



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК666.9.022.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.025

 EDN: DABGYQ

РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ «МОКРОГО» ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Михаил Степанович Василишин¹, Олег Сергеевич Иванов²,
Анатолий Геннадьевич Карпов³, Сергей Сергеевич Титов⁴

^{1, 2, 3, 4} Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, Бийск, Россия
osi85@mail.ru

Аннотация. Приводится описание конструкции и принципа работы роторно-пульсационного аппарата (РПА), предназначенного для тонкого измельчения дисперсных пожаро- и взрывоопасных веществ в жидкой инертной среде. Для повышения эффективности обработки устройство ввода суспензии в рабочую камеру аппарата выполнено в виде насадка с цилиндрическим сопловым каналом. Насадок имеет коноидальную форму входа. Центральная часть ротора снабжена плоской отбойной пластиной с насечкой. Расстояние от среза соплового насадка до поверхности отбойной пластины составляет от 3 до 5 диаметров отверстия соплового насадка. Конструкция РПА исключает забивку рабочей камеры измельчаемым материалом. Отмечается, что аппарат обеспечивает эффективное измельчение дисперсных материалов, имеющих твёрдость до 5 единиц по шкале Мооса. При этом концентрация суспензии не должна превышать 15 % масс. Работоспособность аппарата, имеющего радиальный зазор между ротором и статором $0,1 \cdot 10^{-3}$ м, подтверждена при обработке водной суспензии сибунита с концентрацией твёрдой фазы 13,5 % масс. Установлено, что основная фракция измельчённых частиц имеет размер $(3-10) \cdot 10^{-6}$ м. Приводится микрофотография частиц после обработки в РПА. Отмечается, что полученный продукт имеет однородный дисперсный состав и может быть использован в качестве носителя для катализаторов гидрирования.

Ключевые слова: роторно-пульсационный аппарат, «мокрое» измельчение, сибунит, конструкция рабочей камеры, коноидальный насадок, отбойная пластина.

Для цитирования: Роторно-пульсационный аппарат для «мокрого» измельчения дисперсных материалов / М. С. Василишин [и др.] // Ползуновский вестник. 2024. № 1, С. 205–208. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.025. EDN: <https://elibrary.ru/DABGYQ>.

Original article

ROTOR-STATOR SYSTEM FOR «WET» GRINDING OF DISPERSE MATERIALS

Mikhail S. Vasilishin¹, Oleg S. Ivanov²,
Anatoly G. Karpov³, Sergey S. Titov⁴

^{1, 2, 3, 4} Institute for Problems Chemical and Energetic Technologies SB RAS, Biysk, Russia
osi85@mail.ru

Abstract. The description of a construction and work principle of rotor-stator system (RSS) intended for thin grinding of disperse fire- and explosive materials in a liquid inert medium is resulted. For raise of processing efficiency the suspension input equipment in the working chamber of the apparatus is executed in an aspect a nozzle with the cylindrical canal. Nozzle has conoed the entry form. The central part of a rotor is supplied by the flat bumper plate with a notch. From a shearing the nozzle to a bumper plate surface makes distance from 3 till 5 diameters of an aperture of nozzle. Design of RSS expels lodgment the working chamber a comminuted material. It is noted, that the apparatus pro-

© Василишин М. С., Иванов О. С., Карпов А. Г., Титов С. С., 2024

vides effective grinding of the disperse materials having hardness to 5 units on Moose's scale. Thus concentration of suspension should not exceed 15% of weights. Working capacity of the apparatus having a radial clearance between a rotor and the stator $0,1 \cdot 10^{-3}m$, is confirmed at processing of water suspension of sibunit with concentration of a solid phase of 13,5% of weights. It is established, that the basic fraction of the grinding particles has a size $(3-10) \cdot 10^{-6}m$. The microphotography of particles after processing in RSS is resulted. It is noted, that the gained product has homogeneous disperse composition and can be used in the capacity of the carrying agent for hydrogenation catalysts.

Keywords: rotor-stator system, "wet" grinding, sibunit, design of the working chamber, canoed nozzle, bumper plate.

