

Мамонтов Ю. И., Пономарев А. В.

УСТРОЙСТВО ГЕНЕРАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОГО РАЗРЯДА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОЖИ

Аннотация. Продемонстрировано устройство для обеззараживания поверхности кожи рук при прямом воздействии низкотемпературной плазмой объемного разряда атмосферного давления. Эффективность предложенного метода обеззараживания подтверждена лабораторными исследованиями.

Ключевые слова: объемный разряд атмосферного давления, генератор DOPG-07, обеззараживание низкотемпературной плазмой.

Abstract. The device for hand skin disinfection by low-temperature atmospheric pressure plasma of volume discharge has been developed and experimentally studied. An effectiveness of proposed disinfection method has been estimated by laboratory tests.

Keywords: atmospheric-pressure volume discharge, generator DOPG-07, low-temperature plasma decontamination.

В современном мире остро стоит проблема борьбы с болезнетворными микробами. Постоянно ведется разработка новых антибиотиков, однако это сложный, дорогостоящий и не всегда эффективный процесс. Поэтому, становится важным, поиск методов обеззараживания, способных предотвратить попадание вредных микробов в организм человека. Особенно важной является дезинфекция поверхности кожи рук, так как именно через грязные руки, чаще всего, происходит заражение болезнетворными микробами: в общественном транспорте, при работе с офисной техникой, на улице, в больницах и так далее. Именно поэтому повседневная биологическая очистка кожи рук человека – актуальная задача.

Стандартный метод дезинфекции кожи рук – химический. Однако, существенный недостаток данного метода заключается в том, что применение агрессивных химикатов может вызывать негативные реакции организма: аллергии и дерматиты. Особенно им подвержены врачи, которые в процессе своей деятельности вынуждены часто мыть руки с использованием сильнодействующих дезинфицирующих средств. Также применяется обеззараживание кожи ультрафиолетовым излучением. К сожалению, ультрафиолет не слишком эффективен против высокорезистентных организмов, так как для их уничтожения требуется длительная экспозиция (то есть, большая длительность обработки), а большое время воздействия ультрафиолета на человека может приводить к канцерогенному эффекту.

Одним из способов эффективного обеззараживания поверхностей (в том числе, поверхности кожи человека), является обработка низкотемпературной плазмой газового разряда атмосферного давления. С этим методом связано одно из перспективных междисциплинарных направлений развития науки – плазменная медицина [3].

Главное достоинство плазменного метода обеззараживания – возможность его безопасного применения для обработки кожи или слизистых оболочек человека, так как, согласно приводимым в литературе данным, воздействие плазмы не приводит к повреждению тканей организма или какому-либо иному негативному влиянию на здоровье человека. Плазма не вызывает привыкания обрабатываемых биологических объектов (бактерий), так как она является способом внесения в них энергии. При превышении порога внесенной энергии наступает гибель обрабатываемого объекта. Обработка происходит бесконтактно и безболезненно для пациента (по некоторым данным, плазма позволяет даже уменьшить имеющиеся болевые ощущения). Важным достоинством обеззараживания низкотемпературной плазмой, является ее эффективность против высокорезистентных микроорганизмов, а также грибов и спор, в силу одновременного воздействия многих факторов: электрических полей высокой напряженности, ультрафиолетового излучения, образующихся в плазме различных химических соединений и потоков заряженных частиц.

Начиная с 2000-х годов, работы по созданию систем генерации низкотемпературной плазмы атмосферного давления для медицинских применений проводятся во многих странах мира (США, Германия, Япония, Россия, Китай). Данные устройства вышли за рамки научных исследований, есть реальный опыт их применения в медицинских учреждениях. На данный момент, существуют устройства генерации плазмы на основе барьерного разряда [3], высокочастотного разряда и коронного разряда. Их недостатками являются локальный характер горения разрядов, а, следовательно, малый объем и низкая однородность генерируемой плазмы, что снижает эффективность обеззараживания из-за малого энерговклада в газ и его неравномерного воздействия на обрабатываемую поверхность в случае прямой обработки объекта плазмой разряда.

Существует особый тип газового разряда высокого давления – объемный разряд. Его традиционное применение – накачка мощных газовых лазеров, однако объемный разряд обладает рядом уникальных особенностей, которые делают его потенциально эффективным и в области плазменной медицины.

Как уже упоминалось, плазма при ее использовании в качестве обеззараживающего средства, является способом внесения энергии в обрабатываемые объекты, то есть в микроорганизмы. Одно из достоинств объемного разряда – возможность вкладывать в газ очень высокие значения удельной мощности (до 1 МВт/см^3) [2], а, следовательно, и вкладываемая в газ энергия, также оказывается значительной. В предположении, что качество обеззараживания плазмой напрямую зависит от энергии, запасенной в ней,

объемный разряд, должен эффективно обеззараживать обрабатываемые им поверхности. Кроме того, для плазмы объемного разряда характерна высокая однородность. Этим свойством не обладает ни один из широко используемых в медицине разрядов (например, барьерный или коронный разряды). Однородная плазма дает возможность равномерно обрабатывать объекты со сложной формой поверхности. Это важно при обработке кожи человека. Указанные особенности позволяют успешно использовать объемный разряд в области плазменной медицины. В настоящей работе демонстрируется устройство для прямой обработки кожи рук человека плазмой объемного разряда атмосферного давления.

