

Исследование распределения энергетических характеристик нескольких водных разрядных промежутков, соединенных последовательно

В. М. Бычков, * А. В. Иванов

*Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
г. Николаев, 54018, Украина, * e-mail: dpta@iipr.com.ua*

Поступила 24.10.2018

После доработки 01.11.2018

Принята к публикации 01.11.2018

Рассмотрена схема последовательного соединения водных разрядных промежутков от генератора импульсных токов. Определена возможность целенаправленного распределения энергетических характеристик разряда на три электродные системы, соединенные последовательно. Приведены результаты экспериментальных исследований перераспределения энергии в каналах разряда.

Ключевые слова: электрический разряд в воде, разрядный промежуток, генератор импульсных токов, перераспределение энергии, энергетические характеристики, электрогидравлический эффект.

УДК 537.528

DOI: 10.5281/zenodo.2551244

ВВЕДЕНИЕ

Оказывать воздействие на объект обработки при электрогидравлическом эффекте возможно, перемещая электродную систему в пространстве. Если система многоэлектродная, тогда можно воздействовать единичными импульсами, меняя очередность срабатывания электродных пар. В литературе приводятся различные схемы реализации многоэлектродных систем, одной из которых является подключение нескольких каналов разряда последовательно к одному генератору импульсных токов. В работе [1] приведена многоэлектродная система как один из вариантов реализации электродных систем. В патенте [2] описано устройство для электрогидравлической штамповки, которое содержит два последовательных разрядных промежутка, что обеспечивает расширение технологических возможностей за счет обеспечения регулирования поля давления. В работе [3] приводится схема прессования порошков на многоэлектродной системе с последовательными разрядными промежутками. Отмечена ее эффективность по сравнению со схемой одностороннего нагружения. В патенте [4] использована схема последовательного соединения электродных систем от одного генератора импульсных токов для получения высоких и сверхвысоких давлений. В [5] предложены различные схемы использования последовательного соединения каналов разряда в разрядных камерах. В рассмотренных работах не приведены энерге-

тические характеристики каналов разряда, что не позволяет разрабатывать научно обоснованные рекомендации к проектированию, разработке и созданию разрядно-импульсных технологий на основе последовательных электродных систем. Поэтому актуальной научно-технической задачей является исследование энергетических характеристик нескольких водных разрядных промежутков, соединенных последовательно.

Цель работы: экспериментально определить возможность целенаправленного распределения энергетических характеристик разряда на три электродные системы, соединенные последовательно.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА И ОБОРУДОВАНИЯ

Эксперименты и измерения были проведены по схеме, приведенной на рис. 1 (с применением делителей напряжения и коаксиального шунта тока [6]), где C – емкость накопителя; U_0 – зарядное напряжение; БП – блок поджига; Ш – коаксиальный шунт тока (сопротивление $R_{ш} = 0,00879$ Ом); Ch1, Ch2, Ch3 – каналы разряда 1, 2, 3 соответственно; D1, D2, D3 – емкостные делители напряжения. Делители напряжения включали через щупы с коэффициентом деления 10. Для делителей напряжения коэффициенты деления составляли: Кд1 = 550; Кд2 = 259; Кд3 = 323. Индуктивность контура на трех разрядных промежутках равнялась 7,5 мкГн. Емкость конденсаторной батареи

составляла 1 и 2 мкФ. Напряжение заряда – от 25 до 27,5 кВ. (Запасаемая энергия от 312,5 до 378 Дж для емкости 1 мкФ и от 625 до 784 Дж для емкости 2 мкФ.) Для регистрации сигналов использовали четырехканальный осциллограф Tektronix TDS 2024B, подключенный через источник бесперебойного питания.

