

Измерения характеристик электрического разряда в растворе NaCl

© В.Е. Аблесимов,¹ В.М. Карюк,¹ А.Н. Павлов,¹ А.А. Кирпичев,² А.А. Симчук²

¹ ЗАО „Объединение БИНАР“,
607189 Саров, Нижегородская область, Россия

² ООО „ГлобалТест“,
607189 Саров, Нижегородская область, Россия
e-mail: ablesimov_v@mail.ru

(Поступило в Редакцию 13 февраля 2013 г. В окончательной редакции 9 июля 2014 г.)

Исследованы характеристики электрического разряда в растворе NaCl с удельной концентрацией до $\sim 1.7\%$ (электропроводностью до 0.032 Sm/cm). Разряд создан с помощью электроразрядного аппарата ЭРА-1 в емкости, заполненной водой или раствором NaCl. Получены зависимости от концентрации электролита максимального тока разряда, импульса давления и амплитуды давления на фронте ударной волны на расстоянии 7 cm от оси разряда.

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) — способ преобразования электрической энергии в механическую без посредства промежуточных звеньев — характеризуется большими концентрациями энергии, близкими к возникающим при взрывах ВВ. Суть способа состоит в осуществлении внутри объема жидкости специально сформированного импульсного электрического разряда. При этом вокруг зоны разряда возникают высокие гидравлические давления, используемые для совершения полезной механической работы. Разряд также сопровождается комплексом физических и химических явлений. Длительность импульса разрядного тока составляет несколько микросекунд.

Несмотря на более чем полувековую историю применения в технологической практике ЭГЭ, сих пор в основном подробно исследован электрический разряд в воде [1,2].

При промышленном применении обычно используется техническая вода с удельной электропроводностью $3 \cdot 10^{-4} - 10^{-3} \text{ Sm/cm}$. Промышленному применению ЭГЭ, процессам электроимпульсной обработки материалов, разрядно-импульсным технологиям посвящено значительное количество исследований [3–8].

ЭГЭ в электролитах до сих пор исследован слабо, хотя имеет большое прикладное значение. Например, удельные электропроводности водцементных смесей буровых растворов доходит до $0.01 - 0.1 \text{ Sm/cm}$. Разряды в электролитах посвящено несколько работ [9–11], основные выводы из которых и библиография приводятся в [2].

Из результатов работ [9,10], в частности, следует, что характеристики разряда в электролитах не зависят от растворенного вещества и определяются лишь его низковольтной электропроводностью.

В настоящей работе исследованы характеристики электрического разряда в воде и растворе NaCl с удельной электропроводностью от $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ Sm/cm}$ (вода) до $3.2 \cdot 10^{-2} \text{ Sm/cm}$. Электропроводность измерялась серийным кондуктометром. Разряд создавался с помощью

погружного электроразрядного аппарата ЭРА-1 [12] в емкости, заполненной водой или раствором NaCl с концентрацией до $\sim 1.7\%$.

Характеристики проведения испытаний:

- емкость накопительного конденсатора аппарата ЭРА-1 $C = 2 \mu\text{F}$,
- напряжение срабатывания коммутатора $\sim 30 \text{ kV}$,
- энергозапас около 900 J ,
- геометрия электродов — катод и анод конической формы 60° с диаметром основания 46 mm ,
- поверхность анода вплоть до вершины конуса покрыта изолятором,
- рабочая емкость для растворов — нержавеющий бак емкостью 40 l .

Для измерения параметров ударной волны (УВ) электрического разряда были применены пьезоэлектрические датчики давления PS02-01 [13,14]. Для каждого значения электропроводности раствора измеряемые величины усреднялись по серии не менее 5 импульсов. Датчики давления размещались диаметрально противоположно от разрядного промежутка на расстоянии 7 cm от оси разряда. Напряжение на разрядном промежутке контролировалось с помощью емкостного делителя, ток разряда — поясом Роговского с чувствительностью 1.4 kA/V . Напряжение, ток разряда и сигналы датчиков давления регистрировались цифровым осциллографом.

