

## **СОВМЕЩЕНИЕ ПОДВОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА И СОБСТВЕННОГО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ. ЧАСТЬ II (Исследование практической эффективности по результатам эмульгирования и диспергирования)**

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,  
просп. Октябрьский, 43 А, г. Николаев, 54018, Украина*

Самым надежным и наглядным показателем высокой эффективности совмещения подводного электрического взрыва и собственного гидроакустического излучателя следует считать практическую сравнительную эффективность каких-либо разрядно-импульсных технологических (РИТ) процессов. Поскольку ранее у нас было достаточно много практических данных о разрядно-импульсных технологиях эмульгирования и диспергирования при использовании обычной технологической схемы, то для проверки эффективности совмещенных средств преобразования энергии в технологических реакторах выбраны названные РИТ процессы. Конкретными объектами исследований выбраны смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) и суспензии глинистых минералов. Были выбраны оптимальные параметры воздействия на объект обработки по оценкам интенсивности дополнительного акустического излучения и типоразмера гидродинамического излучателя, приведенные в первой части статьи. Экспериментальные работы проводились как в порционном режиме, так и при прокачке обрабатываемой жидкости через акустический реактор.

Целью данной части работы являлось также изучение возможностей практической реализации метода совместного электровзрывного и ультразвукового воздействия на свойства неметаллических материалов, в том числе на их взаимодействие с жидкой рабочей средой, при использовании в качестве источника ультразвукового поля гидродинамических излучателей, работающих от гидропотока, возникающего при электрическом взрыве в конденсированной среде [1].

### **Методические положения**

Использовался преобразователь стержневого типа, располагавшийся аксиально с гидропотоком, который, набегая на стержень, вызывал резонансные колебания его и жидкости реактора.

Ранее нами проведены исследования предложенного электровзрывного метода приготовления и регенерации водо-масляных смазочно-охлаждающих жидкостей, при котором обрабатываемый материал подвергался комплексному воздействию ударных волн, возникающих в зоне разряда, светового излучения и собственного акустического излучения разряда. Эти факторы создают условия для активного протекания процессов диспергирования и эмульгирования СОЖ. Была доказана возможность использования электровзрывной обработки для получения высокодисперсных стабильных эмульсий с высокой коррозионной стойкостью. В эмульсиях, полученных этим методом, полностью уничтожаются анаэробные бактерии, что повышает устойчивость эмульсий к расслоению. Были определены оптимальные параметры процесса и подготовлены исходные требования на создание электровзрывной установки по приготовлению эмульсии на основе эмульсола ЭТ-2 и промышленных масел.

Исходя из этого, в качестве объекта исследований были выбраны эмульсол ЭГТ или ЭТ-2 (ТУ38.10.1149-75), масло промышленное марки 20 или 30. Такой выбор позволил провести сравнительный анализ эффективности получения СОЖ электровзрывной обработкой и исследуемого совмещенного электровзрывного и ультразвукового воздействия. Рабочей средой при проведении исследований являлась техническая вода с удельным сопротивлением не ниже 15 Ом-м.

Кроме того, выполнены исследования по обработке глинистых суспензий, используемых в нефтяной и газовой промышленности. При обработке электровзрывом таких суспензий в основу методики обработки были положены рекомендации [2].

Использовался основной лабораторный комплекс, описанный в первой части статьи. Здесь

обрабатываемый материал подвергается совместному электровзрывному и ультразвуковому воздействию. Для проведения сравнительного анализа эффективности только электровзрывного воздействия обработка рабочей жидкости такого же состава производилась в том же реакторе с демонтированными гидродинамическими излучателями. Камера обработки располагалась вертикально и снабжалась нижними токоподводами, что позволяло осуществлять как порционную обработку материала при закрытых коллекторах входа и выхода, так и непрерывную прокачку материала через камеру. Подвод рабочей жидкости осуществлялся через кольцевой коллектор непосредственно в зону разряда, выход – через верхний патрубок после гидродинамического излучателя.

Выбор гидродинамического излучателя производился на основании анализа работы, результаты которой изложены в первой части статьи. Была принята конструкция конического резонатора переменного сечения с консольным креплением по оси камеры обработки. Этот вариант позволял реализовать в одной камере исследования как при демонтированной перфорированной пластине с гидродинамическим излучателем, так и совместное воздействие этих двух источников. Кроме этого, резонаторы выполнялись трех типоразмеров с различной толщиной торцевой кромки (1; 2; 4 мм), что позволило определить влияние конусности корпуса резонатора и толщины торцевой кромки на характер возмущения и результат его воздействия на объект.

