

УДК 66.021.1

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОУДАРНО-КАВИТАЦИОННОГО АППАРАТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ© И.В. Мещеряков¹

Сибирский федеральный университет,
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.

Рассмотрены конструктивные особенности предлагаемого гидроударно-кавитационного аппарата. Предложена классификация основных процессов, реализуемых в аппарате. В качестве примера применения аппарата в промышленности представлен технологический комплекс для интенсификации процессов обезжелезивания, дефосфоризации, десульфурации руд. Сформулированы перспективные направления применения аппарата в промышленности.

Ил. 5. Библиогр. 10 назв.

Ключевые слова: гидроударно-кавитационный аппарат; резонанс; измельчение; гомогенизация; гидроудар; интенсификация.

APPLICATION PROSPECTS OF HYDROPERCUSSION CAVITATION DEVICE IN INDUSTRY

I.V. Meshcheryakov

Siberian Federal University,
79 Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia.

The article deals with the design features of the proposed hydropercussion cavitation device. The classification of the basic processes implemented in the device is proposed. The technological complex for intensification of decoppering, dephosphorization and desulphurization of ores is presented as an example of device uses in industry. Promising industrial applications of the device are formulated.

5 figures. 10 sources.

Key words: hydropercussion cavitation device; resonance; grinding; homogenization; hydroblow; intensification.

Для проведения процессов активации, смешивания, измельчения и гомогенизации, составляющих основу технологических процессов приготовления рабочих жидкостей для различных отраслей промышленности, могут эффективно применяться гидроударно-кавитационные аппараты (ГКА) с разгонно-тормозным течением рабочей среды. В таком аппарате протекают гидромеханические процессы, которые осуществляются благодаря относительному движению щелей ротора и статора. Одним из основных факторов эффективной работы ГКА является форма поперечного сечения этих щелей и характер их движения [1].

ГКА эффективно используются в различных гидромеханических, химических, тепло-массообменных процессах. Аппарат оказывает многофакторное импульсное воздействие на обрабатываемый материал с целью получения стабильных, высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ, изменения физико-химических параметров, деструкции молекулярных соединений. ГКА характеризуются низкой удельной энерго- и металлоёмкостью при высоком качестве получаемого готового продукта. Высокая степень воздействия на обрабатываемую среду обеспечивается развитой интенсивной акустической импульсной кавитацией, большими сдвиговыми напряжениями, гидравлическими ударами и другими механическими воздействиями [2].

ГКА применяется для обработки систем «жидкость-жидкость», «жидкость-твёрдое» и «газ-жидкость» за счёт нескольких факторов воздействия:

- механическое воздействие на частицы обрабатываемой среды, заключающееся в ударных, срезающих и истирающих нагрузках при контактах с рабочими парами статор-ротор;

- гидродинамическое воздействие, выражающееся в больших сдвиговых напряжениях в жидкости, пульсациях давления и скорости потока жидкости;

- гидроакустическое воздействие на жидкость за счёт мелкомасштабных пульсаций давления, интенсивной кавитации, ударных волн и нелинейных акустических эффектов.

В аппарате осуществляется преобразование энергии низкой концентрации в энергию высокой локальной концентрации в неустойчивых точках структуры вещества. Пространственная и временная концентрация энергии позволяет получить большую мощность импульсного энергетического воздействия, совершить энергетическую накачку, высвободить внутреннюю энергию вещества, инициировать многочисленные квантовые, каталитические, цепные, самопроизвольные, лавинообразные и другие энергонасыщенные процессы [3].

Схема ступени ГКА представлена на рис. 1. Принцип действия аппарата следующий: обрабатываемая среда поступает под давлением в патрубок 2 и конфузор 10 в полость ротора 7, попадает на отражатель 11.

¹Мещеряков Иван Валерьевич, аспирант, тел.: 89232948864, e-mail: 550781@mail.ru
Meshcheryakov Ivan, Postgraduate, tel.: 89232948864, e-mail: 550781@mail.ru

Затем через щели 8 ротора 7 и щели 6 статора 5 проходит в камеру озвучивания 9 и выводится из аппарата через патрубок 4.