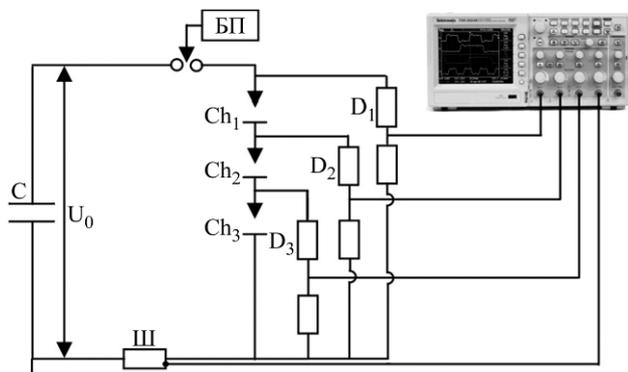


Рис. 1. Схема измерений силы тока и напряжения.

Длины разрядных промежутков для различных серий опытов составляли: три разрядных промежутка по 3 мм, один разрядный промежуток длиной 9 мм. Также были рассмотрены варианты последовательного соединения с длинами разрядных промежутков 5, 4, 3 мм и 3, 4, 5 мм. В дальнейшем авторы будут называть последовательно соединенные промежутки вариантами 3-3-3, 5-4-3 и 3-4-5, опуская обозначения мм. Электродная система – «стержень-плоскость». Разряд не инициировался. Диаметр электрода составлял 6 мм, круглая плоскость (радиус 15 мм), выступающая конусная часть электрода, равнялась 5 мм.

После регистрации осциллограмм тока и напряжения обработка результатов проводилась в пакете Microsoft Excel, несогласование тока и напряжения устранялось численной компенсацией. Выделившаяся энергия подсчитывалась путем численного интегрирования кривой мощности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Соединение каналов разряда последовательным способом позволяет распределить энергию конденсаторной батареи между каналами разряда и разнести в пространстве силовое воздействие на объект обработки. Была проверена возможность реализации разряда на двух последовательных разрядных промежутках. После получения предварительных данных были проведены эксперименты на трех последовательных разрядных промежутках.

Эксперименты показали, что энергия, которая выделяется на трех последовательных разрядных

промежутках по 3 мм, сопоставима с энергией, которая выделяется на одном разрядном промежутке длиной 9 мм (157 и 169 Дж соответственно). На рис. 2–4 представлены некоторые осциллограммы силы тока и напряжения, где u_1 , u_2 , u_3 – напряжения на первом, втором и третьем разрядных промежутках соответственно. Видно одновременное начало выделения энергии на трех каналах разряда.

Проанализируем, например, осциллограмму на рис. 3. В начальный момент времени сопротивление первого разрядного промежутка наибольшее, так как падение напряжения на нем больше, чем на втором и третьем промежутках. При одинаковом токе там происходит выделение большего количества энергии, и, вероятно, первый промежуток замыкается. В этот момент времени сопротивление третьего и второго разрядных промежутков приблизительно равны и в сумме больше сопротивления первого разрядного промежутка. После замыкания первого разрядного промежутка его сопротивление падает. Из осциллограммы можно видеть скачок напряжения в момент времени 40 мкс на третьем и втором разрядных промежутках, между которыми перераспределяется напряжение. Затем лидер прорастает в третьем разрядном промежутке (120 мкс), его сопротивление падает, через некоторое время лидер замыкает второй промежуток, и начинается процесс разряда.

В экспериментальном стенде не предусматривалась фоторегистрация процессов в межэлектродных промежутках. Наличие этих данных в сопоставлении с осциллограммами электрических характеристик позволило бы более детально, комплексно проанализировать как процессы формирования, так и развития разрядов на межэлектродных промежутках, соединенных последовательно. Анализ полученных результатов не позволяет убедительно пояснить ход процессов при формировании каналов разряда на предпробойных стадиях в межэлектродных промежутках, соединенных последовательно, поэтому авторы лишь предполагают описанный выше ход процессов в электродных парах. Необходимо дальнейшее его изучение.

