

ИМПУЛЬСНЫЙ РАЗРЯД В ВОДЕ

КУЖЕКИН И.П., КУРБАНОВ Э.Д.

*Московский Энергетический Институт
(Технический Университет).*

Рассматриваются процессы в воде при воздействии сильных электрических полей и импульсных разрядов. Показано, что импульсное электрическое поле может оказывать влияние на кластерную структуру воды, а разряды вызывают образование ударной волны и расходящихся потоков жидкости, кавитационные колебания образующейся паро-газовой полости, ультрафиолетового излучения. Высказывается предположение, что в сочетании импульсного разряда с наносекундным импульсом напряжения возможно получение импульса рентгеновского излучения. Отмеченные эффекты являются основой технологического использования разряда в воде, обеззараживания питьевой воды и сточных вод.

ВЫСОКИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ВОДЕ

Высокие напряженности электрического поля в воде ($E \approx 10^5$ В/см и выше) возможно создавать только в импульсном режиме при длительности импульсов напряжения, подаваемого на электроды, погруженные в воду, порядка микросекунд. При этом нагрев воды из-за джоулева тепла может быть незначителен даже при высокой электропроводности воды.

Напряженность электрического поля может влиять на кластерную структуру воды. Изменяя напряженность, длительность импульсов и частоту их следования, можно добиться желаемой кластерной структуры, и, тем самым, прозрачность движения через структуру воды ионов растворенных в воде солей. В сочетании с действием гравитационных или искусственно созданных центробежных сил можно добиться расслоения воды с разными концентрациями ионов, то есть реализацию процесса обессоливания.

Высокие напряженности электрического поля в воде могут губительно действовать на микроорганизмы, присутствующие в воде. Живые клетки имеют мембрану, не проводящую электрический ток. В мембране имеются прозрачные для ионов натрия, кальция и других элементов каналы. В этих каналах при высоких средних напряженностях будут происходить электрические разряды, вызывающие микровзрывы в мембране, то есть гибель живых клеточных организмов. Это значит, что будет происходить обеззараживание воды.

КОРОННЫЙ РАЗРЯД В ВОДЕ

Если в воде создать сильное резко неоднородное импульсное электрическое поле, то в области, непосредственно примыкающей к электроду с малым радиусом кривизны (острие или провод), возникнет частичный разряд, напоминающий коронный разряд в воздухе. Этот разряд состоит из разветвленной сети так называемых лидерных каналов, в которых играет роль термическая ионизация из-за высокой электропроводности каналов и окружающей среды. В лидерных каналах возрастает температура и давление, воздействующие на окружающую среду. Повышение температуры приводит к интенсивному свечению, в том числе и излучению ультрафиолета.

При коронном разряде в воде ярко выражен эффект полярности. Долидерное время-время до образования лидеров для отрицательного острия и положительной плоскости

несколько меньше, чем в случае положительного острья, если $E \leq 85$ кВ/см. При больших $E \sim 350$ кВ/см ситуация обратная. В этом случае время образования лидера составляет для положительного острья не более 0,5 мкс, а для отрицательного – 1-2 мкс. В зависимости от полярности острья по-разному происходит развитие лидеров в системе острье-плоскость.

При отрицательной полярности напряжения наблюдается более густая сеть лидерных каналов, которые распространяются в воде со скоростью не выше звуковой (1,5 мм/мкс). При положительной полярности эта скорость существенно выше (при напряжении ~ 100 кВ эта скорость составляет ~ 20 мм/мкс). Таким образом, наибольшие благоприятные условия для возникновения лидеров существуют на положительном острье. Чем выше напряженность поля у острья, тем больше число зарождающихся лидеров. В лидерных каналах возможно появление так называемых убегающих электронов, которые приводят к тормозному рентгеновскому излучению.

Таким образом, импульсный коронный разряд в воде приводит к повышению температуры в лидерных каналах, образованию слабой ударной волны, ультрафиолетовому и рентгеновскому излучению. При оптимально подобранных параметрах импульсов высокого напряжения и электродной системы коронный разряд в воде может быть использован для кондиционирования питьевой воды, обеззараживания сточных вод.

ИСКРОВОЙ РАЗРЯД В ВОДЕ

Этот вид разряда возникает при пересечении промежутка между электродами лидерами и разряде конденсатора-накопителя энергии на канал разряда. Температура в канале разряда длиной от сантиметров до десятков сантиметров может достигать $(3-4) \cdot 10^4$ К, давление – $(2-3) \cdot 10^4$ атм. В окружающей среде возникают ударная волна и расходящиеся потоки жидкости. Полость канала расширяется, давление в ней становится меньше гидростатического и начинается ее схлопывание. При схлопывании повышаются давление и температура, вновь возникает излучение из схлопывающейся полости, расширение и т.д. Таким образом, возникают кавитационные затухающие колебания газовой полости, созданной каналом импульсного разряда в воде. Период пульсаций и величина максимального радиуса газовой полости определяются энергией, выделившейся в канале.

