 24 и его подключение к генератору импульсов 11 условно не показаны). При наложении пульсаций давления одним из перечисленных выше способов пробка плотного слоя твердого материала сдвигается из неподвижного состояния, при этом связи между частицами твердого материала и стенкой трубы 12 нарушаются, трение покоя переходит в трение движения, отличающееся меньшим коэффициентом. Кроме того, при движении пробки происходит некоторое снижение пористости слоя в зоне вблизи стенок трубы 12, связанное с большими касательными напряжениями и обусловленным ими вращением частиц. В результате этого в зону вблизи стенок трубы 12 проникает большее количество жидкости, и она выступает в роли смазки, способствуя снижению трения плотного слоя осадка, движущегося в виде пробки, о стенку трубы 12.

Импульсный ввод в нижнюю часть выгружаемого слоя осадка газа, а именно через патрубок 6 и клапан 8, способствует разделению движущегося плотного слоя частиц твердого материала на отдельные пробки сравнительно небольшой длины. Напряжения, экспоненциально возрастающие вдоль каждой из пробок, определяются длиной пробки (Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - Л.: Химия, 1968. - С.131, рис.III.5, в; Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред. - СПб: Наука, 2000. - с.136, рис.4.25, линия 2), поэтому при сокращении длины пробки общая сила трения по всем пробкам становится меньше, чем в одной пробке с длиной, равной сумме длин нескольких отдельных пробок. Это также позволяет сократить энергетические затраты и повышает надежность работы аппарата.

Благодаря тому, что импульсы ввода газа через патрубок 6 подаются в конечной фазе импульсов давления жидкости, накладываемых на выгружаемый плотный слой осадка через патрубок 4 при помощи клапана 9 и генератора импульсов 11, т.е. ввод газа осуществляется наиболее рационально, так как порция газа проходит сквозь только что разрыхленный жидкостью слой частиц, еще не сформировавшийся в подвижную пробку, через который прошла волна сжатия. По этой причине сопротивление слоя при вводе газа минимально. Таким образом удается дополнительно снизить затраты энергии.

Несмотря на слабый уровень импульсов, проникающих в осадок при работе генератора колебаний суспензии, выполненного в виде генератора пневматических пульсаций 28 или насоса 29, для некоторых видов мелкозернистых и порошкообразных материалов этих импульсов вполне достаточно для разрушения связей между частицами осадка и стенкой трубы 12, что приводит к началу поступательного движения осадка в узле разгрузки 3.

Наличие управляемых клапанов 8-10, 17 для прерывания расходов жидкости и газа, соединенных с генератором импульсов 11, позволяет реализовать предлагаемый способ, а именно: 1) возбуждать пульсации в суспензии с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, 2) накладывать пульсации давления на выгружаемый слой осадка (жидкостью, подаваемой в нижнюю часть слоя осадка или газом, подаваемым в верхнюю часть осадка); 3) импульсно вводить газ в нижнюю часть выгружаемого слоя осадка, т.е., например, через патрубок 8.

Выполнение узла разгрузки в виде трубы 12 устраняет необходимость в использовании всевозможных механических узлов, склонных к повышенному абразивному износу: шнеков, лопаток, скребков и т.п. Кроме того, отпадает потребность в установке механического

привода для выгрузки осадка. Это позволяет снизить затраты энергии.

Использование в составе узла разгрузки конического бункера 14 с нижним разгрузочным патрубком 15 и верхним патрубком 16, к которому подсоединен управляемый клапан 17 для подачи сжатого газа, и выполнение нижней части бункера 14 проницаемой для жидкости (в виде перфорированной конической перегородки 18) и оборудование кольцевой камерой 19 для подачи жидкости позволяет улучшить условия разгрузки осадка из верхнего конца трубы 12 путем придания слою осадка повышенной текучести добавлением небольших порций жидкости. Пульсации, подводимые к патрубку 16 при закрытом запорном клапане 23, передаются на плотный слой осадка, находящийся в трубе 12, благодаря чему он приобретает необходимую подвижность. Это связано с перераспределением жидкости в слое осадка: при начале движения слоя осадка вблизи стенки трубы 12 происходит сдвиг, приводящий к локальному разрыхлению осадка вблизи стенки. Вследствие этого в пристенных слоях снижается фильтрационное сопротивление, и эти слои быстро насыщаются жидкостью; в результате замены полусухого трения на жидкостное коэффициент трения существенно снижается и движение пробки происходит с большей скоростью.