На рис. 5 показан средний процент выделившейся энергии для различных параметров разрядного контура и длин последовательных разрядных промежутков. На третьем канале наблюдается самое меньшее выделение энергии при использовании вариантов 5-4-3 и 3-3-3, при этом в первом и втором каналах разряда выделялось приблизительно одинаковое количество энергии. При варианте 3-4-5 наименьшее коли-

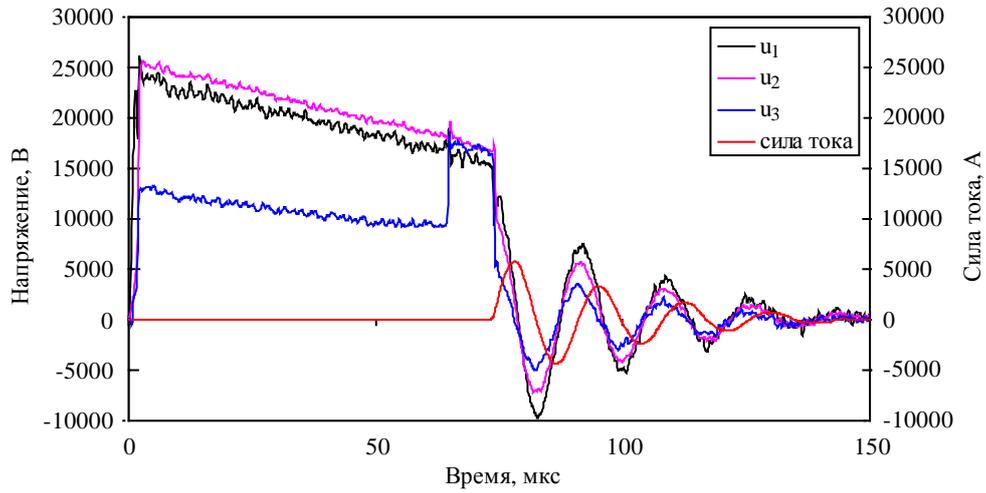


Рис. 2. Напряжение и сила тока, вариант 3-3-3, $C = 1$ мкф, $U_0 = 25,3$ кВ.

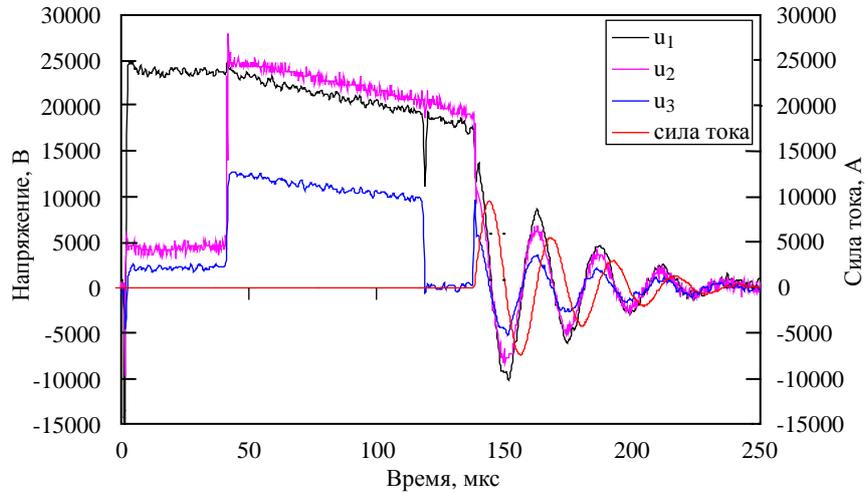


Рис. 3. Напряжение и сила тока, вариант 5-4-3, $C = 2$ мкф, $U_0 = 26,0$ кВ.

