

**Б.В. ВИНОГРАДОВ**, докт. техн. наук, УГХТУ

**Д.А. ФЕДИН**, канд. техн. наук, УГХТУ, г. Днепропетровск

## **СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОГИДРОИМ-ПУЛЬСНОЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Надано критичний аналіз способам зменшення питомих витрат енергії на тонке подрібнення матеріалів з використанням ефекту Юткіна. Визначено перспективні напрямки розвитку електрогідроімпульсної техніки для подрібнення. Приведео математичну модель імпульсного електричного розряду у обмеженому об'ємі рідини у акустичному наближенні.

The critical analysis of ways of electric discharge high grinding specific energy reducing is presented. The most perspective ways of electric discharge high grinding devices development are defined. The mathematical model of electric discharge at bounded volume is presented.

**Введение.** Высоковольтный импульсный электрический разряд (ВИЭР) представляет собой эффективный способ механического воздействия на объекты, помещенные в жидкость. Слой жидкости, находящийся между разрядным промежутком и объектом воздействия, работает как трансформатор мощности. Накопленная в течение времени зарядки конденсаторов энергия высвобождается за время порядка 10 – 100 мкс и частично затрачивается на образование канала разряда, высокоскоростное расширение которого сопровождается излучением ударной волны – основного фактора разрушающего воздействия на твердые частицы. Кроме того, за счет высокой температуры плазменного канала образуется парогазовая полость с высоким давлением содержимого, расширение которой создает импульс давления, длительность которого на несколько порядков больше длительности импульса давления в ударной волне. Полученная мощность позволяет совершать механическую работу по тонкому и сверхтонкому измельчению таких сверхтвердых материалов, как синтетические алмазы, карбиды и другие. Считается, что около 50% выделившейся в энергии затрачивается на образование полости, что приводит к непроизводительным потерям энергии и увеличению удельных энергозатрат на получение порошков. Поиск путей снижения удельных энергозатрат на электрогидроимпульсное (ЭГИ) измельчение является актуальной задачей.

**Обзор способов снижения удельных затрат энергии.** Перспективным способом снижения удельных энергозатрат на ЭГИ измельчение является использование энергии разрядной полости. Полость расширяется в ограниченном объеме жидкости. Сила, с которой сжатая жидкость действует на стенки разрядной камеры, может быть использована для перемещения мелящих тел в дополнительной камере дробления.

Импульс сжатия в разрядной камере деформирует мембранную перегородку между основной камерой сверхтонкого измельчения и дополнительной камерой дробления исходного материала (рис. 1, а). Колебания мембранной перегородки приводят к перемещению мелящих тел и дроблению крупных частиц ударом и истиранием. За счет более полного использования энергии ВИЭР общие затраты энергии на получение готового продукта уменьшаются.

Однако, как показали экспериментальные исследования [1], более эффективно для передачи импульса мелящим телам использовать конструкцию камеры с подвижным контейнером, днище которого снабжено отверстиями (рис. 1, б). Под действием ВИЭР, происходящих с определенной частотой, контейнер совершает колебания, в результате чего происходит измельчение материала.

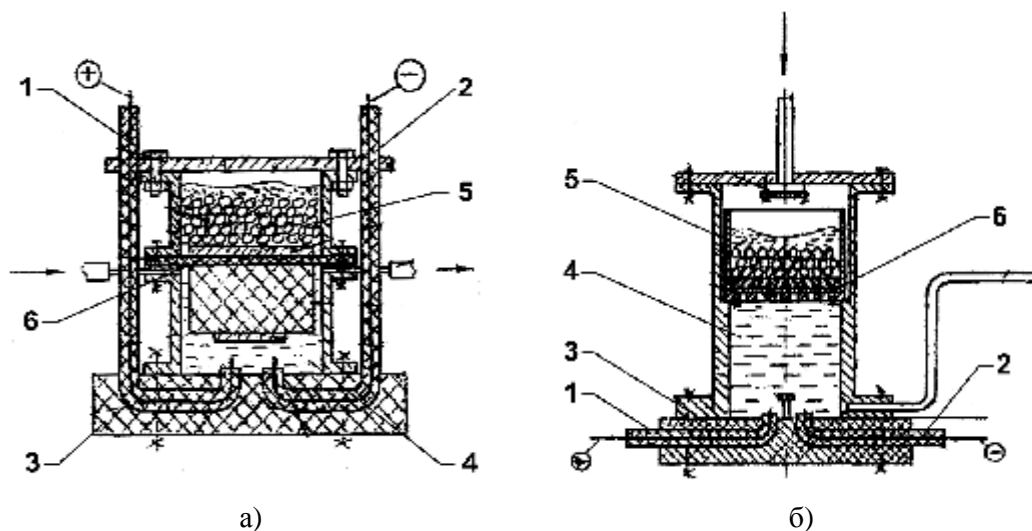


Рис. 1. Разрядные камеры с дополнительной камерой измельчения:

- 1 – положительный электрод; 2 – отрицательный электрод;
- 3 – изоляционная основа; 4 – камера сверхтонкого измельчения;
- 5 – дополнительная камера измельчения;
- 6 – мембрана (рис. 1, а)/контейнер с отверстиями (рис. 1, б).

