

# Оптимизация процесса тонкого электроразрядного диспергирования

<sup>\*,\*\*</sup> А. П. Малюшевская, П. П. Малюшевский

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
г. Николаев, 54018, Украина, \*e-mail: [dpta@ipt.com.ua](mailto:dpta@ipt.com.ua); \*\*e-mail: [ninutsa@ukr.net](mailto:ninutsa@ukr.net)*

Поступила 19.11.2018

После доработки 12.02.2019

Принята к публикации 13.02.2019

Приводятся результаты исследований по тонкому диспергированию электрическими разрядами в водной среде предварительно измельченных оксидов редкоземельных элементов. Показана возможность получения частиц оксидов размером менее одного микрометра, в том числе из крупных блоков ранее коагулировавших частиц оксидов. Показана целесообразность выбора такого взаиморасположения зоны генерирования волн давления и импульсных гидропотоков, при которых возникают локальные области интенсивной электроразрядной кавитации, обеспечивающей диспергирование. Предложена концепция эффективной электроразрядной камеры-диспергатора.

*Ключевые слова:* электроразрядное диспергирование, подводный электрический разряд, дисперсная среда, электроразрядная кавитация, электроразрядная камера, оксид иттрия, коагуляция.

УДК 537.528:621.762.2

DOI: 10.5281/zenodo.3244414

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие современной техники ставит задачу освоения процессов, характеризующихся большими концентрациями энергии, высокими давлениями и температурой. Многолетние исследования физических основ электрического разряда в жидкости и газах [1–5] показали, что этого способа воздействия на вещество перспективно для использования в химико-технологических процессах, процессах металлообработки, разрушения неметаллических материалов, воздействия на дисперсные системы и позволяет значительно их интенсифицировать. Одним из важных преимуществ электроразрядного способа интенсификации является его управляемость и сравнительная простота встраивания стадии электроразрядной обработки в существующие технологические процессы. Однако современные требования к росту эффективности и рентабельности производства ставят перед исследователями новые научные и инженерные задачи.

Так, например, при исследовании разрядно-импульсного процесса получения тонкодисперсных суспензий из оксида иттрия, который используется в качестве лигатуры для легирования алюминиевых сплавов, эмиттерной суспензии для покрытия катодов ламп типа ДРЛ, а также для люминофорных систем на основе водорастворимых связующих, разработчики столкнулись с явлением «приостановки» процесса измельчения частиц после достижения ими размера около 5 мкм. Вероятно, это связано

с тем, что в воде, активируемой некоторыми электроразрядными факторами, а именно комплексом ударно-волновых воздействий и влиянием электромагнитных полей, и, собственно, в самой водной суспензии оксида иттрия развиваются процессы коагуляции [6]. Вследствие этого в суспензии одновременно происходит не только дезинтеграция твердой составляющей, но и быстрое слипание частиц уже измельченного материала до сравнительно крупноразмерных конгломератов. Использование же оксида иттрия для вышеназванных применений предъявляет особые требования к форме и размерам измельченных частиц. Частицы после обработки должны иметь округлую форму с линейными размерами около одного микрометра, а содержание пылевой составляющей нужно свести к минимуму, следовательно, произвольно выбранный режим электроразрядной обработки водно-оксидной суспензии не является оправданным.

Тем не менее электроразрядное измельчение оксида иттрия имеет ряд преимуществ по сравнению с механическим. В частности, разрушение первоначально крупных частиц оксида иттрия (как и оксидов других редкоземельных элементов) происходит по плоскостям спайности и при правильно выбранном режиме электроразрядной обработки частицы приобретают окатанную форму, одновременно отличаясь чистотой зерен. Как показали предварительные исследования, электроразрядное диспергирование оксида иттрия даже в произвольно выбранном режиме практически исключает

появление переизмельченных (пылевидных) частиц. Однако необходимо учитывать, что ввиду исходной малости частиц главную работу электроразрядного диспергирования выполняет электроразрядная объемная кавитация [7, 8], и это обстоятельство должно принципиальным образом влиять на выбор режима обработки.