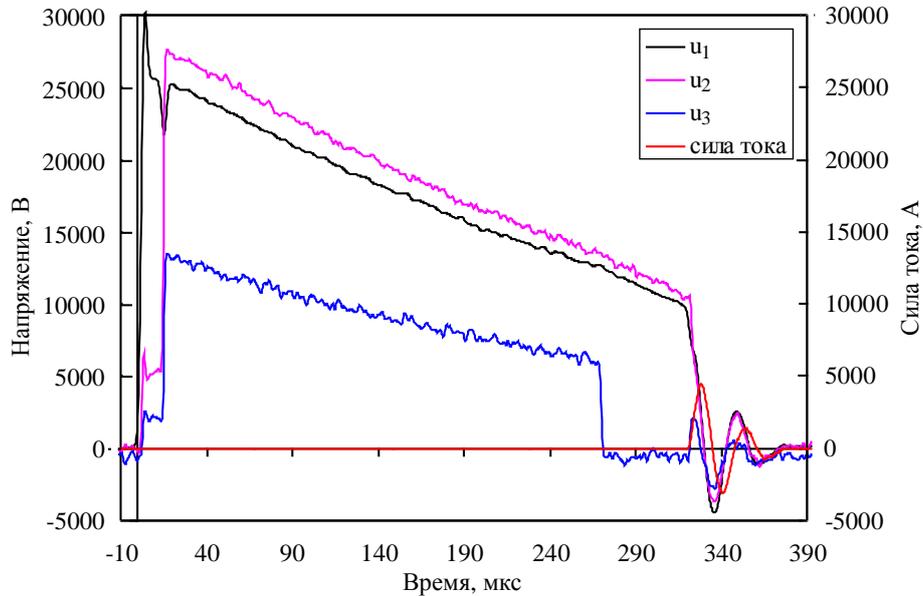


Рис. 4. Напряжение и сила тока, вариант 3-4-5, $C = 2$ мкф, $U_0 = 27,5$ кВ.

чество энергии выделялось в первом и третьем разрядных промежутках. Анализ полученных данных позволяет утверждать, что, подбирая параметры разрядного контура и длины разрядных промежутков, возможно целенаправ-

ленное перераспределение выделяемой энергии между последовательными каналами разряда, что приводит к изменению полей давлений и расширению технологических возможностей электрогидравлических прессов.

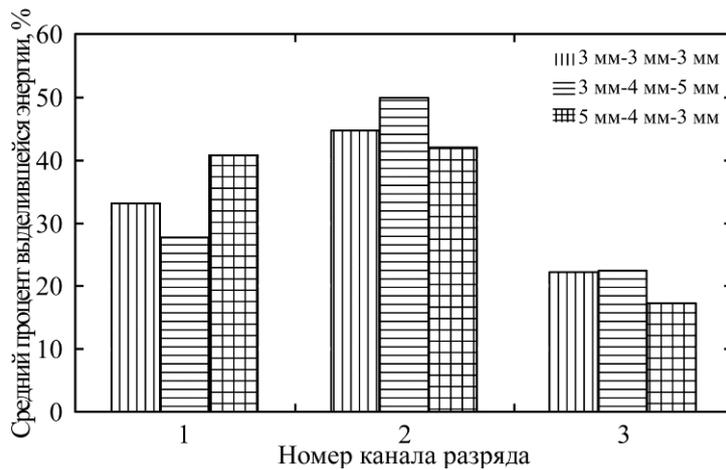


Рис. 5. Средний процент выделившейся энергии в каналах разряда.