Исследование фоновых условий измерений показало наличие электромагнитной наводки (ЭМН) на измерительный канал датчика давления в момент пробоя разрядного промежутка. Величина наводки становится пренебрежимо малой через несколько микросекунд после разряда и не влияет на измерения импульса давления.

В теории удара в качестве меры механического взаимодействия тел при ударе вместо самой ударной силы F вводится ее импульс за время удара τ . Величина импульса $S = F_{\text{ав}}\tau$, где $F_{\text{ав}}$ — среднее значение ударной силы за время τ , равна изменению количества движения $\Delta(mv)$ тела, подвергающегося удару. В проведенных исследованиях в качестве меры механического эффекта

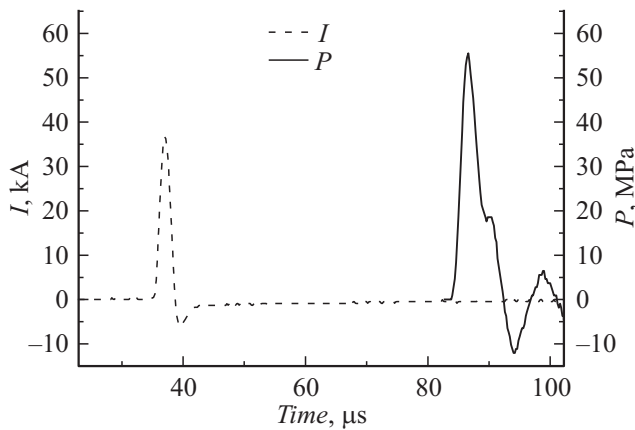


Рис. 1. Зависимости от времени тока I и давления P .

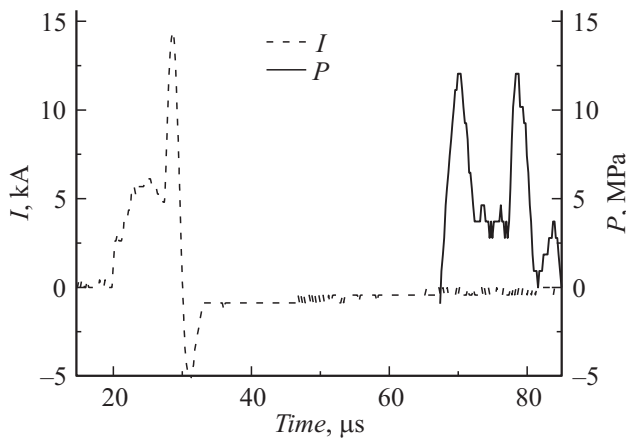


Рис. 2. Зависимости от времени тока I и давления P .

при разряде рассматривался импульс давления. Приведенные ниже значения импульса давления определялись интегрированием сигнала датчика давления по интервалу времени $\sim 20 \mu\text{s}$.

Предварительно были проведены измерения давления на фронте УВ при разряде в воде (электропроводность $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ Sm/cm}$) при величине разрядного промежутка 15 mm [14]. Осциллограмма сигналов для одного из разрядов приведена на рис. 1.

Форма импульса разрядного тока — аperiodическая, максимальное значение тока $I_{\text{max}} = 37 \text{ kA}$, амплитуда давления p на фронте УВ $P = 55 \text{ MPa}$, ударный импульс $S = 2.1 \cdot 10^{-4} \text{ MPa} \cdot \text{s}$.

Расчетная оценка, выполненная в соответствии с работой [2], дает для амплитуды давления в волне сжатия на расстоянии $r = 7 \text{ cm}$ от оси разряда значение 67 MPa .

Результаты измерений в 5 разрядах, усредненные по 2 датчикам, показали, что для двух датчиков давления, расположенных диаметрально противоположно на расстоянии 70 mm от оси разрядного промежутка, среднее время прихода УВ и среднее значение давления на фронте УВ остаются практически постоянными —

$46\text{--}48 \mu\text{s}$ и $65.5 \pm 5 \text{ MPa}$. Измеренное значение давления хорошо согласуется с расчетной оценкой, средняя скорость ударной волны $1.47 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ близка к скорости звука в воде.