С точки зрения промышленного применения самым логичным и удобным является непрерывный процесс измельчения оксида иттрия в отдельных электроразрядных камерах, соединенных в линию с помощью трубопровода. В объеме жидкости электроразрядной камеры после каждого электрического разряда (в результате взаимодействия прямых и отраженных от ее стенок и свободной поверхности жидкости волн сжатия-растяжения) формируется неравномерное поле давлений. Этими полями давления и возбуждается мощная объемная кавитация, когда каждый кавитирующий пузырек при пульсациях и схлопывании генерирует интенсивные ударные, с очень коротким передним фронтом волны, наиболее эффективные для тонкого измельчения взвешенных в жидкости твердых частиц. Поле давлений в разрядной камере естественным образом неравномерно, вследствие чего неоднородными являются и кавитационные области в реакторе. Только некоторая часть таких кавитационных областей является эффективной для тонкого измельчения. Именно в такие зоны следует направлять потоки жидкости, несущие взвесь твердых частиц для их тонкого диспергирования. Настоящая работа нацелена на изучение конфигурации полей давлений и сформированных ими областей кавитации в разрядной камере для повышения эффективности процесса электроразрядной дезинтеграции в целом.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для решения поставленной научно-технической задачи важно знать не только гидродинамику импульсных потоков жидкости [9], порождаемых электрическими разрядами, но и направление общего движения потока, несущего взвешенные частицы. Последнее обстоятельство может быть сравнительно легко контролируемым за счет взаиморасположения конструктивных элементов разрядной камеры.

Описываемые исследования были выполнены на образцах оксидно-водных взвесей (см. рис. 1), отобранных из реакторов, где в процессе электроразрядного диспергирования произошла «приостановка» измельчения твердой фазы, то есть во взвеси находились частицы с размерами, превышающими пять микрометров.



**Рис. 1.** Образец водной суспензии частиц оксида иттрия, недоизмельченных при произвольно выбранном режиме электроразрядной обработки.

Обрабатываемая суспензия представляла собой водно-оксидную взвесь из вновь образовавшихся за счет активной коагуляции частиц и была получена предварительной электроразрядной обработкой такой исходной смеси: частицы оксида иттрия от 40 до 60 мкм, вода техническая, массовое соотношение жидкой и твердой фаз 10:1. Исходная смесь была обработана электроразрядами в произвольно выбранном режиме, где основным условием было постоянство энергии в единичном импульсе – 125 Дж. Размер активной зоны разрядной камеры выбирался, исходя из радиуса послеразрядной полости, возбуждаемой единичным разрядом, который рассчитывался согласно [9]. Для вышеописанных условий обработки цилиндрическая разрядная камера имела диаметр 250 мм и общую высоту 400 мм. Линейная противостоящая электродная система типа «стержень-стержень» была выполнена подвижной по высоте и могла располагаться от поверхности дна электроразрядной камеры на расстоянии от 100 до 250 мм. Обеспечивалось также положение свободной поверхности обрабатываемой суспензии на расстоянии 25 мм от крышки реактора.

Как показано в [7, 8], при электрическом разряде в водной суспензии возникает кавитация, выполняющая работу дезинтеграции гидратированных первоначально только снаружи, образовавшихся за счет коагуляции конгломератов частиц оксида иттрия, и превращающая их в более мелкие. Вследствие этого предполагалось повысить активность суспензии в процессах легирования и нанесения на поверхности. Прогнозировалось также увеличение способности суспензии проникать в поры материала подложки за счет изменения структуры воды, происходящего одновременно с диспергированием и активацией частиц оксида иттрия. Согласно [6, 10] при воздействии на водные среды всего комплекса электроразрядных факторов в структуре воды происходят деформация и разрушение водородных связей между

молекулами и ковалентных связей между атомами водорода и кислорода, причем на всех стадиях разряда: предпробойной, канальной и послеразрядной (кавитационной при соблюдении определенных условий). Известно [11], что в результате электроразрядной обработки воды более 70% Н-связей между молекулами оказываются разорванными (такое состояние сравнимо с состоянием воды, нагретой до высокой температуры) и покрытие, выполненное из водной суспензии на основе такой активированной жидкости, может иметь существенно (на 20–25%) увеличенную прочность [12]. Ионы  $H^+$  и  $OH^-$  из-за их меньших размеров и большей, чем у молекул воды, подвижности легче проникают в микротрещины, поры и другие дефекты оксидных конгломератов, способствуя дополнительному диспергированию оксида, вовлекая большее количество оксида в реакции гидратации. Кроме того, возникновение электроразрядной кавитации может влиять на вязкость воды [13, 14], что также будет способствовать более плотной упаковке частиц оксида на поверхности – подложке.