For citation: Vasilishin, M.S., Ivanov, O.S., Karpov, A.G. & Titov, S.S. (2024). Rotor-stator system for «Wet» grinding of disperse materials // *Polzunovskiy vestnik*. 2024. (1), 205-208. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.025. EDN: <https://elibrary.ru/DABGYQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Субмикронные дисперсные материалы обладают комплексом полезных физико-химических, электрических и механических свойств [1], определяющих их широкое применение в различных областях современной техники. В результате операции тонкого измельчения достигаются большие значения удельной площади поверхности и значительно увеличивается поверхностная энергия частиц, что позволяет получать изделия на их основе с уникальными эксплуатационными характеристиками.

Промышленная реализация таких процессов, в частности, тонкого измельчения пожаро- и взрывоопасных веществ, выдвигает ряд требований к аппаратно-технологическому оформлению. Вследствие высокой чувствительности к трению и удару, их измельчение связано с определённым риском и по соображениям безопасности должно проводиться в дисперсионной среде, которая является по отношению к обрабатываемому материалу флегматизатором. При этом концентрация твёрдой фазы суспензии не должна превышать определённого безопасного уровня.

Операцию измельчения следует проводить по возможности в непрерывном режиме, чем обеспечивается устойчивое поддержание необходимых параметров обработки материала. Кроме того, применяемое оборудование должно быть малогабаритным и энергоэффективным, а также соответствовать требованиям безопасности.

Указанным условиям в определённой степени удовлетворяет процесс «мокрого» измельчения пожаро- и взрывоопасных материалов [2, 3], проводимый в водной среде в коллоидных мельницах различной конструкции. В таких устройствах суспензия многократно проходит через рабочую камеру мельницы и подвергается комплексному ударно-сдвиговому воздействию со стороны пере-

мешиваемой шаровой насадки. При обработке удаётся получать узкие фракции частиц материалов в диапазоне $(1-10) \cdot 10^{-6}m$.

Однако операция измельчения характеризуется большой продолжительностью (до 2-х часов) и при этом велика вероятность накопления обрабатываемого материала в рабочей камере мельницы, что снижает уровень безопасности процесса в целом.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Нами разработана конструкция многорядного роторно-пульсационного аппарата (РПА) проточного типа, предназначенного для «мокрого» измельчения дисперсных материалов [4]. Его устройство поясняет рисунок 1.

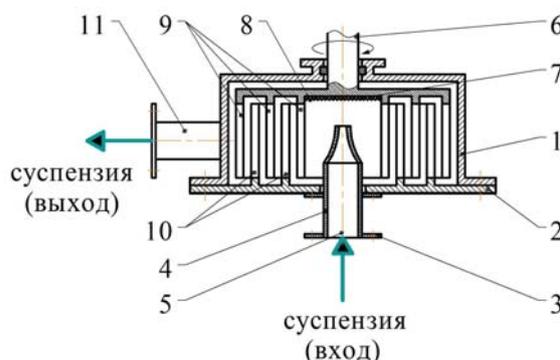


Рисунок 1 – Устройство роторно-пульсационного аппарата

Figure 1 – The device of the rotary pulsating apparatus

Аппарат включает в себя цилиндрическую рабочую камеру 1, снабжённую крышкой 2 с размещённым на ней устройством ввода обрабатываемой суспензии 3. Устройство выполнено в виде насадки 4 с цилиндрическим сопловым каналом 5, имеющим коноидальную форму входа.

В камере 1 аппарата расположен многорядный сменный ротор 6, вращение которого производится непосредственно от электродвигателя (на рисунке 1 не показан). В централь-

РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ «МОКРОГО» ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ной части ротора установлена плоская отбойная пластина 7 с нанесённой на её рабочую поверхность насечкой 8. В периферийной части ротора расположены три коаксиальных цилиндра 9, имеющих радиальные прямоугольные каналы для прохода суспензии.