В режиме непрерывной обработки камера монтировалась на экспериментальном стенде с двумя мерными расходными баками, связанными между собой пульпопроводом через дросселирующий вентиль.

Питание на стенд подавалось от лабораторного пульты-щита. В качестве источника высокого напряжения использован малогабаритный генератор импульсных токов ГИТ 2,5/50, позволявший регулировать вводимую энергию в трех диапазонах: 625; 1250; 2500 Дж при максимальном напряжении 50 кВ.

Был принят следующий порядок проведения опытов. Первоначально рабочую жидкость с соотношением эмульсол-вода 1:20 обрабатывали в электроразрядной камере-реакторе без гидродинамических излучателей, то есть без наведенного дополнительного акустического поля. Затем такую же рабочую жидкость обрабатывали в реакторе с установленными поочередно тремя типоразмерами гидродинамических излучателей. Режимы устанавливались одинаковыми (они приведены в первой части статьи). Время обработки одной загрузки 60 с, при температуре рабочей жидкости 293 К.

В качестве основных контролируемых параметров рабочей жидкости в соответствии с ГОСТ 6243-75 принимались: стабильность эмульсии; водородный показатель; коррозионные свойства.

Проверку качества СОЖ по этим характеристикам проводили сразу же после их обработки. Сравнение проводили с эмульсиями, приготовленными стандартным методом, а также использовали результаты исследований по электроразрядной обработке с линейной системой электродов. Стабильность эмульсии определяли в соответствии с ГОСТ по объему масла, выделившегося на поверхности эмульсии после выдержки (отстоя) в течение 3 часов. Водородный показатель оценивали по рН эмульсии, определяемый рН-метром типа ЛПУ-0,1; РН-340 или с помощью универсальной индикаторной бумаги. Коррозионные свойства эмульсий определяли по потемнению шлифованных пластин после нанесения на их поверхность капель эмульсии и выдержки в течение 4 часов.

### **Результаты исследований**

Начальная серия исследований выполнялась при энергии в импульсе 625 Дж и частоте импульсов 4 Гц. Оказалось, что при этом режиме гидропоток, создаваемый разрядом, недостаточно интенсивен и эмульгирование происходит неэффективно – при отстое на поверхности появляются следы масла.

В следующей серии опытов определялась эффективность эмульгирования при энергии в импульсе 1250 и 2500 Дж, частоте импульсов 2 и 1 Гц соответственно. Эффективность воздействия контролировалась по стабильности эмульсии в течение 4 часов. Эмульсии, полученные на этих режимах, обладали одинаковой стабильностью. Поэтому дальнейшие эксперименты проводились с использованием двух установленных режимов.

Ставилась задача определения нижней границы удельного расхода энергии для получения стабильной эмульсии.

Объем камеры обработки составлял 5 дм<sup>3</sup>, поэтому для получения удельного расхода энергии 2,5 кДж/дм<sup>3</sup> при энергии импульса 2500 Дж необходимо 5 импульсов, а при энергии импульса 1250 Дж – 10 импульсов.

Постепенное снижение числа импульсов на постоянный объем эмульсии показало, что при энергии импульса 2500 Дж стабильность эмульсии уменьшается при воздействии 4 импульсами, а при энергии импульса 1250 Дж снижение стабильности наступает при воздействии 7 импульсами.

Следовательно, нижним пределом удельного расхода энергии импульса 2500 Дж служит энергия 2,0 кДж/дм<sup>3</sup>, а при энергии импульса 1250 Дж – энергия 1,75 кДж/дм<sup>3</sup>.

Соответственно, дальнейшие эксперименты проводились с параметрами: энергия импульса – 1250 Дж, частота импульсов – 2 Гц.

На следующем этапе исследований выполнены эксперименты по проверке эффективности процесса эмульгирования с установленными гидродинамическими излучателями. При этом постоянными параметрами являлись: энергия импульса – 1250 Дж; частота следования импульсов – 2 Гц; соотношение эмульсол–вода – 1:20; объем жидкости – 5 дм<sup>3</sup>, а варьируемыми параметрами: типоразмер гидродинамического излучателя (ГДИ-1, ГДИ-2, ГДИ-3) и количество импульсов.

Качество полученной эмульсии определялось по расслоению в течение 4 часов.