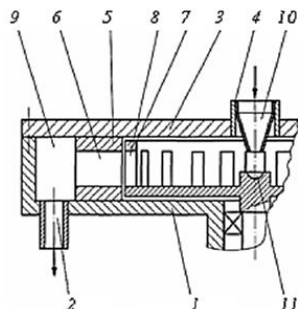


Рис. 1. Рабочая пара статор-ротор: 1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – крышка; 4 – выходной патрубок; 5 – статор; 6 – щели в боковых стенках статора; 7 – ротор со щелями в боковых стенках; 8 – щели в боковых стенках ротора; 9 – камера озвучивания; 10 – конфузор; 11 – отражатель

Обрабатываемая среда, проходя конфузор, значительно увеличивает скорость истечения и, попадая на отражатель, образует кавитационную полость. В полости ротора среда подвергается дополнительному акустическому воздействию при возникновении интенсивной кавитации. В аппарате также генерируются гидроакустические колебания, вызываемые периодически перекрывающимися щелями ротора и статора. Частота этих колебаний зависит от угловой частоты вращения ротора и числа щелей в роторе и статоре [4].

Процессы, происходящие в щели ротора и статора, показаны на рис. 2. Благодаря вращению ротора 1 обрабатываемый материал направляется лопастями к внешнему диаметру рабочей камеры 4. В момент перекрытия щели ротора корпусом статора 2 происходит гидроудар. При совпадении щелей ротора и статора материал поступает в эти щели и зазор 6. Форма щели статора способствует резкому расширению потока и появлению кавитационных пузырьков, разрушающих частицы и деструктивно воздействующих на материал.

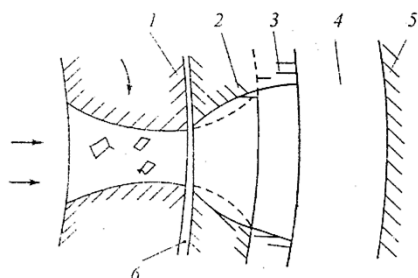


Рис. 2. Продольный разрез щели ротора и статора: 1 – ротор с резонаторной щелью; 2 – статор с расширяющейся щелью; 3 – упрочняющее кольцо; 4 – рабочая камера; 5 – корпус; 6 – зазор между ротором и статором

Особое влияние на рабочие характеристики аппарата оказывает зазор между ротором и статором в рабочей ступени. Доля центробежного давления в зазоре тем больше, чем больше величина самого за-

зора. Изменение величины зазора оказывает значительное влияние на величину объемного расхода, то есть с увеличением зазора для возникновения эффекта кавитации необходимы большие расходы обрабатываемой среды. Рост зазора сокращает пределы кавитационного режима работы. Зазор между ротором и статором ступени лежит в пределах 0,1–0,5 мм. При вращении ротора зазор изменяется на величину $\pm 2-5\%$ от его среднего значения, что достаточно для осуществления эффективного режима работы, необходимого для интенсификации проводимых технологических процессов. При выходе из зазора в рабочую камеру ротора обрабатываемая среда резко теряет скорость, а при входе в щели ротора скорость ее резко возрастает, что приводит к дополнительной турбулизации потока обрабатываемой среды [5].

Конструктивными особенностями ГКА является технологическая проточность благодаря многоступенчатости. Каждый элемент ступени установлен однонаправленно своими выходами к последующим ступеням. Количество щелей одной рабочей пары статор-ротор одинаково, но возрастает кратно в каждой из последующих ступеней от входного патрубка к выходному при неизменной пропускной способности каждой ступени. Наиболее активными рабочими зонами аппарата являются зазор между ротором и статором, а также щели статора [6].

Для увеличения пропускной способности всей конструкции щели ротора и статора по форме выполняются с одинаковым прямоугольным сечением. В целях повышения эффективности кавитационной обработки щели ротора и статора заключительных ступеней должны быть соответственно одинакового сечения, но уже близкими по форме к треугольным. В этом случае скорость изменения площади проходного сечения в момент закрывания щелей статора и ротора максимальна, максимальна и глубина импульса, возбуждающего кавитацию, а расход снижается – поэтому на единицу массы обрабатываемой среды приходится большее энергетическое воздействие [7].