На крышке РПА, концентрично по отношению к цилиндрам 9 ротора, размещены два цилиндра 10 статора, также имеющие радиальные прямоугольные каналы. Вывод суспензии из аппарата производится через патрубок 11 в обечайке его рабочей камеры. Аппарат снабжён комплектом сменных роторов, позволяющих получать три фиксированных значения радиального зазора между цилиндрами ротора и статора, равными $0,1 \cdot 10^{-3}$, $0,5 \cdot 10^{-3}$ и $1 \cdot 10^{-3}$ м соответственно. Привод РПА позволяет осуществлять плавное регулирование числа оборотов ротора в диапазоне 0–50 с⁻¹.

Разработанная конструкция позволяет проводить «мокрое» измельчение дисперсных материалов, имеющих твёрдость по шкале Мооса [5] до 5 единиц, при этом максимальная концентрация твёрдой фазы суспензии не должна превышать 15 % масс.

Работа аппарата происходит следующим образом. Обрабатываемая суспензия под избыточным давлением через устройство ввода 3, установленное на крышке 2, поступает в рабочую камеру 1 РПА. Формирование струи, определяющее её динамические характеристики, происходит при прохождении через насадок 4 с цилиндрическим выходным каналом 5. Коноидальная форма входной части соплового канала позволяет минимизировать потери

энергии струёй [6] и исключает забивку твёрдыми частицами. Технологический эффект измельчения дисперсного материала обеспечивается тем, что расстояние от среза соплового насадка до поверхности отбойной пластины находится в диапазоне от 3 до 5 диаметров отверстия насадка.

Выходя из насадка, затопленная струя расширяется и ударяет в рабочую поверхность отбойной пластины 7 с насечкой 8. Насечка имеет выступы высотой $(0,2-0,3) \cdot 10^{-3}$ м и шагом между ними $1 \cdot 10^{-3}$ м. Наличие насечки увеличивает площадь контакта твёрдой фазы с преградой в момент удара и делает его более эффективным. В результате ударов в частицах возникают центры понижения прочности [7, 8], приводящие в дальнейшем к их разрушению.

Далее, под действием центробежных сил, частицы суспензии проходят через периодически перекрывающиеся каналы в цилиндрах 9 ротора и 10 статора. Под действием ударных нагрузок со стороны рабочих органов РПА и знакопеременного давления дисперсионной среды частицы окончательно измельчаются, а суспензия выводится из аппарата через патрубок 11.

Эффективность работы РПА подтверждена его испытаниями в составе опытной установки [9] при «мокром» измельчении сибирского углеродного носителя (сибунита). Сибунит является синтетическим углеродным материалом, широко применяемым в качестве носителя в производстве, например, катализаторов гидрирования [10].

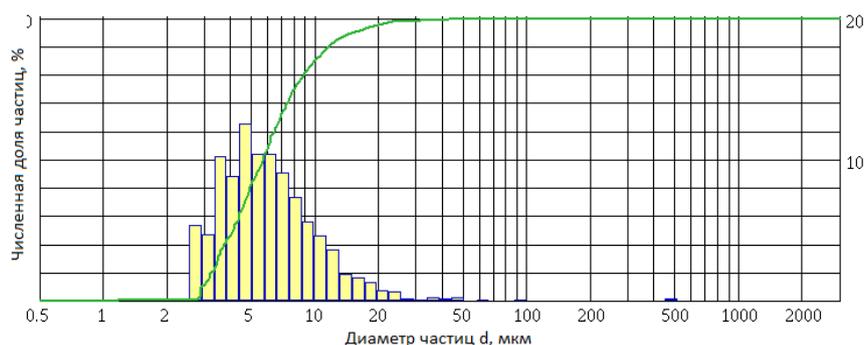


Рисунок 2 – Распределение частиц измельчённого сибунита по размерам
Figure 2 – Particle size distribution of crushed sibunite

Традиционная технология подготовки носителя предполагает получение фракции частиц с эквивалентным размером $d = (10-50) \cdot 10^{-6}$ м путём «сухого» измельчения исходного материала. Операция проводится с применением дезинтеграторного оборудования и считается потенциально опасной вследствие возможности взрыва образующейся пылевоздушной смеси.

В результате обработки в РПА водной суспензии сибунита с концентрацией твёрдой фазы 13,5 % (масс.) получены образцы измельчённого носителя. Эксперименты проводили в периодическом режиме при числе оборотов ротора РПА $n = 50$ с⁻¹ и величине радиального зазора между цилиндрами ротора и статора $\delta = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м. Дисперсный состав материала определялся микроскопическим

методом с использованием оптического анализатора размеров частиц РР9.1.