Таким образом, необходимость оценки конфигурации и интенсивности поля давлений, а также областей кавитации в активном пространстве электроразрядной камеры, как результата взаимодействия волновых процессов, очевидна. Подробно исследование динамики жидкости в закрытой разрядной камере приведено в [15, 16], а в данной работе были использованы только необходимые для решения поставленной задачи фрагменты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поскольку интенсивность электроразрядной кавитации определяется в первую очередь количеством газовой фазы, выделившейся в предпробойный период, то предпочтительны электрические разряды, осуществляемые при рабочем напряжении от 15 до 30 кВ, так как для этого диапазона пробой происходит по тепловому механизму со значительным выделением газов в разрядный промежуток. При росте рабочего напряжения свыше 30 кВ начинается быстрое снижение интенсивности электроразрядной кавитации по мере перехода к электрическому механизму пробоя, который характеризуется низким газовыделением в разрядном промежутке [17].

В разрядных камерах условия электрического взрыва соответствуют «взрыву в мелкой воде», поэтому электроразрядная кавитация должна развиваться не только благодаря наличию отражающей свободной поверхности жидкости, но и за счет наличия других отражающих

поверхностей, которые являются одновременно нижней (донной) частью разрядной камеры и его стенками. Приведенная на рис. 2 схема расчетной области представляет собой сечение разрядной камеры осевой плоскостью – активную зону.

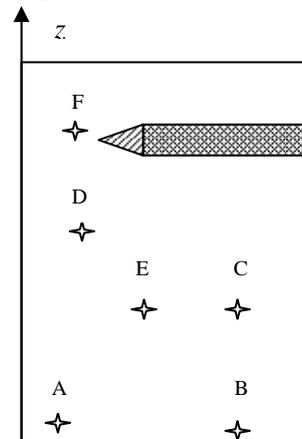


Рис. 2. Схема расчетной области активной зоны разрядной камеры.

В исследуемом осесимметричном пространстве необходимо было оценить влияние дна и стенок активной зоны разрядной камеры на процесс зарождения, развития, а также интенсивность кавитации. Точка *A* размещалась в придонной части камеры, практически на оси исследуемого пространства, в середине длины разрядного промежутка, в условном эпицентре электрического взрыва. Точки *B* и *C* выбирались из соображений необходимости оценки влияния донной части и стенок разрядной камеры на поле давлений, возбуждаемое при каждом электрическом разряде в активной зоне. Здесь, естественно, ожидалась наиболее интенсивная первичная волна давления. Точка *D* размещалась на оси активной зоны разрядной камеры под разрядным промежутком на расстоянии от оси, соответствующем величине радиуса послеразрядной полости. Точка *E* была помещена в плоскости поперечного сечения активной зоны разрядной камеры в пределах досягаемости прямых первичных волн давления подводного электровзрыва и равноудаленно от точки *C*. И, наконец, точка *F* находилась у свободной поверхности жидкости в приосевой зоне, здесь ожидалось наиболее активное взаимодействие прямых и отраженных волн давления при подводных взрывах.

Исследование динамики жидкости в закрытой разрядной камере проводилось с использованием допущения о безвихревом характере течения идеальной сжимаемой жидкости, соответствующем электрическим разрядам в воде. Предложенный подход значительно упрощает алгоритм расчета, позволяя

свести решение задачи к одному нелинейному уравнению относительно потенциала скорости. Алгоритм расчета распространения в замкнутом объеме гидродинамических волн, образующихся при электрическом взрыве в воде [18], был построен при следующих допущениях: среда в канале разряда рассматривалась как идеальная плазма, плотность и давление которой однородны во всем объеме канала, в начальный момент канал разряда представляет собой прямой круговой цилиндр, длина которого равна межэлектродному промежутку; жидкость, окружающая канал разряда, идеальная сжимаемая, а ее движение потенциально. В принятой постановке задачи определение процессов, происходящих в разрядной камере, сводилось к определению потенциала скорости и давления в жидкости как функции пространственной координаты и времени.

Уравнение движения жидкости в потенциальном приближении имеет вид [18]:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = a^2 \nabla^2 \Psi - \frac{\partial (\nabla \Psi)^2}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $\Psi$  – потенциал скорости жидкости,  $a^2 = a_0^2 - (x-1) \frac{\partial \Psi}{\partial t} - \frac{(x+1)(\nabla \Psi)^2}{2}$  – скорость звука в невозмущенной жидкости, м/с.