В первой серии опытов определялась эффективность работы трех типоразмеров ГДИ при нижнем пределе удельного расхода энергии – 1,75 кДж/дм<sup>3</sup>. В камеру поочередно устанавливались ГДИ и обработка эмульсии производилась воздействием 7 импульсов. Все пробы показали стабильную эмульсию. Выделения масла на поверхности эмульсии не было.

Во второй серии опытов определен нижний предел удельного расхода энергии для получения стабильной эмульсии. Количество импульсов уменьшалось постепенно для каждого типоразмера ГДИ. При установке в камеру ГДИ-1 и ГДИ-2 расслоение эмульсии наступало при уменьшении количества импульсов до 5, то есть при удельном расходе энергии до 1,25 кДж/дм<sup>3</sup>, а при установке ГДИ-3 это явление не наступало при воздействии 3 импульсами. Поэтому дальнейшие эксперименты проводились с установленным в камеру ГДИ-3, как с более эффективным.

На третьем этапе исследований проводились эксперименты по определению степени эмульгирования как с различными типоразмерами ГДИ, так и без них в камере с коаксиальной системой электродов. Здесь эмульгированию подвергалась система "масло в воде" с соотношением масло–вода 1:20. Использовалось масло "Индустриальное-20".

Предварительно проведены эксперименты по получению водо–масляных эмульсий в камере объемом 10 дм<sup>3</sup>, снабженной линейной системой электродов. Получить устойчивые эмульсии с содержанием масла в воде 10% удалось только при эмульгировании с удельным расходом энергии до 150 кДж/дм<sup>3</sup>. Поэтому было принято решение при эмульгировании добавлять поверхностно-активные вещества. Процесс эмульгирования значительно облегчился и энергозатраты стали сравнимыми с энергозатратами при приготовлении эмульсии на эмульсоле ЭТ-2 и составляли 3,5 – 5 кДж/дм<sup>3</sup>.

При проведении этой серии экспериментов постоянными являлись следующие параметры: энергия импульса – 1250 Дж; частота следования импульсов – 2 Гц; соотношение масло–вода – 1:20; объем жидкости – 5 дм<sup>3</sup>; время обработки – 60 с.

Переменным параметром был типоразмер гидродинамического излучателя.

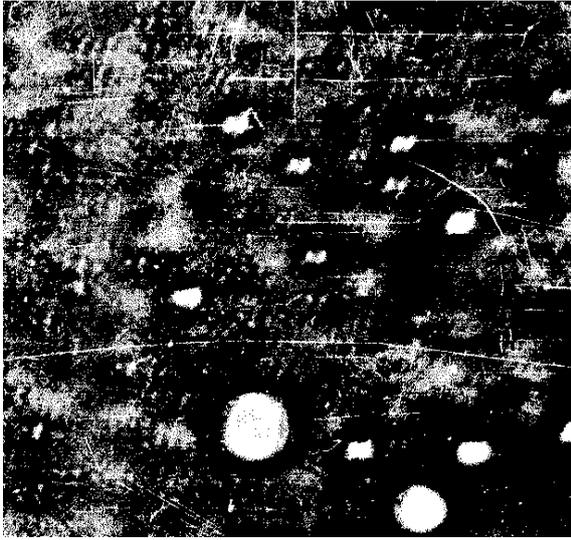
Дисперсность эмульсии контролировалась при помощи микроскопа МБИ-3 с фотографированием при увеличении  $\times 500$ , стабильность эмульсии контролировалась на расслоение в течение 4 часов.

Расслоение эмульсии уменьшалось при замене ГДИ. Наиболее стабильная эмульсия получалась при обработке с размещением в разрядной камере ГДИ-3. Стабильность эмульсии составляла 5–7 часов.

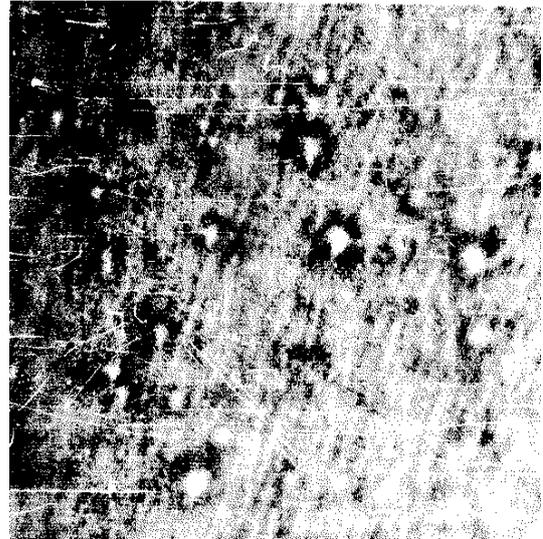
На рисунке, а-г показаны микрофотографии эмульсии типа "масло в воде", содержащей 10% масла, полученные обычным электроразрядным воздействием и с применением ГДИ разных типоразмеров. Хорошо проявляется более равномерная макроструктура эмульсии, полученной с использованием ГДИ-3.