Максимальные размеры полости могут достигать десятков сантиметров при энергии накопителя порядка 10^4 Дж, период колебаний полости – миллисекунды. Искровой разряд в технической воде достаточно хорошо изучен в связи с его технологическими применениями для дробления хрупких материалов, штамповки, очистки литья, эхолокации водоемов и т.д. и описан во многих литературных источниках, например, в [1,2]. При искровом разряде можно расчетным путем определить как потери энергии за время пробоя, так и параметры разрядного промежутка, при котором будет иметь место максимальная мощность, развиваемая в канале разряда. Потери энергии за время пробоя при положительной полярности острья находятся из следующего выражения:

$$l = [CU_1^2 \left(1 - \frac{U_{i\delta}^2}{U_e^2}\right) / ab\sigma + 4\pi S / b^2]^{1/2} - 2\sqrt{\pi S} / b,$$

где l - расстояние между электродами, C - емкость конденсаторной батареи, U_1 - напряжение зарядки конденсатора, $U_{i\delta}$ - напряжение, при котором завершается пробой, a - постоянный коэффициент ($a = 3.6 \cdot 10^5 V^2 \cdot s / m$ при электропроводности воды $\sigma = 2,5 \cdot 10^{-2} Sm / m$); S - оголенная поверхность электрода, контактируемая с водой; $b = 2 \cdot 10^{-4} U_1$.

Расстояние между электродами, при котором в канале разряда развивается наибольшая мощность,

$$l = 8 \cdot 10^{-9} U b r^{3/2} \left(\frac{C}{L} \right)^{0.25}$$

где - индуктивность разрядного контура.

Искровой разряд в воде может быть реализован и как безэлектродный. Для этого разрядная камера разделяется диэлектрической перегородкой с одним или несколькими отверстиями, в которых и возникает разряд. При этом металлические электроды не эродируют и тем самым устраняется загрязнение обрабатываемой воды продуктами электрической эрозии электродов.

Проведенные эксперименты по обеззараживанию воды, загрязненной бактериями *E-coli*, показывают хорошие результаты при искровых разрядах как между электродами, так и при диафрагменных разрядах.

Сочетание искрового разряда с импульсным разрядом короткой длительности в момент достижения полости максимальных размеров может вызвать появление мощного импульса рентгеновского излучения, вызванного убегающими электронами. Однако этот феномен требует дополнительного изучения.

ВЫВОДЫ

Изложенный материал свидетельствует о перспективности использования сильных электрических полей для кондиционирования питьевой воды, обеззараживания сточных вод.

-
1. *Kuzhekin I.P.* Durchschlag und Entladung unzer der Wasser, ETZ-A, H5, 1972.
 2. *Кужекин И.П.* Кандидатская диссертация, Импульсный пробой и канал разряда в жидкости, МЭИ, Москва, 1966.

SU MÜHİTİNDƏ İMPULS ELEKTRİK BOŞALMASI

KUJEKİN İ., KURBANOV E.

Güclü elektrik sahələrinin və impuls elektrik boşalmasının təsiri şəraitində su mühitində reallaşan proseslərə baxılmışdır. Göstərilmişdir ki, impuls elektrik sahəsi suyun klaster strukturuna təsir edir. Elektrik boşalmaları suda zərbə dalğaları və dağılan axıntılar, buxar-su aralıqlarının kavitasion rəqslərini və ultrabənövşəyi şüalanma əmələ gətirir. İmpuls boşalması ilə nanosaniyə impuls gərginliyin eyni zamanda təsiri nəticəsində impuls rentgen şüalanmasını əldə edilməsinin mümkünlüyü fikri ehtimal olunur. Qeyd olunan effektlər içməli və sənaye tullantı suların virus və mikroblardan zərərsizləşdirmə texnologiyasının əsasını təşkil edir.

PULSED DISCHARGE IN WATER

KUZHEKIN I., KURBANOV E

Are considered the processes in water by affecting of high electrical fields and pulsed discharges. Is shown, that pulsed electrical field can influence on the cluster structure of water but discharges cause the formation of shock wave and divergented water flows, cavitation oscillations of formed steam-gaseous cavity, ultra-violet radiation.

Is stated an assumption, that in combination of pulsed discharge with nanosecond pulsed voltage can receive X-ray pulsed radiation caused by runaway electrons. The noted effects are the base of technological uses the high electrical fields in water, for disinfecting of potable water and waste.