Выражения для давления ( $p$ ) и плотности ( $\rho$ ) через производные потенциала скорости с учетом уравнения состояния для воды [18]:

$$p = -B + (p_0 + B) \left( 1 - \frac{x-1}{x} \frac{\rho_0}{\rho_0 + B} \left( \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \frac{(\nabla \Psi)^2}{2} \right) \right)^{\frac{x}{x-1}}, \quad (2)$$

где  $B$  – коэффициент уравнения состояния для воды,  $B = 304,5$  МПа;

$$\rho = \rho_0 \left( 1 - \frac{x-1}{x} \frac{\rho_0}{\rho_0 + B} \left( \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \frac{(\nabla \Psi)^2}{2} \right) \right)^{\frac{x}{x-1}}. \quad (3)$$

Связь между параметрами в канале разряда устанавливается уравнением баланса энергии [19]:

$$\frac{1}{\gamma - 1} \frac{d(p_k V_k)}{dt} + p_k \frac{dV_k}{dt} = N(t), \quad (4)$$

где  $p_k$  – давление в канале разряда, Па;  $V_k$  – объем канала разряда, м<sup>3</sup>;  $\gamma = 1,26$  – показатель адиабаты плазмы;  $N(t)$  – закон ввода энергии в канал разряда.

При отражении гидродинамических волн от деформируемых препятствий (свободная поверхность, тонкая пластина и т.п.) возникает волна разрежения, которая, взаимодействуя с падающей волной, образует область пониженного давления, это явление называют «разгрузкой». Микропузырьки газа, появившиеся в разрядном промежутке в предпробойной

стадии, в этих условиях образуют многочисленные кавитационные каверны (в том числе и присоединенные к измельчаемым частицам), которые существуют по законам кавитационных явлений, одновременно выполняя работу по дезинтеграции твердых тел.

Расчеты волновых процессов в рассматриваемом варианте производились для таких параметров электрического разряда в жидкости: емкость  $C = 0,1$  мкФ, индуктивность  $L = 1$  мкГн, рабочее напряжение в начальный момент  $U_0 = 28$  кВ, эти параметры соответствовали реально используемому в процессе тонкого диспергирования оксида иттрия. Расчеты проводились для двух режимов: режим 1 при нормальном внешнем давлении  $p = 1 \cdot 10^5$  Па, режим 2 – при повышенном внешнем давлении  $p = 5 \cdot 10^5$  Па. Временные зависимости давления в точках  $A, B, C, D, E, F$ , которые представляют собой поперечные сечения эквипотенциалей, приведены на рис. 3. Сплошные линии на рис. 3 представляют полученные данные для режима 1, а штриховые – для режима 2.

Первый импульс давления амплитудой 12 МПа для режимов 1 и 2 приходит в придонную точку  $A$  электроразрядной камеры через 50 мкс и, отражаясь, вызывает понижение давления в придонной области и начало развития в ней кавитационных процессов. Второй импульс давления, генерируемый после разрядной полостью, попадает в эту точку примерно через 140 мкс, пройдя зону начала кавитации, с амплитудой уже 20 МПа. На этом пути он повышает интенсивность схлопывания кавитационных пузырьков, которые коллапсируют теперь под воздействием высокого давления.

В точку  $B$  приходят одновременно оба импульса давления с амплитудой 10 МПа примерно через 80 мкс, пройдя путь около 115 мм от продольной оси разряда. Отражаясь, они порождают волну разрежения и распространяют кавитацию в дальнюю придонную зону.

В точке  $C$  ярко проявляется сложная картина неустановившегося волнового поля прямых и отраженных волн давления-разрежения. Амплитуды давления 1,0, 1,8; 6,0 и 8,0 МПа подтверждают это, как и временной разброс импульсов с максимумами на 220; 90; 130 и 70 микросекундах соответственно.