Подключение к разгрузочному патрубку 15 управляемого исполнительным механизмом 22 запорного клапана 23, периодически герметично закрывающего и открывающего разгрузочный патрубок, позволяет реализовать наложение пульсаций на выходную часть слоя осадка в трубе 12.

Наличие в запорном клапане 23 внутренних каналов 24 для подачи сжатого воздуха, в верхней части закрытыми защитным козырьком 25 в виде конуса, присоединенного к клапану, позволяет вводить пульсации газа непосредственно через каналы 24, избегая их засорения твердыми частицами осадка.

Установка в корпусе 1 датчика 33 давления, или скорости, или ускорения, или перемещения суспензии, соединенного с контроллером 34, подстраивающим частоту генератора 28 колебаний суспензии так, чтобы обеспечить максимальную амплитуду колебаний суспензии, позволяет добиться резонансного режима колебаний суспензии, характеризуемого минимальными затратами энергии при заданной амплитуде колебаний. При возникновении резонансных колебаний амплитуда пульсаций суспензии возрастает в несколько раз, при этом увеличиваются амплитуды всех гидродинамических параметров: давления, скорости, ускорения и перемещения суспензии, один из которых регистрируется датчиком 33.

Достижение резонансных колебаний может также осуществляться по сигналам с датчика 33 при управлении контроллера 34 генератором импульсов 11.

Процесс выгрузки осадка осуществляется следующим образом. В случае горизонтально расположенной трубы 12 и при малой ее длине (не превышающей 5-10 диаметров трубы) разгрузка может осуществляться без наложения дополнительных возмущений, т.е. самотеком. Клапан 23 работает в циклическом режиме, обеспечивая периодическое накопление необходимого количества осадка с последующей его выгрузкой.

В случае вертикально расположенной трубы 12 вертикальный вариант выгрузки осадка позволяет поднять материал на некоторый уровень над нижним краем корпуса 1, что удобно, например, при загрузке материала на конвейеры, в кузова автомобилей, в ковши элеватора без использования традиционных механических транспортирующих машин либо насосов. Это, в свою очередь, позволяет избежать заглублинения разгрузочного конца аппарата.

При выгрузке осадка вертикально вверх из корпуса 1 в нижнюю часть узла разгрузки 3, выполненного в виде трубы 12 поступает осадок в виде высококонцентрированной суспензии, т.е. движение осадка происходит в так называемом плотном слое. За счет повышения концентрации твердой фазы практически до максимальной, при которой еще возможно движение суспензии, снижается расход жидкости, вводимой в аппарат для транспортировки, что существенно снижает затраты на процесс перемещения твердых частиц.

При использовании известных способов (перемещение материала при помощи поршней, шнеков, скребков, лопаток и т.п. либо под давлением газа или жидкости) дальнейшее движение суспензии было бы затруднено в связи с быстрым ростом касательных напряжений между поверхностью плотного слоя частиц и внутренней поверхностью трубы, приводящим к эффекту заклинивания слоя и образования трудно разрушаемой пробки.

Согласно предлагаемому способу выгрузку образовавшегося в аппарате осадка производят в виде плотного слоя, на выгружаемый слой осадка накладывают пульсации давления, причем пульсации давления создают жидкостью, подаваемой в нижнюю часть слоя осадка через патрубок 4 и клапан 9 либо газом, подаваемым в верхнюю часть осадка через патрубок 15 и клапан 23.

При пульсациях, передаваемых на выгружаемый слой осадка, происходит перестройка твердого материала, движущегося в плотном слое, частично разрушаются связи между частицами материала и внутренней стенкой трубы. Образуется подвижная пробка твердого материала с низким коэффициентом трения по материалу трубы, обусловленным постоянной подпиткой поверхности трения свежими порциями жидкости, играющей роль смазки. Касательные напряжения на боковой поверхности подвижных пробок снижаются, и вероятность образования неподвижных пробок снижается практически до нуля.