При переходе обрабатываемого материала из одной ступени в другую кратно повышается давление, которое способствует увеличению частоты гидрокавитационных импульсов. Изменение частоты импульсов и их качества определяется конструкцией рабочих пар, кратно увеличением давления и частотой вращения ротора. Увеличение частоты способствует рассеянию и гомогенизации частиц в потоке. Дисперсность частиц увеличивается от ступени к ступени в соответствии с ростом резонансной частоты измельчения [8]. На эффективное разрушение частицы дополнительно оказывает влияние такой параметр, как резонансное разрушение частицы при нескольких последовательных гидроударных импульсах. Такие импульсы совпадают с частотой собственных колебаний частицы, что приводит к возникновению эффекта резонанса, который положительно влияет на процесс разрушения частицы [9].

Таким образом, эффективная работа ГКА определяется многими параметрами: числом, формой и размером щелей в статоре и роторе, пропускной способностью ступени, частотой вращения ротора, исходным размером поступающей на обработку частицы, давле-

нием в рабочей камере, силой гидроудара, интенсивностью диффузионного обмена между воздушной и жидкой средами, степенью кавитационного воздействия, достаточностью импульсов для резонансного разрушения частицы, частотами на разряжение в статоре и на сжатие в роторе.

При работе ГКА происходит целый ряд гидромеханических, массообменных и тепловых процессов, которые реализуются комплексно или самостоятельно, в зависимости от заданных параметров [10]. Классификация технологических процессов, реализуемых в ГКА, приведена на рис. 3.

Технологии и технологические комплексы на базе ГКА позволяют получать высококачественные активные растворы, эмульсии, экстракты, помолы и суспензии. В технологический комплекс кроме ГКА входит стандартное оборудование для дозирования, нагнетания и подачи жидкостей и компонентов продукта, их нагрева и охлаждения, приборы контроллинга и учёта, ёмкости предварительного смешивания и временного хранения компонентов. Технологический комплекс для интенсификации процессов обезмеживания, дефос-

форизации, десульфурации руд приведен на рис. 4.

Предварительно подготовленные материалы подают в рециркуляционную ёмкость 6, где происходит процесс перемешивания жидкой и твёрдой составляющей. Тщательно перемешанную композицию подают на вход ГКА 1, который последовательно в процессе работы в каждой из ступеней доизмельчается, попадает в поле кавитационных и гидроударных разрушающих импульсов. В аппарате происходит интенсификация процесса обезмеживания, дефосфоризации, десульфурации обрабатываемой руды, а также её активация и диспергирование. После этого обработанная среда поступает в накопительный резервуар 6 и далее – в технологический процесс производства.

В настоящее время существует огромный потенциал возможности применения ГКА в промышленности с широким спектром номенклатуры производства. Технологические комплексы на базе аппарата проектируются таким образом, чтобы были задействованы и давали наибольшую отдачу основные факторы воздействия на обрабатываемую среду. Перспективные направления применения ГКА приведены на рис. 5.



Рис. 3. Схема классификации технологических процессов, реализуемых в ГКА

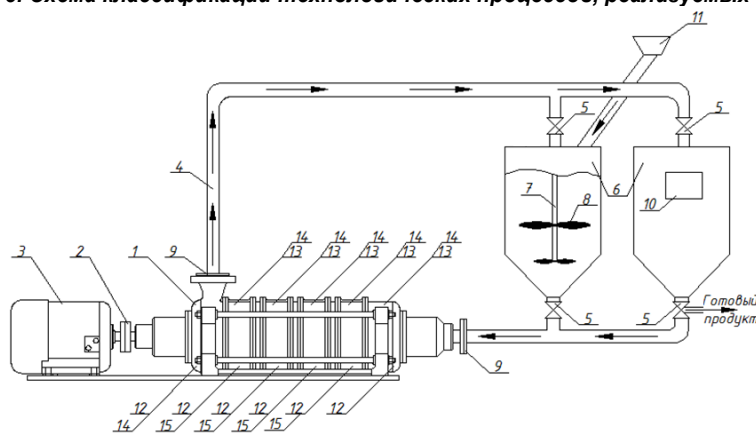


Рис. 4. Технологический комплекс для интенсификации процессов обезмеживания, дефосфоризации, десульфурации руд на базе ГКА: 1 – ГКА; 2 – соединительная муфта; 3 – электродвигатель; 4 – трубопроводная арматура; 5 – вентили; 6 – ёмкость рециркуляции обрабатываемой среды; 7 – вал мешалки; 8 – импеллер мешалки; 9 – фланец; 10 – смотровое окно; 11 – дозатор подачи обрабатываемой среды; 12 – кавитометр; 13 – манометр; 14 – расходомер; 15 – датчик контроля оборотов

