

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ ИНИЦИИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА НА ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОБОЯ ЖИДКИХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕД

*НИИ высоких напряжений при Томском политехническом университете,
пр. Ленина, 2А, г. Томск, 634050, Россия*

Одной из проблем использования электроразрядных технологий является способность формирования канала разряда в проводящих средах, у которых удельное сопротивление составляет от $\rho = 4 \cdot 10^2$ до $3 \cdot 10^3$ Ом·см. Такие удельные сопротивления характерны для технической воды, цементных и глинистых буровых растворов, а также для сырья, из которых в процессе воздействия электрических разрядов выходят в жидкость проводящие растворимые компоненты.

Повышение проводимости обрабатываемых жидких сред приводит к резкому увеличению предпробивных потерь, вплоть до величин, соизмеримых с энергией импульса, что, как правило, значительно ухудшает или полностью останавливает технологический процесс. Для уменьшения потерь энергии в предпробивной стадии и формировании локального канала разряда используют различные методы инициирования разряда; большинство из них связаны с увеличением, а в некоторых случаях с ликвидацией затрат энергии на создание перегретой неустойчивости на потенциальном электроде. Например, подвод пузырька воздуха к потенциальному электроду, а не образование его за счет ионных токов; создание повышенной напряженности поля на потенциальном электроде за счет параллельной работы генераторов тока и напряжения (ГИТ – ГИН) и других методов, которые, как правило, усложняют электрическую или технологическую схемы установок. Кроме того, эти методы не всегда можно организовать в некоторых условиях, например, в буровых скважинах или в вязких растворах. Кардинальным решением этой проблемы является использование взрывающихся проводников, однако при многоимпульсной обработке возникают проблемы с подачей проволок в рабочий промежуток, что существенно ограничивает область применения этой методики.

В данной работе рассматриваются два метода инициирования разряда в проводящих жидкостях, которые достаточно просто реализовать в электроразрядных технологиях. Первый метод связан с использованием диэлектрической вставки в потенциальный электрод, а второй – с использованием протекающего зарядного тока конденсаторной батареи генератора импульсов через рабочий промежуток. Эти методы должны влиять на условия возникновения перегретой неустойчивости у потенциального электрода.

В качестве источника импульсов использовался генератор импульсных токов (ГИТ) с параметрами: $U_0 = 30 - 70$ кВ, $L = 5$ мкГ, $W_0 = 0,180 - 4,5$ кДж и частотой ~ 1 Гц. Рабочая камера представляла собой металлический стакан с внутренним диаметром 280 мм, потенциальный электрод с металлическим стержнем диаметром 19 мм, который через проходной изолятор и изоляционную крышку вводился в рабочую камеру. Длина изолятора позволяла варьировать длину оголенной части потенциального электрода (оголенная часть ~ 10 мм). Длина рабочего промежутка между электродами варьировалась от 10 до 100 мм. В сериях опытов число импульсов составляло от 20 до 30 импульсов. Вероятность пробоя промежутка оценивалась по форме импульсов напряжения с использованием запоминающего осциллографа С8-17. Эксперименты проводились при положительной полярности импульсов, подаваемых на потенциальный электрод. В качестве жидких сред в работе применялась техническая вода с удельным сопротивлением и цементный раствор с водоцементным соотношением 0,5 и удельным сопротивлением $\rho \approx 1 \cdot 10^3$ Ом·см.

Рассмотрим метод инициирования разряда при использовании диэлектрической вставки в потенциальный электрод. На рис.1 представлена конструкция потенциального электрода с диэлектрической вставкой.

