

ОРИЕНТИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ПО ДЛИННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ИСКРЕ

Г.Н. Александров, О.Г. Иванов,
О.П. Иванов, Г.Д. Кадзов, Р.И. Окунев,
Л.Н. Пахомов, В.Ю. Петрунькин

Значительный интерес и практический интерес представляют исследования электрического разряда в воздухе при комбинированном воздействии высокого напряжения, приложенного к разрядному промежутку, и интенсивного лазерного излучения, вызывающего оптический пробой воздуха (лазерную искру) [1-4].

В настоящем сообщении приводятся результаты экспериментальных исследований развития электрического разряда в воздушном промежутке большой длины (2,5-3,5 м), частично заполненном лазерной искрой.

Исследования проводились в разрядном промежутке, образованном вертикальным металлическим стержнем, установленным на заземленной плоскости, и высоковольтным стержневым электродом, подвешенным над ним. Схема испытаний приведена на рис. 1.

Развитие электрического разряда в промежутке происходило при приложении к высоковольтному электроду импульса напряжения от каскада испытательных трансформаторов 2250 кВ мощностью 4950 кВА.

В экспериментах использовался моноимпульсный неодимовый лазер с выходной энергией 150 Дж при длительности импульса 50 нс и угловой расходимостью $3 \cdot 10^{-4}$.

В разрядный промежуток световой пучок лазера выводился с помощью призмы полного внутреннего отражения, ориентирующей канал лазерной искры вертикально, параллельно оси разрядного промежутка (рис. 1).

При фокусировке лазерного луча линзой с фокусным расстоянием, равным 3 м, расстояние между отдельными очагами оптического пробоя воздуха составляло 3-5 см на протяжении 1,5-2,0 м. Верхняя и нижняя границы плотной части лазерной искры находились на высоте 5 и 3 м.

Высота заземленного металлического электрода равнялась 3 м, а длина разрядного промежутка составляла 2,5-3,5 м. При испытаниях высоковольтный электрод смещался относительно оси заземленного стержня в горизонтальном направлении на расстояние 1 м таким образом, что его ось и оптическая ось лазерного пучка, также имеющего смещение на 0,2 м, проходили по разные стороны от заземленного электрода. Такая геометрия эксперимента существенно уменьшала случайность развития электрического разряда по лазерной искре.

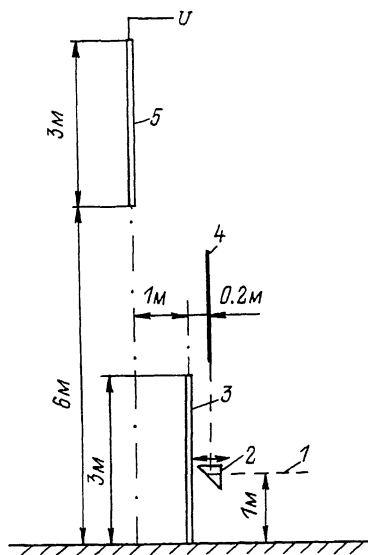


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 - нефокусируемый лазерный луч, 2 - поворотная призма, совмещенная с фокусирующей линзой, 3 - заземленный электрод, 4 - область лазерной искры, 5 - высоковольтный электрод.

Синхронизация работы каскада трансформаторов и лазерной установки осуществлялась введением регулируемой задержки между подачей импульса высокого напряжения и импульсом, запускающим лазер. Синхронизация контролировалась с помощью запоминающего осциллографа, на который подавались сигналы с высоковольтного делителя напряжения и фотоприемника, регистрирующего лазерный импульс.

Ввиду большого разброса предразрядных времен для исследованного промежутка типа стержень ($\tau = 2100 \pm 200$ мкс) временной сдвиг между подачей лазерного импульса и моментом электрического пробоя разрядного промежутка изменился при испытаниях от 50 до 400 мкс при среднем времени запаздывания электрического пробоя относительно лазерного импульса около 250 мкс.

Регистрация лазерной искры и траектории развития электрического разряда производилась методом статического фотографирования.