При величине разрядного промежутка 8 mm были проведены измерения характеристик разряда в воде и растворе NaCl с удельной электропроводностью от $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ Sm/cm}$ (вода) до $3.2 \cdot 10^{-2} \text{ Sm/cm}$. Осциллограмма сигналов для значения проводимости электролита $3.2 \cdot 10^{-2} \text{ Sm/cm}$ (концентрация 1.7% по NaCl) приведена на рис. 2.

Форма импульса — аperiodическая, $I_{\text{max}} = 14 \text{ kA}$, амплитуда давления на фронте УВ $P = 12.2 \text{ MPa}$, импульс давления $S = 0.87 \cdot 10^{-4} \text{ MPa} \cdot \text{s}$.

На предпробойной стадии за время $\sim 10 \mu\text{s}$ выделяется существенная доля энергии разряда, достаточная, чтобы сформировать в среде ударную волну. В момент окончательного формирования разряда между электродами (замыкания канала) образуется вторая ударная волна. Амплитуды той и другой волн сравнимы и составляют $10\text{--}15 \text{ MPa}$. Интервал между их фронтами примерно $10 \mu\text{s}$. Импульс давления определяется их суммарным воздействием. Средняя скорость ударной волны $1.45 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ близка к скорости звука в воде.

Аналогичные измерения были проведены для значений удельной проводимости от $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ Sm/cm}$ (вода) до $1 \cdot 10^{-2} \text{ Sm/cm}$. По результатам измерений были получены зависимости от концентрации электролита максимального тока разряда, импульса и амплитуды давления на фронте ударной волны на расстоянии 7 cm от оси разряда.

Зависимость максимального тока разряда I_{av} для разрядного промежутка длиной 8 mm от удельной проводимости электролита приведена на рис. 3. До значения удельной проводимости $1 \cdot 10^{-2} \text{ Sm/cm}$ разрядный ток практически не меняется, но для значения $3.2 \cdot 10^{-2} \text{ Sm/cm}$ уменьшается почти в 3.5 раза.

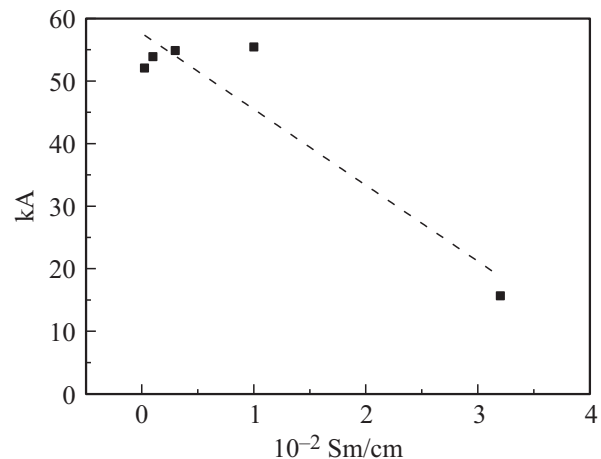


Рис. 3. Зависимость максимального тока разряда I_{av} (усреднение по 5 импульсам) от удельной проводимости электролита (пунктир — линейное приближение).

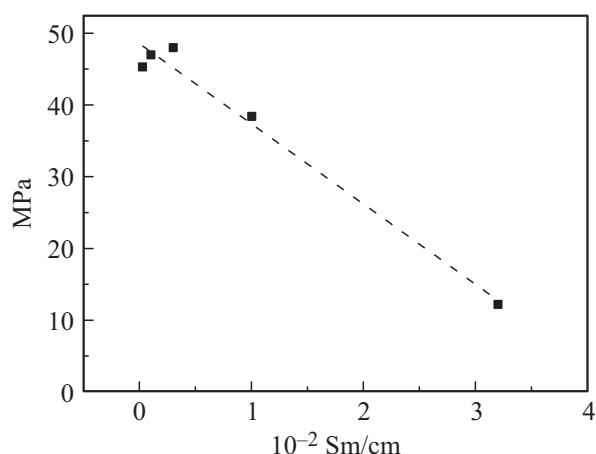


Рис. 4. Зависимость амплитуды давления на фронте УВ от удельной проводимости электролита (пунктир — линейное приближение).