Кроме того, при дополнительном импульсном вводе в нижнюю часть выгружаемого слоя осадка, т.е. в трубу 12, газа через патрубок 6 и клапан 8, причем импульсы ввода газа подают в конечной фазе импульсов давления жидкости, накладываемых на выгружаемый плотный слой осадка, согласно предлагаемому изобретению, происходит фильтрация газа сквозь слой разрыхленной суспензии, проходящей в зоне патрубков 4 и 6, после чего пузырьки коалесцируют, образуя очередную порцию газа, при этом формируется граница раздела между подвижными пробками П твердого материала. Благодаря действию капиллярных сил на границе слой твердых частиц - жидкость - газ фронтовая и тыльная поверхности пробок П твердого материала приобретают практически плоскую форму, а прочность и устойчивость этих поверхностей повышается. Движение материала в виде отдельных пробок способствует снижению риска заклинивания пробок, так как на отдельных (а следовательно, коротких) пробках не могут развиваться большие касательные напряжения, тормозящие движение материала в плотном слое (Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. - Л.: Химия, 1968. - С.131, рис.III.5, в) и повышает надежность гидравлической транспортировки мелкозернистых материалов.

Таким образом, происходит транспортирование при концентрации твердых частиц в суспензии, близкой к максимальной. Подвижные пробки П выходят из трубы 12 через патрубок 15, где могут подвергаться принудительному перемещению при помощи стандартных механических устройств (скребков, шнеков, центробежных сбрасывателей и т.п.). Циркуляция потока жидкости в корпусе 1 и в установке в целом реализуется при помощи насоса 29. Отработанная жидкость частично отводится из установки трубопровода 31.

При определенных условиях движение осадка в плотном слое может инициироваться пульсациями суспензии в корпусе 1, возбуждаемыми генератором пневматических пульсаций 28, либо насосом 29 с клапаном 10 и генератором импульсов 11. Образующийся в нижней части корпуса плотный слой препятствует истечению жидкости из аппарата. Движение осадка в плотном слое происходит благодаря давлению столба суспензии, находящейся в корпусе 1, при одновременном действии пульсаций, способствующих ослаблению связей между частицами в слое осадка, а также между частицами и стенкой трубы 12. Для стабильной работы аппарат может быть снабжен приборами для поддержания поверхности осадка в нижней части корпуса 1 на заданном уровне (на фиг. 1 условно не показан).

При движении осадка в виде плотного слоя, состоящего из твердых частиц и фильтрующейся через них жидкости, также происходит процесс массообмена, сопровождающий пульсационную фильтрацию жидкости.

Пример конкретного выполнения 1. В нижней части корпуса 1 (диаметром 40 мм и высотой 1.5 м) лабораторной установки, изготовленной в соответствии с описанием предлагаемого устройства (см. фиг.1), установлен узел разгрузки 3, выполненный в виде трубы 12 высотой 0.5 м и диаметром 16 мм, имеющей форму, показанную на фиг.1. Через
5 верхнюю часть корпуса 1 подавали воду и дисперсную фазу. Дисперсная фаза представляла собой мелкозернистый полидисперсный сыпучий материал, состоящий из пористых твердых частиц с плотностью 2710 кг/м^3 и средним размером частиц 30 мкм. Пульсации суспензии создавали при помощи генератора пневматических пульсаций 28, присоединенного к пульсационной камере 26. При частоте, близкой к частоте собственных
10 колебаний системы, состоящей из суспензии и газонаполненного упругого элемента 27, в системе возникали резонансные колебания суспензии, сопровождавшиеся выравниванием фронта осаждения частиц, резким увеличением амплитуды пульсаций суспензии и снижением затрат энергии. При заданном времени пребывания степень извлечения целевого компонента из пористых твердых частиц оказалась выше, чем в известных
15 аппаратах (в 2.4 раза выше, чем в аппарате с рамной мешалкой, и в 6 раз выше, чем в аппарате с неподвижным зернистым слоем), что свидетельствует о повышении эффективности экстрагирования (выщелачивания) в предлагаемом аппарате. Таким образом, за счет резонансных колебаний суспензии даже при снижении уровня энергетических затрат возрастает эффективность способа.

20 На выгружаемый слой осадка накладывали пульсации давления газом, подаваемым в верхнюю часть осадка через патрубок 15 и клапан 23. Мелкозернистый сыпучий материал стабильно перемещался в трубе 12 плотным слоем, т.е. в виде пробок П длиной от 100 до 300 мм со скоростью до 40 мм/с. Объемная доля частиц в плотном слое составляла около 75%, что примерно вдвое выше, чем в известных решениях. Сокращение объемной доли
25 транспортирующей жидкости в потоке суспензии до 25% против 60-65%, принятых в известных технических решениях, приводит к снижению ее расхода в 2,4-2,6 раза.