В процессе измельчения исходного материала в дополнительной камере

образуются мелкие частицы, размер которых меньше размера отверстий. Перемешиванию слоя материала способствуют высокоскоростные струи, образующиеся при прохождении жидкости через отверстия. Мелкая фракция частиц проникает в камеру основного измельчения. Такая конструкция позволяет совместить в одном устройстве две стадии измельчения без увеличения затрат энергии.

Приведенные выше конструкции разрядных камер позволяют снизить удельные затраты энергии на получение готового класса частиц. Однако вследствие высоких ускорений при импульсном воздействии значительная часть энергии расходуется на преодоление сил инерции, действующих на движущиеся части конструкции. В результате КПД гидромеханического преобразователя остается низким [2].

Решением данной проблемы видится другой способ снижения удельных энергозатрат на ЭГИ измельчение, который заключается в использовании энергии разрядной полости для формирования высокоскоростных потоков жидкости. Расширяющаяся в разрядной камере полость подобно поршню стремится вытолкнуть жидкость из камеры, что позволяет использовать данный эффект для создания ЭГИ насоса [3]. С другой стороны, в институте механики НАН Украины разработана и успешно испытана кавитационная мельница, рабочим органом которой является кавитационный генератор, представляющий собой местное сопротивление в форме трубки Вентури [4]. Для перемещения суспензий через кавитационный генератор мельницу необходимо оборудовать высоконапорным насосом, что весьма проблематично. Применение ЭГИ насоса в качестве напорного насоса, развивающего давление порядка (2 – 5) МПа для перекачивания абразивных гидромеханических смесей, представляет особый интерес.

На данном принципе разработаны ЭГИ камеры с кавитационным генератором [5]. В качестве ЭГИ насоса может быть использовано устройство сходящихся ударных волн, которое состоит из двух разрядных систем, представляющих собой электрод-трубку и образующую разрядную камеру. Трубки установлены таким образом, что между их осями образуется угол  $110^\circ$ , а за торцевыми срезами создается V-образная полость.[6]. Генератор сходящихся ударных волн успешно испытан на ЭГИ установке «Микрон-2», предназначенной для измельчения каолина до размера частиц 1 – 2 мкм. При синхронном разряде в обеих электродных системах с частотой 15 Гц ударные волны взаимодействуют в средней зоне камеры и обеспечивают выход частиц као-

лина размером 1 – 2 мкм в количестве 85 %. Образующаяся кумулятивная струя жидкости выносит борабатываемую суспензию через осевой патрубков, обеспечивая доизмельчение частиц за пределами камеры до количества 95 %. При этом подача насоса ЭГИ установки увеличивается на 20 – 25 % [6].

Очевидно, что выбор рационального гидравлического сопротивления на выходе ЭГИ насоса и организация кавитационных колебаний позволит повысить интенсивность измельчения.

На рис. 2 показана принципиальная схема устройства для тонкого и сверхтонкого измельчения [5]. Здесь суспензия, твердую фазу которой необходимо измельчить, из емкости 1 подается в каждую из двух разрядных камер 4. При периодических разрядах между электродами 3 и электродами трубок 4 возникают ударные волны, которые взаимодействуют в средней зоне камеры 2.

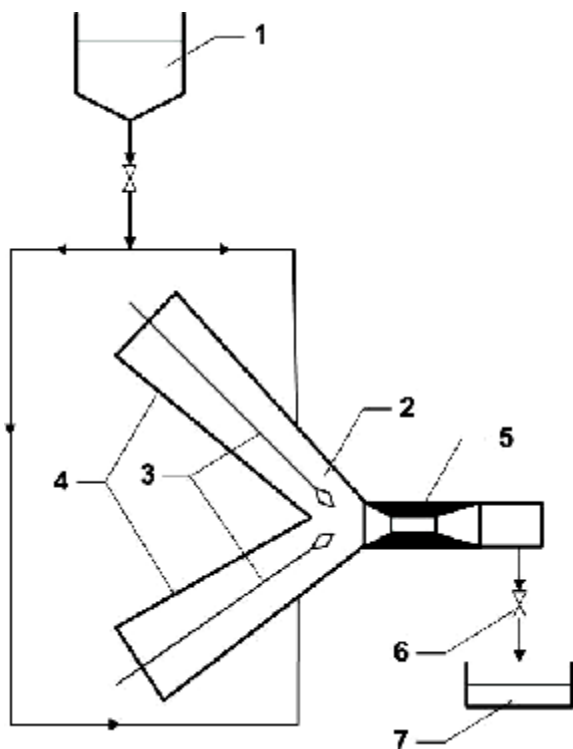


Рис. 2. Принципиальная схема ЭГИ установки для сверхтонкого измельчения материалов:  
1 – емкость; 2 – камера сходящихся ударных волн; 3 – электроды; 4 – электродная трубка; 5 – генератор кавитационных автоколебаний; 6 – регулировочный вентиль; 7 – емкость продукта.