В нижней полусфере, в самой близкой к разрядному промежутку точке  $D$ , импульс первичной волны давления достигает амплитудного значения 50 МПа (для режимов 1, 2) уже на 20 микросекунде. Отраженные волны, взаимодействуя, вызывают всплески волн сжатия

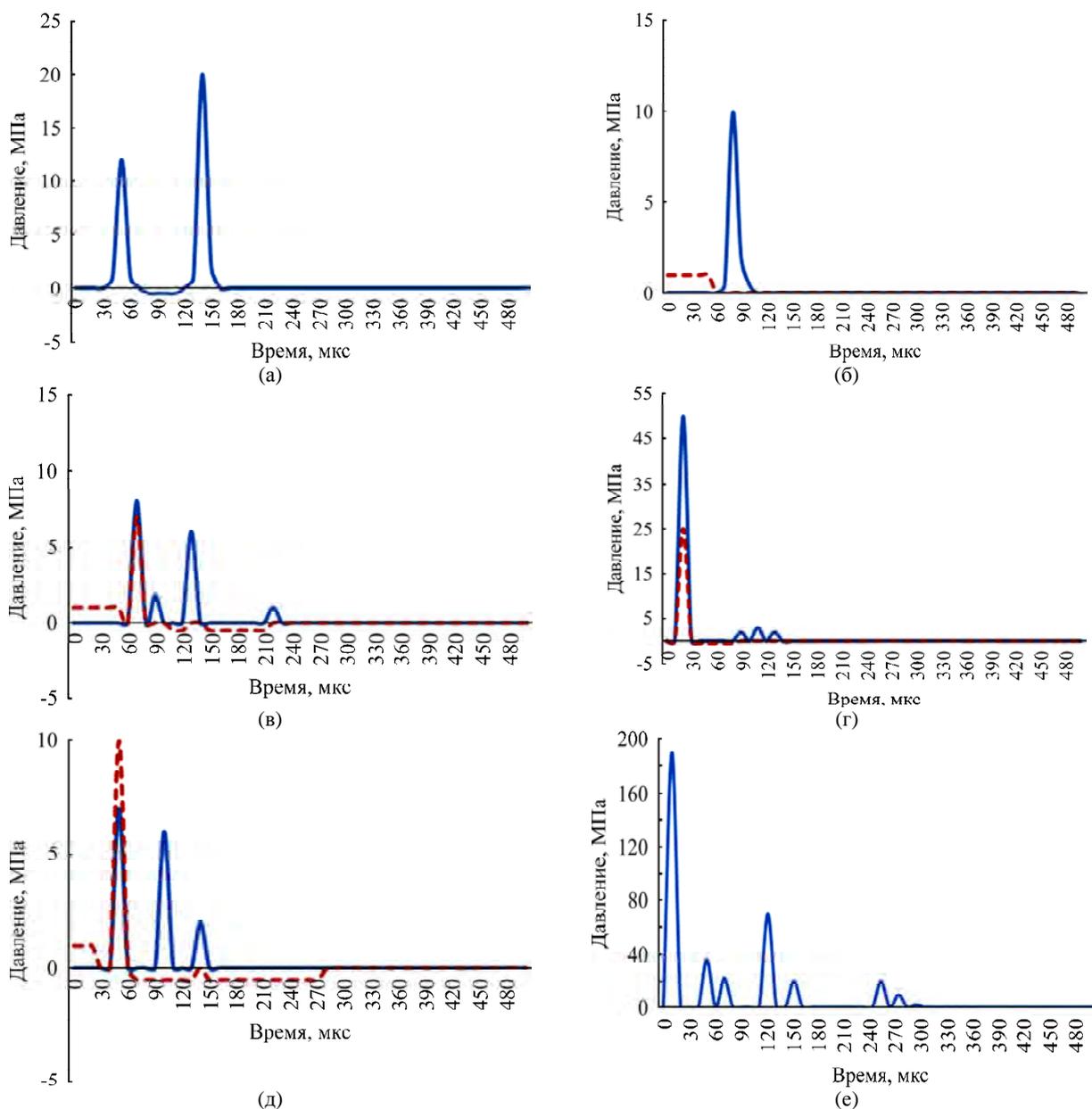


Рис. 3. Временные зависимости давления в точках  $A(a)$ ,  $B(b)$ ,  $C(v)$ ,  $D(г)$ ,  $E(д)$  и  $F(e)$ .

2–3 МПа на фоне волн разрежения на 90, 110, 130 микросекундах.

В точке  $E$  волновое поле также характеризуется сложной структурой, когда волны давления умеренной амплитуды 7, 6 и 2 МПа чередуются с волнами разрежения.