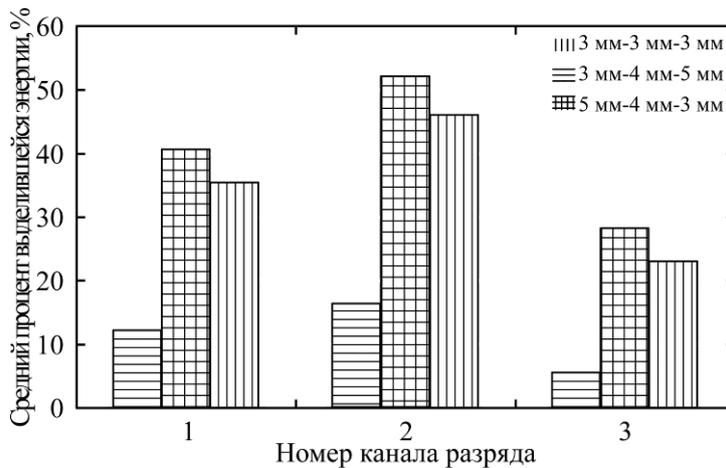


Рис. 6. Среднее значение энергии на единицу длины канала разряда.

На рис. 6 показано среднее значение энергии на единицу длины по каждому в отдельности каналу разряда. Для варианта с разрядными промежутками 3-4-5 это среднее значение наименьшее во всех трех каналах по сравнению с вариантами 3-3-3 и 5-4-3 (необходимо отметить значительно меньшее количество выделившейся энергии по сравнению с зеркальным вариантом 5-4-3 одинаковой суммарной длины), что связано с потерями на пробой и его особенностями для данной конфигурации длин промежутков. Для всех трех вариантов длин разрядных промежутков наибольшее значение средней удельной энергии фиксируется на втором разрядном промежутке, а наименьшее – на третьем, что соответствует отмеченному выше на рис. 5 проценту выделения энергии.

ВЫВОДЫ

Экспериментально определена возможность целенаправленного распределения энергетических характеристик разряда на три электродные системы, соединенные последовательно, что расширяет технологические возможности процессов обработки материалов в разрядных камерах сложной геометрии.

При различных вариантах длин последовательно соединенных разрядных промежутков электрические характеристики разряда будут различаться. При этом суммарные потери на формирование каналов практически одинаковые и равны потерям при разряде на один канал, длина которого соответствует сумме длин трех промежутков.

При схеме 3-4-5 наименьшее количество энергии выделялось в первом и третьем каналах разряда, а также суммарное количество выделившейся энергии меньше по сравнению с зеркальным вариантом 5-4-3. В схеме 5-4-3 наименьшее количество энергии выделялось в третьем канале разряда, тогда как в первом и втором каналах разряда количество выделившейся энергии сопоставимо.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гулый Г.А., Малюшевский П.П. и др. *Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах*. Киев: Наукова думка, 1977. 177 с.

2. Кузнецов Г.П., Гребенкин Н.Б. Пат. № 3336789/27 СССР, МПК В21D 26/12. *Устройство для электрогидравлической штамповки*. Заявитель Кировский политехнический институт. Заявл. 11.09.1981; опубл. 10.07.2016. Бюл. № 19.
3. Чачин В.Н., Богоявленский К.Н., Вагин В.А. *Электрогидроимпульсная обработка материалов в машиностроении*. Минск: Наука и техника, 1987. 231 с.
4. Точиллов Я.Я., Малюшевский П.П. Пат. № 313588 СССР. МПК В21D 26/00. *Устройство для получения высоких и сверхвысоких давлений*. Заявитель: Проектно-конструкторское бюро электрогидравлики. № 4430423; заявл. 03.03.1988;
5. Пат. EP 2 292 343 B1, МПК В21D 26/12. *Vorrichtung zur elektrohydraulischen Blechumformung*. Thewes Reinhold; Patentinhaber: Thewes, Reinhold 57259 Freudenberg(DE) 04.09.2009;
6. Шваб А. *Измерения на высоком напряжении*. М.: Энергия, 1973. 233 с.

Summary

The paper considers the scheme of a serial connection of water discharge gaps from the pulse current generator. A possibility of a targeted distribution of the energy characteristics of the discharge between three electrode systems connected in series is determined. The results of experimental studies of the energy redistribution in the discharge channels are presented.

Keywords: electric discharge in water, discharge gap, pulse current generator, energy redistribution, energy characteristics, electro-hydraulic effect.