Исследования ориентировки электрического разряда проводились при различной полярности прикладываемого к высоковольтному электроду импульса напряжения, обеспечивающего пробой разрядного промежутка с вероятностью, близкой к 1.0.

Как показали испытания, развитие разряда в воздушном промежутке без воздействия лазерной искры происходило практически по кратчайшему пути между металлическими электродами при приложении к высоковольтному электроду как положительного, так и отрицательного импульса напряжения. Типичная фотография электрического пробоя в разрядном промежутке при отсутствии лазерной искры приведена на рис. 2, а.

На рис. 2, б показан оптический пробой в воздухе без приложения импульса высокого напряжения к разрядному промежутку. При воздействии лазерной искры и импульса напряжения положительной полярности наблюдалось прохождение части электрического разряда по каналу лазерной искры в 11-ти случаях из

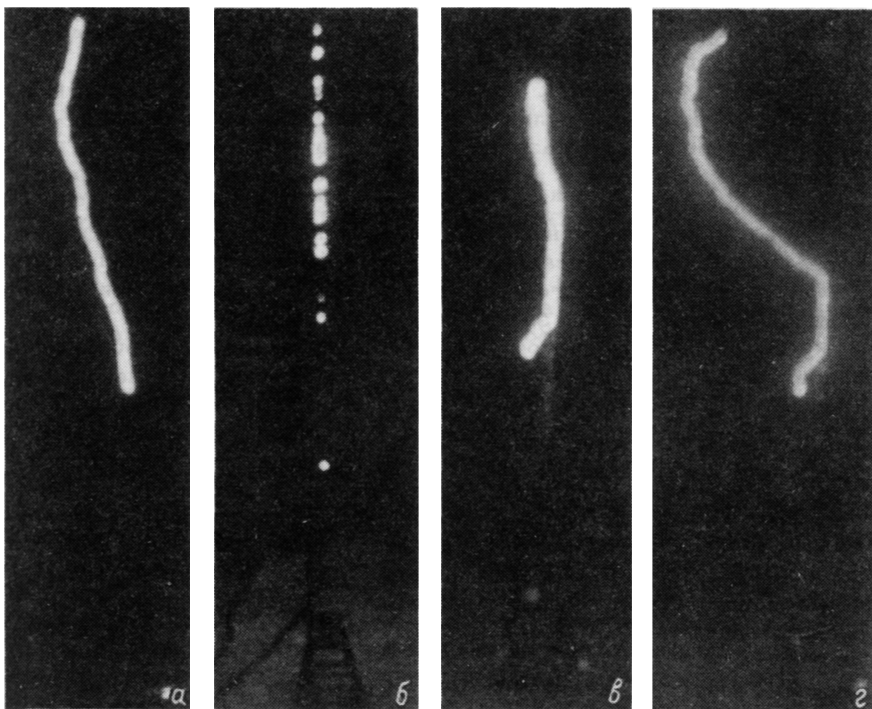


Рис. 2. Типичные фотографии. а - электрический пробой промежутка без лазерной искры; б - лазерная искра; в, г - пробой промежутка, заполненного лазерной искрой при отрицательном и положительном высоковольтном импульсе.

40. При этом развитие разряда по каналу искры происходило на части траектории, составляющей 30-50 % от длины ее плотной части (рис. 2, в).

В серии испытаний при приложении импульса отрицательной полярности прохождение части электрического разряда по лазерной искре наблюдалось в 17-ти случаях из 50. Ориентированная по каналу искры часть траектории электрического разряда увеличилась примерно в полтора раза по сравнению с ее длиной при положительном импульсе напряжения (рис. 2, г).

Наблюдаемое развитие электрического разряда по лазерной искре, по-видимому, объясняется образованием столба воздуха с повышенной температурой и пониженным давлением при релаксации лазерной искры [4], а также тем, что в сильном электрическом поле разрядного промежутка с напряженностью порядка 4.5 кВ/см при положительном импульсе напряжения и 8 кВ/см при отрицательном импульсе плазменные образования лазерной

искры служат дополнительным источником мощных стримеров, преобразуемых в лидерный канал (аналогичное явление отмечено в [5], где небольшие металлические цилиндры играли роль „зародышей“ стримеров). Это согласуется с более высокой вероятностью и большей длиной ориентации по лазерной искре части электрического разряда при отрицательном импульсе напряжения, при котором выше средняя разрядная напряженность поля в промежутке.