На четвертом этапе исследований ставились эксперименты по определению непрерывных режимов обработки эмульсии при различном удельном расходе рабочей жидкости через электроразрядную камеру. Здесь постоянными следующие параметры: энергия в импульсе – 1250 Дж; частота следования импульсов – 2 Гц; соотношение масло–вода – 1:20; объем рабочей жидкости – 10 дм<sup>3</sup>; гидродинамический излучатель – ГДИ-3.

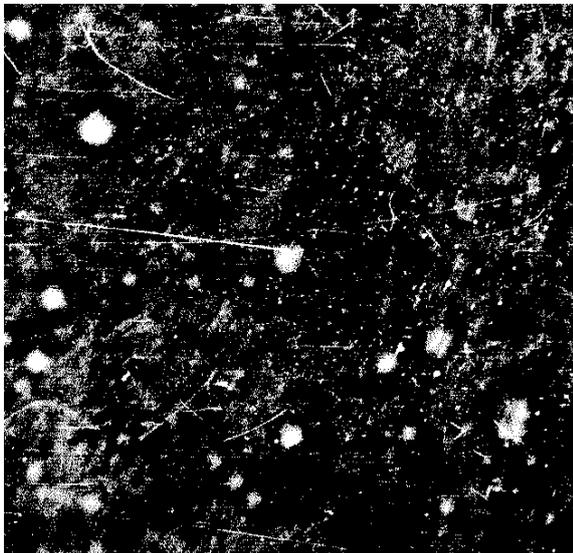
Переменным параметром являлся удельный расход жидкости через электроразрядную камеру – 3; 6; 12 дм<sup>3</sup>/мин.



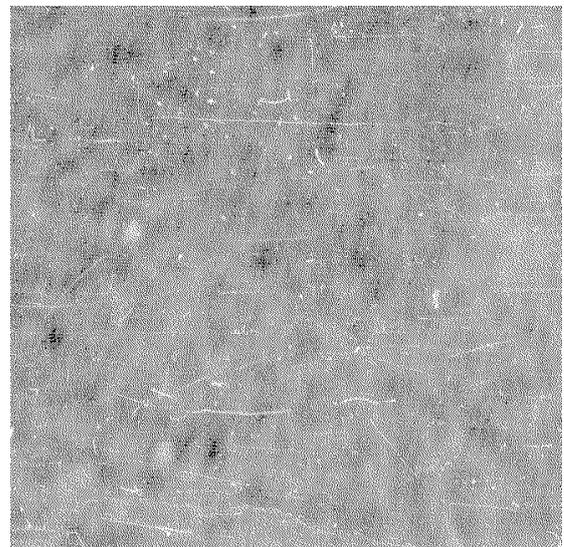
*a*



*б*



*в*



*г*

*Микрофотографии ( $\times 500$ ) эмульсии масло–вода: а – электровзрывная обработка; б – электровзрывная обработка + ГДИ-1; в – электровзрывная обработка + ГДИ-2; г – электровзрывная обработка + ГДИ-3*

Эксперименты позволили определить эффективность совместного воздействия электрогидравлического эффекта и ультразвука при непрерывном потоке обрабатываемой жидкости через камеру обработки. При удельном расходе жидкости  $12 \text{ дм}^3/\text{мин}$  образовывались стабильные эмульсии, которые по своим параметрам не отличались от эмульсий, полученных в замкнутом объеме без прокачки.

Для установления максимальной производительности процесса удельный расход жидкости увеличивали до  $15 \text{ дм}^3/\text{мин}$ . При таком расходе стабильность эмульсии начинала снижаться и выделение масла на поверхности обнаруживалось через  $2,5 - 3$  часа отстоя. Можно сделать вывод, что удельный расход  $12 \text{ дм}^3/\text{мин}$  для данной конструкции камеры и заданных параметрах воздействия является оптимальным.

Некоторые данные исследований приведены в табл. 1–3.

При обработке жидкостей без гидродинамического излучателя оптимальным оказался расход  $\sim 8,3 \text{ дм}^3/\text{мин}$ , что составляет  $2/3$  от расхода с использованием совместного электровзрывного и ультразвукового воздействий.