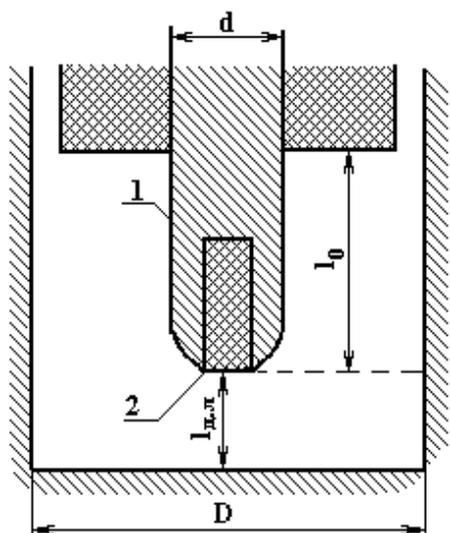


Рис.1. Конструкция электродной системы.

1 – потенциальный электрод; 2 – диэлектрическая вставка.
 D – внутренний диаметр рабочей камеры, d – диаметр потенциального электрода, $l_{р.п.}$ – длина рабочего промежутка, l_0 – длина оголенной части потенциального электрода

Использование изоляционной вставки как инициирующего элемента основывается на следующих предпосылках. Известно [1], что наиболее слабым звеном электродной системы является так называемая «тройная точка», которая находится на границе изоляции потенциального электрода ($\epsilon_{и} \approx 2 - 3$), металла электрода ($\epsilon_{м} \approx \infty$) и обрабатываемой среды ($\epsilon_{с} \approx 80$). Развитие разряда зачастую начинается с этой точки, хотя она находится на большем расстоянии от заземленного электрода, чем составляет длина рабочего промежутка. Это, как правило, приводит к выходу из строя изоляции потенциального электрода

(пробоем и разрушению). Существует мнение, что этот процесс связан с концентрацией и искажением поля вблизи потенциального электрода, тем более, что использование изоляционной вставки в газовых разрядниках для стабилизации времени срабатывания достаточно известно [2]. Полагаем, что вынос тройной точки непосредственно в рабочий промежуток может значительно улучшить условия создания перегретой неустойчивости вблизи потенциального электрода за счет увеличения локальной напряженности поля и соответственно уменьшения времени до момента развития разряда [3].

Нами проведена серия опытов по пробоем технической воды при энергии импульса $W_0 = 0,54$ кДж и напряжении $U_0 = 30$ кВ со вставкой из различных диэлектрических материалов. Длина рабочего промежутка изменялась от 10 до 60 мм. Оценивалась вероятность пробоя промежутков. Результаты представлены в табл. 1, для сравнения в ней даны вероятности пробоя рабочих промежутков.

Как видно, различные изоляционные вставки, расположенные в торце потенциального электрода, увеличивают вероятность пробоя промежутка по сравнению с пробоем этих же промежутков без вставки $\sim (15 - 22\%)$, что указывает на ее влияние при образовании перегретой неустойчивости вблизи потенциального электрода. Кроме того, различные материалы изоляционной вставки по-разному влияют на вероятность пробоя. Лучшие показатели оказались у полиэтилена низкого давления, а резина и текстолит практически не влияют на вероятность пробоя. Учитывая то, что диэлектрическая проницаемость у всех материалов достаточно близка, утверждение об искажении поля вблизи потенциального электрода и его влияние на предпробивные процессы проблематичны.

В исследованиях также отмечено, что через 10 – 30 импульсов, поданных на электрод, влияние изоляционной вставки на вероятность пробоя промежутка прекращается. Этот экспериментально подтвержденный факт не может быть объяснен концентрацией поля у потенциального электрода. Интересно, что замена изоляционной вставки на новую из того же материала, снова увеличивает вероятность пробоя промежутка и через определенное количество импульсов процесс повторяется. Влияние вставки на искажение поля в рабочем промежутке нами проверено при установке ее в заземленный электрод (где конфигурация поля близка к равномерному), причем высота вставки достигала 80% от длины рабочего промежутка. В этом положении вставки зафиксировано отсутствие эффекта.