Работы проводились на базе Института электрофизики УрО РАН. Разрядная система создавалась на основе разработанного в лаборатории импульсной техники ИЭФ генератора DOPG-07 (патент РФ №2523163 «Твердотельный высокочастотный генератор с контуром ударного возбуждения»). Конструкция и принцип действия данного генератора подробно описаны в [4]. Его внешний вид представлен на рис. 1.

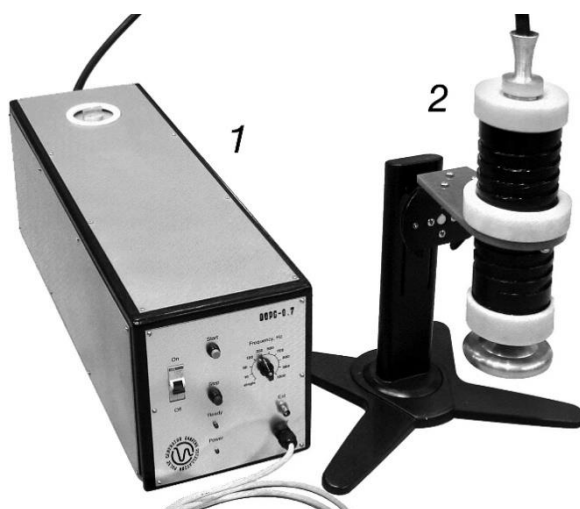


Рис. 1. Внешний вид генератора DOPG-07. Цифрами обозначены: 1 – силовой модуль (генератор DOPG-07), 2 – высоковольтный модуль (выходной трансформатор и высоковольтный электрод в конфигурации разрядной системы, используемой в [1, 5-7]).

Выходное напряжение данного генератора представляет собой импульсы затухающих гармонических колебаний частотой 1 МГц и максимальной частотой следования импульсов 1 кГц, при этом энергия одного импульса – менее 0,4 Дж, максимальная потребляемая мощность генератора (при работе на частоте следования импульсов 1 кГц) – 700 Вт, а максимальная выходная мощность – 400 Вт. При этом максимальная мощность в импульсе достигает 600 кВт, а максимальный КПД генератора при работе на оптимальную резистивную нагрузку составляет 65%.

Ранее данный генератор уже применялся в системе для инициирования объемного разряда, применяемой в целях обеззараживания помещенных на

заземленный коллектор чашек Петри с нанесенными на них бактериями [1,5-7] (заземленный коллектор на рис. 1 не показан). Уникальность данной системы заключается в том, что выходное напряжение генератора в виде затухающих гармонических колебаний позволяет зажигать объемный разряд в промежутке длиной порядка 10 см несколько раз за один рабочий импульс генератора. Многократное инициирование объемного разряда в пределах длительности одного импульса высокого напряжения не наблюдалось ранее ни в одной разрядной системе. Возбуждение разряда несколько раз за один импульс генератора позволяет существенно повысить эффективность разрядной системы, увеличивая энергозатраты в газ и сечение взаимодействия обрабатываемых поверхностей с плазмой. Это усиливает бактерицидные свойства плазмы.

Достоинством применения гармонических колебаний также является возможность применения трансформатора на выходе генератора. Это позволяет согласовывать его параметры с параметрами разрядного промежутка, за счет выбора оптимальной конструкции трансформатора. Например, варьированием соотношения витков первичной и вторичной обмоток, можно изменять амплитуду выходного напряжения генератора. Изменением коэффициента связи обмоток (фактически, изменением индуктивности рассеяния) удастся ограничивать максимальный ток через разрядную систему, не прибегая к помощи балластных резисторов и не теряя полезную мощность на них. Таким образом, обеспечивается высокий КПД разрядной системы.

Для прямой обработки поверхности кожи рук плазмой объемного разряда атмосферного давления был выбран высоковольтный модуль разрядной системы в конфигурации для формирования «плазменного экрана». Принципиальная электрическая схема данного модуля, а также процесс работы разрядной системы представлены, соответственно, на рис. 2 и 3.

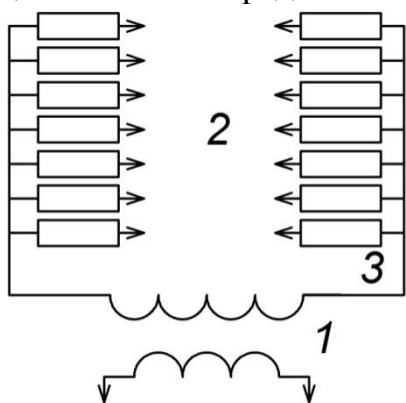


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема высоковольтного модуля разрядной системы: 1 – выходной трансформатор генератора, 2 – область горения разряда, 3 – резисторы, предотвращающие контракцию разряда.