Расшифровка полученных при испытании осциллограмм и фотографий позволила установить, что наиболее протяженное прохождение электрического разряда по каналу лазерной искры соответствует временной задержке электрического пробоя в промежутке относительно момента оптического пробоя в воздухе в пределах от 230 до 300 мкс. При этом стримерная зона развивающегося электрического разряда выносит потенциал высоковольтного электрода в различный промежуток, усиливает напряженность поля в нем, но еще не достигает той фазы развития, при которой происходит обязательная ориентировка разряда на заземленный электрод. В условиях, когда временная задержка между электрическим разрядом в промежутке и оптическим пробоем превышала 300 мкс, напряженность электрического поля в промежутке не достигала величины, обеспечивающей развитие встречных стримеров с плазменными образованиями лазерной искры и исключения их „рассасывания“. Напротив, при времени задержки менее 230 мкс стримерная зона электрического разряда приближается к заземленному электроду и определяет ориентировку на него разряда по кратчайшему пути.

Таким образом, на основании экспериментальных данных можно сделать следующие выводы.

1. Лазерная искра оказывает существенное влияние на ориентировку электрического разряда даже при относительно малом заполнении плазменными образованиями разрядного промежутка, когда суммарная протяженность очагов оптического пробоя, расположенных в плотной части искры на расстоянии 3–5 см друг от друга, составляет не более 0.1 длины разрядного промежутка.

2. Вероятность прохождения электрического разряда по каналу лазерной искры и длина ориентированной части разряда определяются напряженностью электрического поля в промежутке и при отрицательном импульсе напряжения превышают указанные параметры, зафиксированные при положительном импульсе напряжения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К о о р т м а n D.W., S a u m K.A. // Appl. Phys. 1973. V. 44. N 12. P. 5328–5336.

- [2] Александров Г.Н., Петрунькин В.Ю., Пахомов Л.Н., Кадзов Г.Д. и др. // ЖТФ. 1977. Т. 47. В. 10. С. 2122-2124.
- [3] Александров Г.Н., Петрунькин В.Ю., Пахомов Л.Н., Кадзов Г.Д. и др. // Электричество. 1980. № 2. С. 47-48.
- [4] Асиновский Э.И., Василян Л.М., Нестеркин О.П. // Письма в ЖТФ, 1988. Т. 14. В. 1. С. 41-44.
- [5] Анисимов Е.И., Богданов О.В., Гайворонский А.С., Гольцов В.А., Овсянников А.Г. // Электричество. 1988. № 11. С. 35-58.

Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
27 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 16 26 августа 1989 г.
03; 12

О ПОРОГОВЫХ КАВИТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТАХ В ИМПУЛЬСНЫХ ВОЛНАХ РАЗРЕЖЕНИЯ

А.С. Бесов, В.К. Кедринский,
Е.И. Пальчиков

В работе представлены результаты экспериментального исследования порога пузырьковой кавитации при нагружении жидкости микросекундным импульсом. Использование независимых дифракционной и электромагнитной методик с различной разрешающей способностью позволило установить три последовательно возникающих пороговых эффекта при возрастании амплитуды ударной волны, взаимодействующей со сводобной поверхностью жидкости.

Эксперименты выполнялись на миниатюрной гидродинамической ударной трубке в виде прозрачной кюветы (рис. 1) с изменяемым диаметром (60-80 мм), заполненной дистиллированной водой. Центральная часть дна кюветы представляет собой мембрану диаметром 30 мм из дюралюминия толщиной 800 мкм, которая возбуждается импульсом магнитного поля, создаваемым в зазоре между мембраной и плоской спиральной катушкой в результате разряда на нее батареи конденсаторов. Мембрана передает давление в жидкость, где формируется ударная волна, время нарастания фронта которой около 1 мкс при фиксированной длительности 4 мкс. Использование такого метода генерации ударной волны позволяет менять ее параметры в широком диапазоне значений и обеспечить высокую их стабильность.