Таблица 1

Материал вставки	Вероятность пробоя, %					
	Рабочий промежуток, мм					
	10	20	30	40	50	60
Полиэтилен низкого давления	81	77	69	60	44	28
Полиэтилен высокого давления	78	74	65	58	37	26
Поливинилхлорид	75	71	64	54	38	21
Силикон	73	67	60	52	35	19
Резина	46	34	18	7	2	0
Текстолит	45	32	16	6	1	0
Электрод без вставки	40	26	9	1	0	0

На наш взгляд, качественно объяснить влияние изоляционной вставки на электрический пробой можно следующим образом: при подаче первых импульсов в изоляционной вставке образуется объемный положительный заряд, который создает на поверхности металл–изоляция разность потенциалов, достаточную для пробоя микрозазоров; при этом образуются пузырьки газа, которые и являются иницирующим фактором пробоя промежутка. По мере увеличения объемного заряда разность напряжений в микрозазорах уменьшается и процесс газообразования прекращается, поэтому через определенное количество импульсов вставка прекращает оказывать влияние на пробой промежутка. Таким образом, процесс инициирования разряда изоляционной вставкой, связанный с эффектом на границе металл–изоляция, может быть использован в технологиях, где требуется однократное воздействие импульсов. При многоимпульсном процессе этот метод инициирования не может быть рекомендован.

Второй метод инициирования, рассмотренный в работе, связан с использованием зарядного тока конденсаторной батареи для уменьшения времени создания перегретой неустойчивости вблизи потенциального электрода [4, 5]. В работе использованы две схемы подключения рабочего промежутка, представленные на рис.2. Схема рис.2, а является традиционной, в которой разрядный промежуток отделен от генератора импульсов разрядником. По схеме рис.2, б рабочий промежуток включен в зарядную цепь генератора импульсов. При этом до формирования импульса по рабочему промежутку протекает зарядный ток

$$i_3(t) = \frac{U_0}{R_0} \cdot e^{-\frac{t_3}{t_3 - RC}},$$

где R_0 – сопротивление зарядного промежутка, U_0 – зарядное напряжение генератора, t_3 – время зарядки конденсаторной батареи, C – емкость конденсаторной батареи.

Плотность тока вблизи потенциального электрода

$$j_3(t) \approx \frac{U_0}{\pi \cdot r_3^2 \cdot R_0} \cdot e^{-\frac{t_3}{t_3 - RC}} \approx \frac{4U_0}{\pi \cdot d^2 \cdot R_0} \cdot e^{-\frac{t_3}{t_3 - RC}},$$

где d – диаметр потенциального электрода.

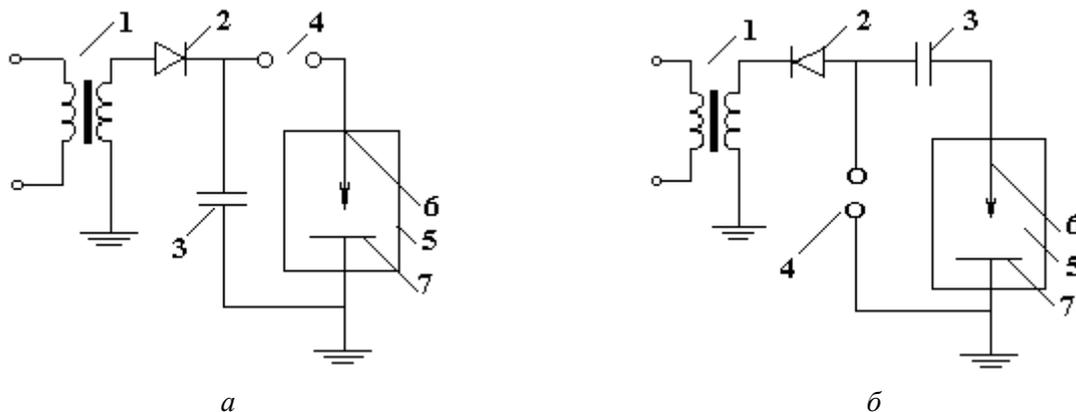


Рис.2. Схемы подключения рабочего промежутка.