Таблица 1. Получение эмульсий в разрядной камере с линейной электродной системой

Характеристики эмульсий	Стандартный (контрольный)	Энергия в импульсе 1250 Дж		
		Удельный расход энергии, кДж/дм <sup>3</sup>		
		3,0	2,5	2,0
Время расслоения, час	4,0	5,0	4,0	3,5
Стабильность	+	+	+	–
Коррозионная агрессивность	–	–	–	+

Таблица 2. Разрядная камера с коаксиальной электродной системой

Характеристики эмульсий	Стандартный (контрольный)	Энергия в импульсе, Дж					
		2500			1250		
		Удельная энергия, кДж/дм <sup>3</sup>			Удельная энергия, кДж/дм <sup>3</sup>		
		2,5	2,0	1,5	2,0	1,75	1,5
Время расслоения, час	4,0	5,0	4,0	3,5	5,5	4,1	3,6
Стабильность	+	+	+	–	+	+	–
Коррозионная агрессивность	–	–	–	+	–	–	+

Таблица 3. Разрядная камера с коаксиальной электродной системой + ультразвук

Характеристики эмульсий	Стандартный (контрольный)	Энергия в импульсе 1250 Дж					
		ГДИ-1, ГДИ-2			ГДИ-3		
		Удельный расход энергии, кДж/дм <sup>3</sup>			Удельный расход энергии, кДж/дм <sup>3</sup>		
		1,5	1,25	1,0	1,0	0,75	0,5
Время расслоения, час	4,0	5,8	4,3	3,7	6,2	4,5	3,9
Стабильность	+	+	+	–	+	+	–
Коррозионная агрессивность	–	–	–	+	–	–	+

По данным табл. 1–3 хорошо заметно увеличение эффективности эмульгирования масла в воде при снабжении электродной системы гидродинамическим излучателем.

Самостоятельные и достаточно показательные исследования дополнительного источника звука были проведены на процессах обработки суспензий глинистых минералов. Последние используются в таких многотоннажных отраслях промышленности, как керамическая, металлургическая, при бурении и эксплуатации нефтяных и газовых скважин. В общем случае процесс обработки суспензий можно рассматривать как повышение природной дисперсности минерала и повышение поверхностной связи частиц с дисперсионной средой, в качестве которой в большинстве случаев используется вода.

Вопросы образования и разрушения таких дисперсных систем изучались в Институте коллоидной химии и химии воды АН Украины и показана возможность создания более эффективных, чем при использовании традиционного механического оборудования, методов воздействия на систему. К

таким были отнесены методы наложения магнитного поля, ультразвуковая обработка, электровзрывная обработка и другие.

В результате исследований процессов диспергирования глинистых минералов электровзрывной обработкой создана установка МЭГД-1 для использования в процессах приготовления буровых и тампонажных растворов. Она успешно прошла межведомственные испытания на промыслах Шебелинского газоконденсатного месторождения, однако была отмечена недостаточная производительность и при доработке на выходе из второй ступени обработки был встроен гидродинамический излучатель по типу ГДИ-3.

После этого эффективность процесса диспергирования возросла на 45%. Удалось получить устойчивую стабильную систему с выходом раствора 15 дм<sup>3</sup>/мин при чисто электровзрывной обработке, и 22 – 23 дм<sup>3</sup>/мин – при добавлении гидродинамического излучателя и сохранении одинаковых энергетических затрат.

Таким образом, продемонстрирована практическая целесообразность использования предложенного метода совмещения электрического взрыва и "пассивного" гидродинамического излучателя, использующего расходящийся гидросток электровзрыва для получения дополнительного, интенсивного акустического излучения в разрядном реакторе. Такое излучение активизирует пульсации кавитационных резонансных пузырьков, усиливая кавитационную составляющую электровзрывного воздействия на вещество.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Малюшевский П.П.* Электрогидравлический излучатель: Авт. свид. СССР № 484819.
2. *Гаврилов Г.Н., Горовенко Г.Г., Малюшевский П.П., Гаврилов А.Г.* Разрядно-импульсная технология в обработке минеральных сред. Киев, 1983.

*Поступила 3.07.02*

## Summary

The concept, affirmed actual applied researches encompassing by volume is set up that at fulfillment of an electrode system of the electroexplosive installations working in liquids, by the way of underwater acoustic projector, in an acoustic field created by it padding to a usually existing electroexplosive acoustic field in the reactor, there is an intensification of processes of emulsification and dispersion. It demonstrates high performance of electroexplosive hydrodynamic acoustic radiators.

---