Благодаря сравнительно малой длине трубы 12 сопротивление движению осадка в состоянии плотного слоя невелико, что позволяет осуществлять надежную выгрузку осадка. Это приводит к повышению надежности предлагаемого аппарата.

30 Пример конкретного выполнения 2. В аппарате, описанном в примере конкретного выполнения 1 (см. фиг.1), проводится процесс растворения в воде твердых частиц (модельная среда), представляющих собой двухслойные гранулы: на ядро из полистирола (20% (об.)) нанесен слой хлорида натрия (80% (об.)). Начальный размер подаваемых в аппарат частиц составлял 2 мм, конечный размер выгружаемых частиц - 1.2 мм.

35 При осаждении частиц в колеблющейся жидкости происходило растворение слоя хлорида натрия, причем средний по объему аппарата коэффициент массоотдачи оказался в 1.7 раза выше, чем в пульсационном аппарате известной конструкции (Карпачева С.М., Рябчиков Б.Е. Пульсационная аппаратура в химической технологии. - М.: Химия, 1983. - с.147).

40 Выгрузка частиц полистирола в виде плотного слоя осуществлялась стабильно, без образования заторов, что свидетельствует о высокой надежности предлагаемого аппарата.

Пример конкретного выполнения 3. В аппарате, описанном в примере конкретного выполнения 1 (см. фиг.1), проводится процесс кристаллизации. В верхнюю часть аппарата подают пересыщенный раствор $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (маточный раствор), а также мелкодисперсный
45 порошок $\text{Mg}(\text{OH})_2$, служащий в качестве затравки кристаллов.

В процессе осаждения частиц в жидкости, совершающей колебания, в которой всплывают пульсирующие пузырьки газа, вводимые через патрубок 7, интенсифицируется подвод массы кристаллизующегося вещества к поверхности частиц, в результате чего
50 удалось получить кристаллы диаметром 4 мм в аппарате высотой 1.5 м, тогда как в существующих аналогах необходимая высота при прочих равных условиях составляет 8 м. Выгрузка полученного кристаллического продукта осуществлялась в виде подвижного плотного слоя, без образования застойных зон.

Пример конкретного выполнения 4. Аппарат, описанный в примере конкретного

выполнения 1 (см. фиг.1), используется для смешения мелкодисперсных частиц гидроксикарбоната никеля, прокаленного оксида магния и оксида алюминия в растворах нитрата никеля и оксида бария (одна из стадий приготовления катализатора паровой конверсии углеводородных газов ГИАП-16).

5 Процесс осуществляется путем подачи в верхнюю часть аппарата через узел подачи суспензии 2 (см. фиг.1) трех потоков твердых частиц и двух потоков растворов. В корпусе происходит осаждение частиц в колеблющейся жидкости. При этом благодаря пульсациям давления в суспензии, а также вводу в суспензию газа через патрубок 7 происходит разрушение агломерированных частиц, а также более равномерное
10 воздействие импульсов давления на частицы в объеме суспензии. В свою очередь, это способствует улучшению качества смешения трех твердых материалов в составе суспензии и ускорению массообмена на поверхности частиц, лимитирующего протекающие в суспензии реакции. Образующийся в нижней части аппарата осадок (смесь оксидов)
15 характеризуется высокой равномерностью распределения частиц по объему и легко выгружается из аппарата в виде плотного слоя, имеющего пастообразную консистенцию. Вследствие того, что содержание жидкости в осадке минимально (примерно 30-35%), не требуется его дополнительная подсушка паром (в отличие от существующей технологии, см. Технология катализаторов / И.П.Мухленов, Е.И.Добкина, В.И.Дерюжкина, В.Е.Сороко; под ред. проф. И.П.Мухленова. Л.: Химия, 1989. - С.156-157), что позволяет при равной
20 производительности сократить затраты энергии, т.е. вести процесс с большей эффективностью.

Таким образом, предлагаемые способ и аппарат для обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями позволяют повысить эффективность процесса массообмена и снизить энергетические затраты за счет возможности реализации
25 резонанса, за счет снижения водооборота (в общем случае - расхода жидкости), повысить надежность работы аппарата за счет реализации выгрузки в плотном слое, без использования механических устройств, а также один из аспектов надежности - долговечность - за счет снижения износа.