а: без зарядного тока при положительной полярности высоковольтного электрода, б: с зарядным током при положительной полярности высоковольтного электрода. 1 – высоковольтный трансформатор, 2 – выпрямитель, 3 – конденсаторная батарея, 4 – шаровый разрядник, 5 – рабочая камера, 6 – высоковольтный электрод, 7 – заземленный электрод

Если время создания перегретой неустойчивости будет достаточно мало ($t_n \ll t_3$), то можно ожидать образования газовых пузырьков еще до подачи импульса от генератора. В этом случае пузырьки, образованные на стадии зарядки конденсаторной батареи, будут иницирующим фактором при пробое рабочих промежутков. Если при изменении зарядного тока и напряженности поля у потенциального электрода при зарядке конденсаторной батареи не может создаваться перегретая неустойчивость жидкости, то этот объем жидкости будет иметь повышенную температуру, и при подаче импульса условия для возникновения перегретой неустойчивости улучшатся.

Опыты проводились на технической воде и водных растворах цемента в той же рабочей камере и электродной системе. Результаты оценки вероятности пробоя в технической воде представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, вероятность пробоя рабочих промежутков увеличивается с использованием зарядного тока конденсаторной батареи. На энергиях импульса 0,54 и 1,35 кДж этот эффект более заметен в связи с тем, что предпробойные потери в электродной системе соизмеримы с энергией импульса.

Таблица 2

Длина рабочего промежутка $l_{р.п.}$, мм	Энергия импульса, кДж					
	0,54		1,35		2,25	
	схема, а	схема, б	схема, а	схема, б	схема, а	схема, б
10	100	100	100	100	100	100
20	90	100	100	100	100	100
30	65	85	100	100	100	100
40	55	65	94	100	100	100
50	10	46	71	95	100	100

В табл. 3 представлены данные по вероятности пробоя водоцементного раствора с удельным сопротивлением $\rho = 4 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

Таблица 3

Длина рабочего промежутка $l_{р.п.}$, мм	Энергия импульса, кДж					
	0,54		1,35		2,25	
	схема, а	схема, б	схема, а	схема, б	схема, а	схема, б
10	12	35	100	100	100	100
20	2	10	95	100	100	100
30	0	0	68	84	98	100
40	0	0	56	68	74	91

Как видно из представленных данных, эффект инициирования разряда в таких проводящих средах, как водные цементные растворы, также присутствует.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Использование в качестве иницирующего фактора изоляционной вставки в потенциальный электрод или протекание зарядного тока через рабочий промежуток позволяет увеличить вероятность пробоя в проводящих средах.
2. Использование изоляционной вставки целесообразно в электродных технологиях, где используется в процессе несколько импульсов.
3. Использование схем, обеспечивающих протекание зарядных токов в рабочем промежутке, можно рекомендовать для использования практически во всех электроразрядных технологиях, особенно при обработке высокопроводящих жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрический разряд в воде. М., 1971.
2. А. с. 1017142 СССР от 28.12.1981. Способ поджига управляемого разрядника. / Подплетнев В.И., Рязанов Н.Д., Шубин Б.Г.
3. Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей. Томск, 1975.
4. Барская А. В. Исследования диспергирования растительного сырья и экстракция водорастворимых веществ с использованием импульсных разрядов: Дис. канд. техн. наук. Томск, 1998.
5. Филатов Г.П. Активация глинистых буровых растворов импульсными электрическими разрядами: Дис. канд. техн. наук. Томск, 1985.

Поступила 27.06.03.

Summary

Two methods of discharge initiation in conducting liquid are considered as they can be easily realized in electro-discharge procedures. A dielectric insert in the potential electrode is used in the first method and the second methods uses the flowing charging current of a pulse generator capacitor battery through the working gap. The methods exert an effect on overheating instability forming around the potential electrode and allow to increase probability of breakdown in conducting media.