В результате образуется обратная волна разрежения и жидкость кавитирует по всему объему. Измельчение твердой фазы происходит под действием кавитации, взаимодействия струй и прохождения ударных волн. Одновременно кумулятивная струя жидкости проходит через горловину кавитационного генератора 5.

Экспериментальные исследования показали, что при определенном диаметре горловины и угле раскрытия диффузорной части трубки Вентури, а также давлениях на входе и на выходе образуются кавитационные полости, которые растут до максимального размера и отрываются от диффузорной части [4]. Процесс отрыва и схлопывания каверен происходит строго периодически с частотой в несколько сотен герц. Таким обра-

зом, твердая фаза суспензии подвергается дополнительному кавитационному воздействию, что приводит к ее доизмельчению.

**Обзор математических моделей.** Основной трудностью математического описания гидродинамических процессов в указанных устройствах является существенно различные временные масштабы явлений. Время существования ударной волны порядка  $10 \tau$ , где  $\tau$  – время разряда. Вследствие кратковременности импульс ударной волны не приводит к значительному перемещению жидкости и может не учитываться. Время существования разрядной полости составляет  $10^2 - 10^3 \tau$ . Вследствие большой длительности импульса разрядная полость вызывает интенсивное перемещение жидкости и подвижных частей.

Пренебрегая потерями можно записать уравнение баланса энергии разрядной полости в виде:

$$p \frac{dV}{dt} + \frac{1}{g-1} \frac{dpV}{dt} = N(t), \quad (1)$$

где  $N(t)$  – функция, описывающая закон ввода мощности в канал разряда,  $p$  – давление в полости,  $V$  – объем полости,  $\gamma$  – показатель адиабаты.

Используя уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости и предположение о безвихревом течении можно получить дифференциальное уравнение движения сферической полости в жидкости:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{r_0} \left( p_0 - E \ln \left( \frac{V_K - V_r}{V_K - V_r^0} \right) - p \right) = 0, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус полости,  $\rho_0$ ,  $p_0$  – плотность и давление в жидкости при нормальных условиях,  $E$  – модуль упругости жидкости,  $V_K$ ,  $V_r$  – объем разрядной камеры и полости в текущий момент времени.

Решение уравнения (1) совместно с уравнением (2) позволяет рассчитать основные параметры полости и жидкости в зависимости от времени при известном законе ввода мощности.

Разработанная модель в акустическом приближении позволяет оценить величину амплитуды и длительности импульса сжатия, возникающего в ог-

раниченном объеме жидкости при ВИЭР, и, следовательно, определить параметры разряда, при которых электрическая энергия более полно преобразуется в механическую работу.

**Список литературы:** 1. *Виноградов Б.В.* О кинетике измельчения электрогидроимпульсным способом в камерах с помольными телами / *Б.В. Виноградов, В.И. Емельяненко* // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – №. 26. – С. 75 – 79. 2. *Виноградов Б.В.* О динамике вертикальной виброимпульсной мельницы / *Б.В. Виноградов, Б.В. Швец* // Хімія і сучасні технології: II Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп. – Дніпропетровськ: ІнКомЦентр. – 2007. – С. 257. 3. *Спасский К.Н.* Новые насосы для малых подач и высоких напоров / *К.Н. Спасский*. – М.: Машиностроение, 1972. – 160 с. 4. *Пилипенко В.В.* Исследование высокочастотных колебаний в насосных системах / *В.В. Пилипенко, В.А. Задонцев, И.К. Манько, В.И. Довготько*. – Киев: Нау-кова думка, 1976. – 113 с. 5. *Пат. 83274 А* Україна, МКИ В 02С 19/18. Пристрій для здрібнення твердих порошкових матеріалів / *Виноградов Б.В.* (Україна); заявник і патентовласник Український державний хіміко-технологічний університет. – № 200607708; Заявл. 10.07.2008; Опубл. 25.06.2008; Бюл. № 12. 6. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / под ред. Г.А. Гулого. – М.: Машиностроение, 1977. – 320 с.

*Поступила в редколлегию 25.06.09*

УДК 542.971.3:539.217.1:54.138

*Д.А. КУТАКОВА*, канд. техн. наук, *Н.М. САРАНЧА, И.Б. ИЛЬЕНКО, Д.А. ТЮЛЬПИНОВ*, ГП „Институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза”, г. Северодонецк

## **К ВОПРОСУ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ АЭРОЗОЛЬНОГО КАТАЛИЗА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ**

Відомо, що відходи підрозділяються на 5 класів небезпеки. Відходи хімічних виробництв ставляться до першого двох класам небезпеки – високо й надзвичайно небезпечні суміші, як правило, органічних сполук. Небезпека відходів визначається їхніми фізико-хімічними властивостями, а також умовами їхнього зберігання, або розміщення в навколишнім середовищі.

It is known that wastes are subdivided into 5 classes of danger. Wastes of chemical productions behave to the first two classes of danger – highly and extraordinarily dangerous mixtures, as a rule, organic compounds. The danger of wastes is determined their physical and chemical properties, and also terms of their storage, or placing in an environment.