30 Формула изобретения

1. Способ обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов жидкостями, заключающийся в подаче в аппарат твердых частиц и жидкости, осаждении частиц в жидкости и наложении пульсаций на образовавшуюся суспензию с последующей выгрузкой
35 выпавшего осадка в виде плотного слоя, отличающийся тем, что пульсации в суспензии возбуждают с частотой, близкой к частоте собственных колебаний системы, состоящей из суспензии и газонаполненного упругого элемента, амплитуду колебаний задают такой, чтобы скорость колебательного движения частиц относительно жидкости превышала скорость их свободного осаждения в неподвижной жидкости, при этом в суспензию вводят газ, а на выгружаемый слой осадка накладывают пульсации давления с помощью жидкости,
40 подаваемой в нижнюю часть слоя осадка, или газа, подаваемого в верхнюю часть осадка.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что в нижнюю часть выгружаемого слоя осадка импульсно вводят газ, причем импульсы ввода газа подают в конечной фазе импульсов давления жидкости, накладываемых на выгружаемый плотный слой осадка.

3. Аппарат для обработки мелкозернистых и порошкообразных материалов,
45 включающий вертикальный корпус, узлы подачи суспензии и разгрузки, один или несколько газонаполненных упругих элементов, присоединенных к нижней части корпуса, одну или несколько пульсационных камер, к которым подключен генератор колебаний суспензии, а также патрубки для подачи жидкости и газа, отличающийся тем, что он снабжен управляемыми клапанами для прерывания расходов жидкости и газа, соединенными с
50 генератором импульсов, а узел разгрузки выполнен в виде трубы, заканчивающейся разгрузочным патрубком.

4. Аппарат по п.3, отличающийся тем, что узел разгрузки снабжен коническим бункером с нижним разгрузочным патрубком и верхним патрубком, к которому подсоединен

управляемый клапан для подачи сжатого газа, а нижняя часть бункера выполнена проницаемой для жидкости и оборудована кольцевой камерой для подачи жидкости.

5. Аппарат по любому из п.3 или 4, отличающийся тем, что к разгрузочному патрубку подключен управляемый исполнительным механизмом запорный клапан, периодически герметично закрывающий и открывающий разгрузочный патрубок, причем управляемый запорный клапан снабжен внутренними каналами для подачи сжатого воздуха, в верхней части закрытыми защитным козырьком в виде конуса, присоединенного к клапану.