Первичная волна сжатия в приповерхностную точку  $F$  приходит (с амплитудой 190 МПа) уже через 10–12 мкс, быстро отражается в противофазе, обеспечивая разгрузку и вызывая кавитацию во всей приповерхностной зоне, где всплески волн сжатия (с амплитудой от одного до 39 МПа) чередуются с волнами разрежения, снижают интенсивность кавитации, существенно уменьшая ее по сравнению с интенсивностью кавитации в нижней полусфере разрядной камеры. Тем не менее это и есть завершающая

стадия генерирования объемной электро-разрядной кавитации в данных условиях.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о сложной волновой картине поля давлений в разрядной камере в разные моменты времени.

На рис. 4 показано расчетное изменение объема зоны пониженного давления во всем пространстве камеры. Область пониженного давления, то есть область развития кавитации, пульсируя, охватывает 75% объема жидкости в условиях реализации режима 1 и около 85% – в условиях режима 2, потому что кавитационные каверны, захлопываясь под влиянием повышенного давления, генерируют большее количество новых зародышей кавитации. Важно, что кавитационная область существует на протяжении не менее 400 мкс, то есть развивается

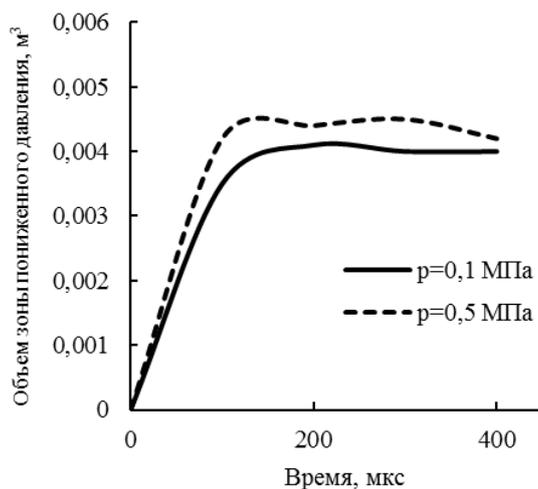


Рис. 4. Изменение объема зоны пониженного давления.

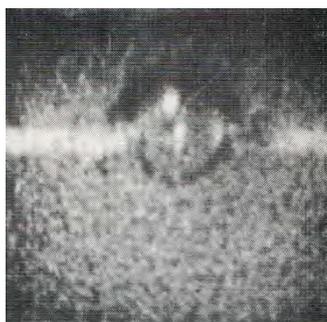


Рис. 5. Объемная электроразрядная кавитация в активной зоне реактора.



Рис. 6. Образец водной суспензии частиц оксида иттрия, полученных с использованием оптимизации кавитационного режима электроразрядного диспергирования.

самостоятельно, даже когда канальная стадия электрического разряда давно завершилась.

С целью верификации проведенных расчетов были также выполнены эксперименты с фотофиксацией кавитационной зоны в разрядной камере. Один из фотоснимков приведен на рис. 5. Хорошо видно, что практически вся кавитационная область в основном сосредоточена в нижней части камеры (интервал от плоскости, проходящей через точку  $D$  параллельно дну камеры, и до плоскости, совмещенной с дном разрядной камеры), и только около 10% объема кавитационной области располагается выше электродной системы и неожиданно на значительном удалении от свободной поверхности жидкости.

Анализ представленного расчетного и экспериментального материала позволил перейти к оптимизации процесса тонкого электроразрядного диспергирования путем разработки новых конструктивных решений, а именно к уточнению места расположения точек и сечений ввода-вывода обрабатываемой суспензии в камеру.

Предлагается следующая конструктивная концепция разрядной камеры эффективного электроразрядного диспергатора:

- необходимым является наличие свободной поверхности обрабатываемой жидкости в разрядной камере;

- электродная система должна иметь линейную геометрию с противостоящими электродами и встраиваться в разрядную камеру в горизонтальном положении;

- важнейшим геометрическим параметром разрядного пространства, в котором генерируется электроразрядная кавитация, является отношение расстояния от горизонтальной оси электродной системы до свободной поверхности к расстоянию от этой же оси до дна разрядной камеры, которое должно выбираться в пределах от 1:2 до 1:3;

- в разрядной камере необходимо направлять поток обрабатываемой жидкости, несущей диспергируемые частицы, так, чтобы они находились как можно более длительное время в зоне электроразрядной кавитации. Как показали настоящие исследования, единственный их путь, отвечающий этому требованию, – это движение по восходящей спирали. Для организации такого рода движения жидкости в камере входные трубопроводы необходимо размещать у придонной части реактора, а выходные трубопроводы – выше электродной системы, в зоне, где кавитация исчезает примерно на расстоянии, которое равно расчетному диаметру послеразрядной полости от продольной оси электродной системы;

– осевые линии входных и выходных патрубков следует направлять по касательным к внутренним стенкам разрядной камеры реактора.