На рисунке 2 представлены данные по распределению частиц измельчённого сибунита по размерам после обработки в течение 600 с, что соответствует приблизительно 16 циклам циркуляции суспензии через рабочую камеру РПА. При этом основная фракция сибунита представлена частицами размером $d=(3-10) \cdot 10^{-6}$ м.

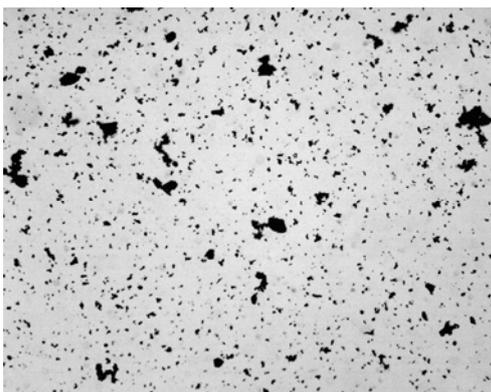


Рисунок 3 – Микрофотография измельчённых частиц сибунита (x120)

Figure 3 – Micrography crushed sibunit particles (x120)

На рисунке 3 представлена микрофотография измельчённых частиц сибунита (при увеличении x120). Полученный продукт отличается достаточно однородным дисперсным составом и может быть использован в качестве носителя для катализаторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанная конструкция роторно-пульсационного аппарата обеспечивает эффективное (без забивки рабочей камеры обрабатываемым материалом) и безопасное измельчение пожаро- и взрывоопасных дисперсных веществ в среде инертной жидкости.

Работа выполнена с использованием оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по технологии наночастиц / Пер. с англ.; научн. ред. Ярославцев А.Б., Максимовский С.Н. М. : Научный мир, 2013, 730 с.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 14 июня 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 05 марта 2024.

The article was received by the editorial board on 14 June 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 05 Mar 2024.

2. Gerber P., Zilly B., Teipel U. Feinzerkleinerung von Explosivstoffen // Proc. 29th Int. Annual Conference of ICT, Karlsruhe, 1998. s. 71 (1–12).

3. Mikonsaari J., Teipel U. Zerkleinerung Energetischer Materialien in wasrigen Suspensionen // Proc. 32nd Int. Annual Conference of ICT, Karlsruhe, 2001, s. 53 (1–12).

4. Пат. №2792356 РФ. МПК В01F25/72, В01F23/50, В01F27/40, В01F27/80. Роторно-пульсационный аппарат для диспергирования преимущественно в системах «жидкость-твёрдое» / Василишин М.С., Кухленко А.А., Иванов О.С. [и др.], опубл. 21.03.2023, бюлл. № 9.

5. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. М. : Химия, 1977, 368 с.

6. Пажи Д., Галустов В. Распылители жидкостей. М. : Химия, 1979, 216 с.

7. Ходаков Г.С. Физика измельчения. М. : Наука, 1972, 307 с.

8. Rumpf H., Faulhaber F., Schonert K. u.a. Zerkleinern // 1967. v. 57. s. 85.

9. Василишин М.С., Карпов А.Г., Кухленко А.А. [и др.] Установка с аппаратом роторно-пульсационного типа для обработки суспензий // Южно-сибирский научный вестник. 2022. № 6(46). С. 264–267.

10. Семиколенов В.А. Конструирование высокодисперсных палладиевых катализаторов на углеродных носителях // Журнал прикладной химии. 1997. Т. 70. Вып. 5. С. 785–796.

Информация об авторах

М. С. Василишин – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

О. С. Иванов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

А. Г. Карпов – научный сотрудник Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

С. С. Титов – кандидат технических наук, заведующий лабораторией Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН.

Information about the authors

M.S. Vasilishin - doctor of technical sciences, associate professor, main research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

O.S. Ivanov - candidate of technical sciences, senior research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

A.G. Karpov - research scientist of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.

S.S. Titov - candidate of technical sciences, laboratory chief of the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of SB RAS.