10

15

20

25

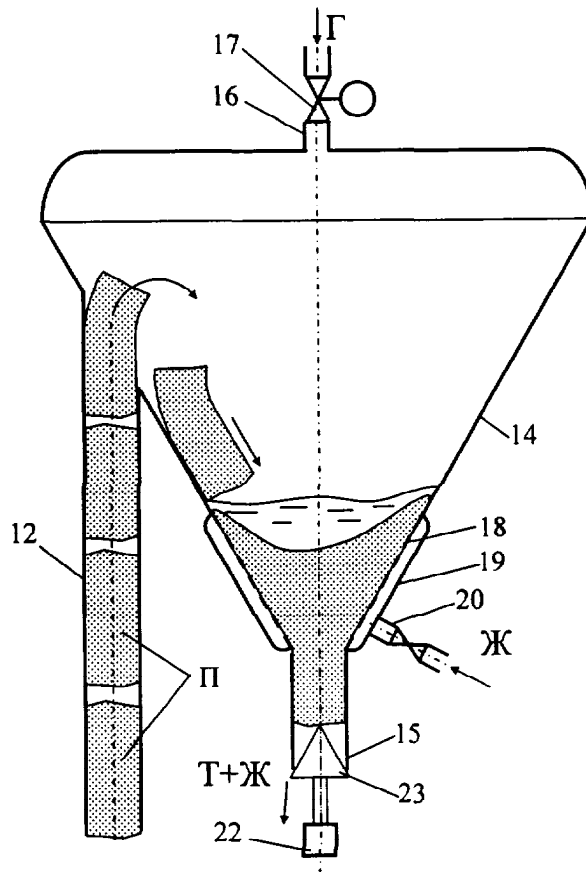
30

35

40

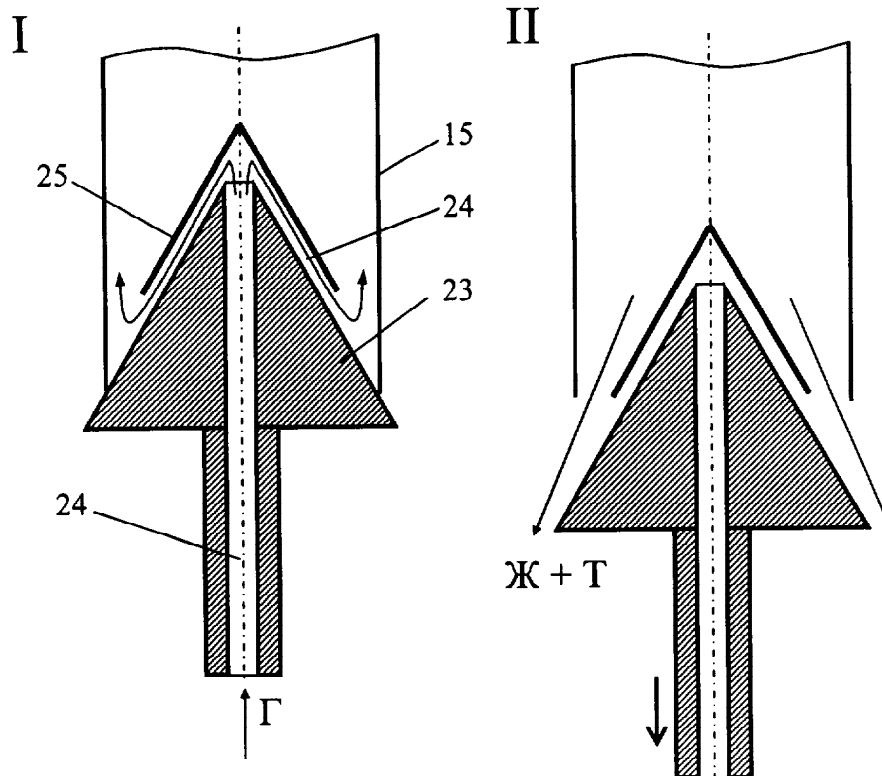
45

50

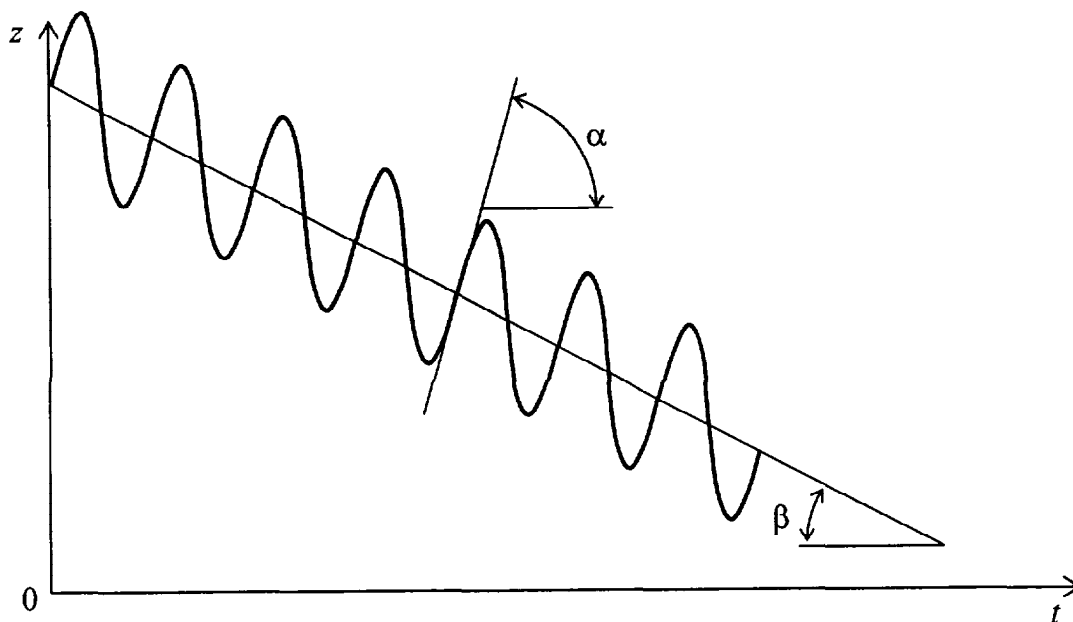


Фиг. 2

А



Фиг. 3



Фиг. 4