Экспериментальная проверка обоснованных выше конструктивных решений показала, что, используя их и обеспечивая кавитационный режим электрического разряда, из описанной выше исходной оксидно-водной взвеси удастся получить суспензию с частицами оксида иттрия, имеющими размеры 1,5–0,5 мкм, фото которой приведено на рис. 6.

## ВЫВОДЫ

Показана сложная и неравномерная структура поля давлений в активной зоне электроразрядной камеры при каждом электрическом разряде.

Выявлено и экспериментально подтверждено, что неоднородность области кавитации в электроразрядной камере определяется неравномерностью поля давлений.

На основании полученных теоретических и экспериментальных данных предложена концепция конструкции разрядной камеры, позволяющая подавать диспергируемый материал непосредственно в зоны наиболее интенсивной кавитации и повысить эффективность электроразрядного метода тонкого диспергирования за счет выбора взаимного расположения конструктивных элементов разрядной камеры и гидротоков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наугольных К.А., Рой Н.А. *Электрические разряды в воде*. М.: Наука, 1971. 154 с.
2. Sunka P. *Phys Plasmas*. 2001, **8**(5), 2587–2594.
3. Midi N.S., Ohyama R., Yamaguchi S. *J Electrostat*. 2013, **71**(4), 823–828.
4. Joshi R.P., Kolb J.F., Xiao S., Schoenbach K.H. *Plasma Process and Polymers*. 2009, **11**(6), 763–777.
5. Shurupov A.V., Zavalova V.E., Kozlov A.V., Shurupov M.A. et al. *JPhysConfSer*. 2018, **946**, 012137.
6. Malyushevskii P.P., Malyushevskaya A.P., Yushchishina A.N. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2017, **53**(4), 383–393.
7. Malyushevskaya A.P., Malyushevskij P.P., Levda V.I. *ЭОМ*. 2004, **40**(1), 46–53.

8. Malyushevskaya A.P., Malyushevskij P.P., Levda V.I. *ЭОМ*. 2004, **40**(2), 40–46.
9. Поздеев В.А. *Прикладная гидродинамика электрического разряда в жидкости*. К.: Наукова думка, 1980. 192 с.
10. Малюшевский П.П., Горовенко Г.Г., Годованная И.Н., Вишневский В.Б. *ЭОМ*. 1981, (5), 62–64.
11. Sunka P., Babický V., Clupek M., Fuciman M. et al. *Acta Phys Slovaca*. 2004, **54**(2), 135–145.
12. Кужекин И.П., Курбанов Э.Д. *Проблемы энергетики*. 2008, (1), 56–64.
13. Szklarczyk M. *Mod Aspect of Electrochem*. 1993, (25), 253–296.
14. Shchukin E.D., Zelenev A.S. *Physical-Chemical Mechanics of Disperse Systems and Materials*. – Boca Raton: CRC Press, 2015. 374 p.
15. Barbashova G.A., Vovchenko A.I. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2016, **52**(2), 135–145.
16. Kosenkov V.M. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2017, **53**(1), 104–110.
17. Ушаков В.Я. *Импульсный электрический пробой жидкостей*. Томск: Изд. Томского ун-та, 1975. 258 с.
18. Галиев Ш.У. *Динамика гидроупругопластических систем*. Киев: Наукова думка, 1981. 276 с.
19. Андреев С.Г., Бабкин А.В., Баум Ф.А. *Физика взрыва*. Под редакцией Л.П. Орленко, издание 3-е, переработанное и дополненное. М.: Физматлит, 2004. 656 с.

## Summary

The results of investigations on fine dispersion of rare-earth elements on pre-crushed oxides by electrical discharges in aquatic environment are given. A possibility of obtaining oxide particles with a size less than one micrometer is shown, including from large blocks of previously coagulated oxide particles. A feasibility is shown of choosing such an interposition of zones generating pressure waves and pulsed hydraulic currents, at which local regions of intense electric-discharge cavitation arise, providing dispersion. A concept of an efficient electric discharge dispersing chamber is proposed.

*Keywords:* electric-discharge dispersion, submersible electric discharge, dispersion environment, electric-discharge cavitation, electric-discharge chamber, yttrium oxide, coagulation.