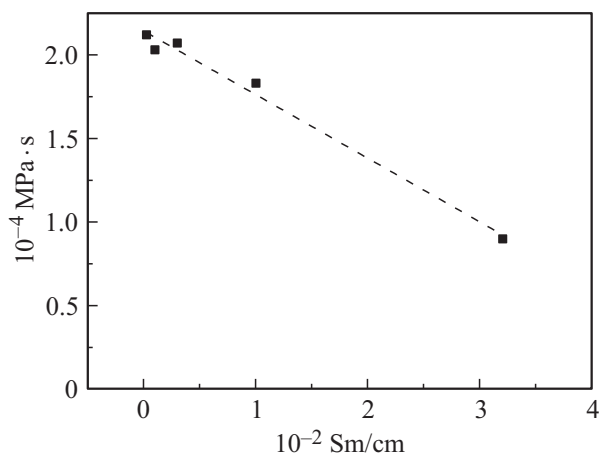


Рис. 5. Зависимость импульса давления S от удельной проводимости электролита (пунктир — линейное приближение).

Результаты измерений механических характеристик разряда приведены на рис. 4 и 5. На рис. 4 представлена зависимость амплитуды давления на фронте УВ на расстоянии 7 см от оси разрядного промежутка длиной 8 мм от значения удельной электропроводности электролита.

Амплитуда давления для значения удельной проводимости $3.2 \cdot 10^{-2}$ См/см уменьшается примерно в 4 раза по сравнению с соответствующей величиной для воды.

На рис. 5 приведена зависимость импульса давления S на расстоянии 7 см от оси разрядного промежутка длиной 8 мм от значения удельной проводимости электролита.

Величина импульса давления слабо уменьшается в исследованном диапазоне — примерно в 2 раза при возрастании удельной проводимости примерно в 100 раз.

В целом измеренные характеристики разряда уменьшаются с ростом удельной проводимости, однако в раз-

ной степени в зависимости от различного физического содержания.

Распространение полученных результатов на другие значения расстояний r от оси разряда, энергии конденсаторной батареи, величины разрядного промежутка не представляет затруднений.

Список литературы

- [1] Юткин Л.А. // Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машиностроение, 1986. 253 с.
- [2] Наугольных К.А., Рой Н.А. // Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971. 155 с.
- [3] Электрический разряд в жидкости и его применение / Под ред. Г.А. Гулый. Киев: Наукова думка, 1977. 174 с.
- [4] Разрядно-импульсная технология / Под ред. Г.А. Гулый. Киев: Наукова думка, 1978. 156 с.
- [5] Чачин В.Н., Богоявленский К.Н., Вагин В.А. и др. Электрогидроимпульсная обработка материалов в машиностроении. Минск: Наука и техника, 1987. 231 с.
- [6] Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. Киев: Наукова думка, 1990. 208 с.
- [7] Косенков В.М. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 10. С. 133–139.
- [8] Автореф. канд. дис. Юшков А.Ю. Исследование формирования набивных свай импульсными разрядами. 2004. Томск.
- [9] Мельников Н.П., Остроумов Г.А., Штейнберг А.А. // ДАН СССР. 1962. Т. 147. № 4. С. 822–825.
- [10] Мельников Н.П., Остроумов Г.А., Стояк М.Ю. // ДАН СССР. 1963. Т. 148. № 5. С. 1057–1059.
- [11] Мельников Н.П., Остроумов Г.А., Стояк М.Ю. // ЖТФ. 1964. Т. 34. Вып. 4. С. 949–951.
- [12] A.Ya. Kartelev et al. // Conf. on High-Power Particle Beams. Nagaoka, Japan, June. 2000. Vol. II. P. 950–955.
- [13] Глобалтест. Электронный ресурс. Режим доступа: http://globaltest.ru/page/dat_davl_ps02/
- [14] Аблесимов В.Е., Павлов А.Н., Симчук А.А., Карюк В.М. // Сборник трудов Международной научно-технической конференции „Динамика и виброакустика машин“. Самара. 2012. Т. 2. С. 266–267.