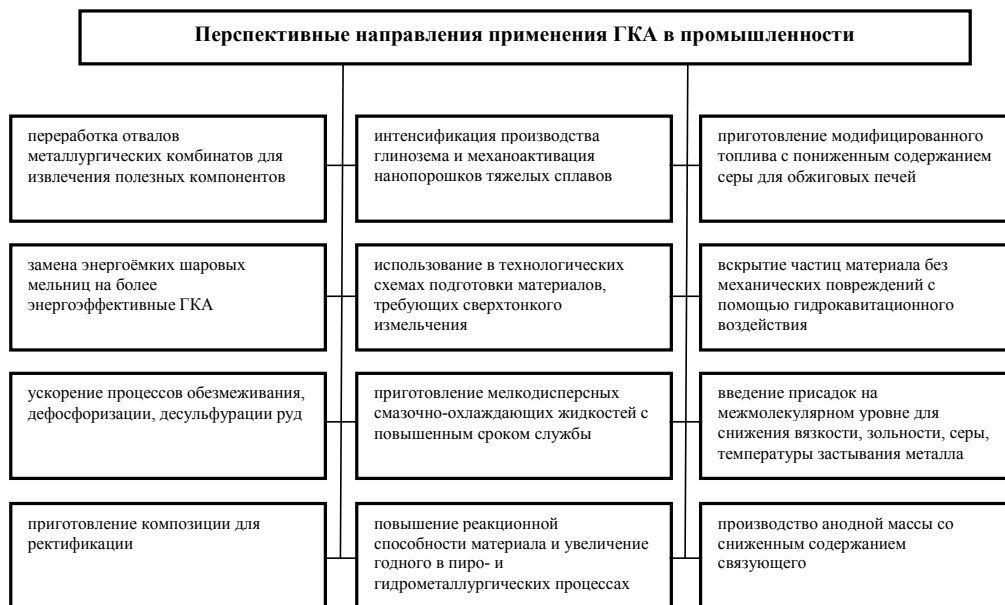


Рис. 5. Схема перспективных направлений применения ГКА в промышленности

В крупном производстве, а также, когда оправдано применение аппарата для проведения только одного технологического процесса, наиболее эффективным является использование специально спроектированного ГКА для конкретного технологического процесса. Благодаря целому ряду технологических процессов,

реализуемых комплексно или самостоятельно в ГКА, составленный перечень перспективного применения технологического комплекса на базе данного аппарата в промышленности довольно разнообразен и неокончателен.

Библиографический список

1. Мещеряков И.В. Применение многоступенчатого проточного устройства для активации материалов анодной массы в процессе её производства // Молодежь и наука: сборник материалов студенческой конференции [Электронный ресурс]. [conf.sfu-kras.ru]. [2010]. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2010/pdf/16/71.pdf> (дата обращения 28.04.2012).
2. Червяков В.М. Теоретические основы методов расчёта роторных аппаратов с учётом нестационарных гидродинамических течений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: Машиностроение, 2007. 35 с.
3. Промтов М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. 2008. Т.14, вып. 4. С.861–869.
4. Червяков В.М., Однолько В.Г. Использование гидродинамических и кавитационных явлений в роторных аппаратах: монография. М.: Машиностроение, 2008. 116 с.
5. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра, 1992. 176 с.
6. Гидроударно-кавитационный диспергатор для приготовления углерод-углеродных композиций: пат. 2317849 РФ / Фризоргер В.К., Анушенков А.Н., Храменко С.А.. Оpubл. 2008, Бюл. № 6.
7. Зимин А.И. Прикладная механика прерывистых течений. М.: Фолиант, 1997. 308 с.
8. Анушенков А.Н., Ростовцев В.И., Фризоргер В.К. Модификация пека в гидроударно-кавитационном поле // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2009. Т. 5. С.110–118.
9. Мещеряков И.В., Анушенков А.Н. Определение основных параметров многоступенчатого гидроударно-кавитационного устройства // Современная техника и технологии [Электронный ресурс]: [technology.snauka.ru]. [2012]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/04/568> (дата обращения 28.04.2012).
10. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. 260 с.