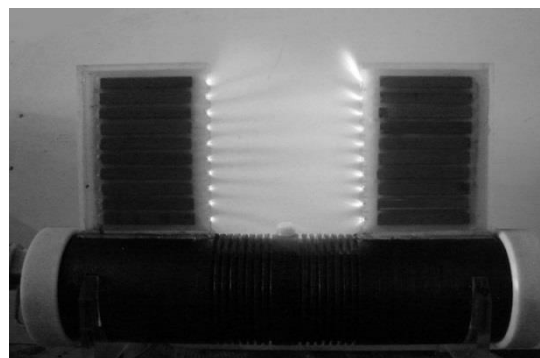


Рис. 3. Процесс работы разрядной системы в конфигурации «плазменный экран». Хорошо видна светящаяся плазма объемного разряда.

В данной конфигурации разрядной системы «плазменный экран» имеет площадь порядка 1 дм². В него помещается обрабатываемый объект – рука человека. Безопасность от поражения электрическим током в данной системе обеспечивается применением вторичной обмотки выходного трансформатора генератора под плавающим потенциалом, то есть ни один из проводников вторичной обмотки трансформатора не имеет связи с внешней цепью. Таким образом, рука, помещенная непосредственно в плазму разряда, оказывается вне его электрической цепи. По руке протекает лишь небольшой по величине емкостной ток смещения, безопасный для человека. Кроме того, как уже указывалось ранее, выходное напряжение применяемого генератора DOPG-07 представляет собой импульсы затухающих гармонических колебаний частотой 1 МГц. Высокая частота изменения напряжения приводит к появлению скин-эффекта, в результате которого электрический ток течет в тонком приповерхностном слое помещенного в плазму объекта, то есть руки человека. Это гарантирует невозможность получения человеком электротравмы, несмотря на то, что разряд горит при напряжениях порядка 100 кВ, а амплитуда протекающего в разрядной цепи тока достигает единиц ампер. Процесс обработки руки человека показан на рис. 4.



Рис. 4. Процесс прямой обработки кожи руки человека плазмой объемного разряда в разработанной разрядной системе.

Эксперименты по оценке бактерицидных свойств объемного разряда в данной разрядной системе проводились на базе Института электрофизики УрО РАН. Подвергалась обработке кожа рук добровольцев из числа сотрудников института. Эти сотрудники, в течение нескольких часов, занимались повседневными делами с запретом мыть руки до проведения эксперимента. Далее брались смывы с их контрольных (не подвергавшихся

воздействию плазмы) и обработанных плазмой пальцев. Обработка производилась в течение 1 мин на частоте следования импульсов генератора 1 кГц, полная выходная мощность генератора при этом составила 400 Вт. Анализ смывов производился компанией «Инвитро». Установлено, что на контрольных пальцах имелось по 10^4 КОЕ, соответственно, *StaphylococcusAureus*, *KlebsiellaPneumoniae* и *Escherichiacolina* площади около 1-2 см². При этом несколько смывов, взятых после обработки пальцев плазмой, оказались стерильными, остальные показали значительное сокращение концентрации бактерий.

Таким образом, продемонстрировано устройство, позволяющее безопасно обеззараживать поверхность кожи человека путем ее прямой обработки низкотемпературной плазмой объемного разряда атмосферного давления. Установлено, что данное устройство позволяет эффективно дезинфицировать поверхность кожи рук, значительно сокращая концентрацию бактерий, а в ряде случаев даже приводя к стерилизации поверхности кожи.

Работа поддержана грантом РФФИ №15-08-01707-а.

Библиография

1. Мамонтов Ю. И. Обеззараживание поверхностей импульсным объемным разрядом // Материалы II Международной молодежной научной конференции «Физика. Технологии. Инновации». Тезисы докладов (Екатеринбург, 20-24 апреля 2015 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2015. - С. 280-281.
2. Осипов В. В. Самостоятельный объемный разряд // Успехи физических наук. - 2000. - Том 170, № 3. - С. 225-245.
3. Fridman G. Applied Plasma Medicine// Plasma processes and polymers. - 2008. - Vol. 5, № 6. - P. 503-533.
4. Ponomarev A. V. A solid-state generator with pulsed excitation of the oscillating circuit // Instruments and experimental techniques. - 2014. - Vol. 57, №2. - P. 135-139.
5. Ponomarev A. V. High-frequency generator based on pulsed excitation of the oscillating circuit for biological decontamination // 2013 19th IEEE Pulsed Power Conference (San Francisco, CA, 16-21 June 2013). San Francisco: IEEE, 2013. - P. 1-5.
6. Ponomarev A. V. System for measuring the current density distribution of a completed pulsed corona discharge // Instruments and Experimental Techniques. - 2015. - Vol. 58, № 3. - P. 499-504.
7. Ponomarev A. V. High-voltage electrode optimization towards uniform surface treatment by a pulsed volume discharge // Journal of Physics: Conference Series. - 2015. - Vol. 652, № 1. - P. 1-7.