

DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-2-95-105

УДК 621.374

Разработка высоковольтных импульсных установок и обеспечение мер безопасности при их эксплуатации

А. М. Гашимов¹⁾, Э. Д. Гурбанов²⁾

¹⁾Институт физики НАН Азербайджана (Баку, Азербайджанская Республика)

²⁾ОАО «Азерсу» (Баку, Азербайджанская Республика)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. В статье представлены методы разработки высоковольтных импульсных установок технологического назначения по обеззараживанию питьевой и сточных вод, текучих пищевых продуктов при воздействии сильных импульсных электрических полей микро- и наносекундной длительности. Рассмотрены возможности проектирования основных элементов высоковольтной части и разрядной цепи установок с целью обеспечения наиболее эффективного приложения энергии источника на нагрузке и безопасной эксплуатации высоковольтного оборудования. Показано, что при обеззараживании питьевой и сточных вод целесообразно применение микросекундных импульсных воздействий, вызывающих в водной среде электрогидравлический эффект и сопутствующий ему комплекс физических процессов (ультрафиолетовое излучение, генерация озона и атомарного кислорода, механические волны сжатия и т. д.), губительно влияющих на жизнедеятельность микроорганизмов. В случае обеззараживания текучих пищевых продуктов рекомендовано применение наносекундных импульсных воздействий, непосредственно проникающих в ядро биологической клетки и инактивирующих ее. При этом сохраняются пищевая и биологическая ценность продуктов и улучшаются их органолептические свойства. Отмечено, что при разработке высокочастотных импульсных установок особое внимание должно уделяться вопросам соблюдения техники безопасности обслуживающим персоналом и обеспечения условий бесперебойной работы всей установки. С этой целью следует выполнять необходимые требования по экранированию высоко- и низковольтной частей установки от высокочастотных электромагнитных излучений, которые регистрируются специальными дифференциальными датчиками. Одновременно должны быть приняты меры по снижению уровня шумов при работе высоковольтного оборудования. Предложен метод для их снижения до допустимых пределов (менее 80 дБ·А) посредством покрытия внутренней поверхности экранирующего кожуха плотно стыкующимися между собой листами пористого электрозвукоизоляционного материала.

Ключевые слова: высоковольтная импульсная установка, импульсный разряд, фронт импульса, длительность импульсов, генератор пульсирующего напряжения, нагрузка, электромагнитное излучение, микро- и наносекундные импульсы, дезинфекция, экранирование, шум

Для цитирования: Гашимов, А. М. Разработка высоковольтных импульсных установок и обеспечение мер безопасности при их эксплуатации / А. М. Гашимов, Э. Д. Гурбанов // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 2. С. 95–105

Адрес для переписки

Гашимов Ариф Мамедович
Институт физики
НАН Азербайджана
просп. Г. Джавида, 33,
Az1141, г. Баку, Азербайджанская Республика
Тел.: +99412 539-44-02
arif@physics.ab.az

Address for correspondence

Hashimov Arif M.
Physics Institute
of Azerbaijan National Academy of Sciences
33 H. Javid Ave.,
Az1141, Baku, the Azerbaijani Republic
Tel.: +99412 539-44-02
arif@physics.ab.az

Elaboration of High-Voltage Pulse Installations and Providing their Operation Protective Measures

A. M. Hashimov¹⁾, E. J. Gurbanov²⁾

¹⁾Physics Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences (Baku, the Azerbaijani Republic)

²⁾Azersu OJSC (Baku, the Azerbaijani Republic)

Abstract. The article presents design engineering methods for the high-voltage pulse installations of technological purpose for disinfection of drinking water, sewage, and edible liquids by high-field micro- and nanosecond pulsing exposure. Designing potentialities are considered of the principal elements of the high-voltage part and the discharge circuit of the installations towards assuring the best efficient on-load utilization of the source energy and safe operation of the high-voltage equipment. The study shows that for disinfection of drinking water and sewage it is expedient to apply microsecond pulse actions causing the electrohydraulic effect in aqueous media with associated complex of physical processes (ultraviolet emission, generation of ozone and atomic oxygen, mechanical compression waves, etc.) having detrimental effect on life activity of the microorganisms. In case of disinfecting edible liquids it is recommended to use the nanosecond pulses capable of straight permeating the biological cell nucleus, inactivating it. Meanwhile, the nutritive and biological values of the foodstuffs are saved and their organoleptic properties are improved. It is noted that in elaboration process of high-frequency pulse installations special consideration should be given to issues of the operating personnel safety discipline and securing conditions for the entire installation uninterrupted performance. With this objective in view the necessary requirements should be fulfilled on shielding the high- and low-voltage installation parts against high-frequency electromagnetic emissions registered by special differential sensors. Simultaneously, the abatement measures should be applied on the high-voltage equipment operational noise level. The authors offer a technique for noise abatement to admissible levels (lower than 80 dB·A) by means of coating the inside surface with shielded enclosure of densely-packed abutting sheets of porous electro-acoustic insulating material.

Keywords: high-voltage pulse installation, pulsed discharge, front of pulse, pulse duration, generator of pulsed tensions, loading, electromagnetic emission, micro and nanosecond pulse, disinfecting, shielding, noise

For citation: Hashimov A. M., Gurbanov E. J. (2016) Elaboration of High-Voltage Pulse Installations and Providing their Operation Protective Measures. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (2), 95–105 (in Russian)

Введение

Наблюдаемые в последние десятилетия природные катаклизмы, изменение климатических условий на планете, увеличение численности населения, развитие промышленных производств и другие вопросы требуют более грамотного подхода к использованию природных ресурсов и разработке энергоэффективных технологий, обеспечивающих экологическую безопасность. В этом контексте применение сильных электрических полей для решения многих экологических задач вызывает у ученых огромный интерес [1–3]. Методы электронной обработки в отличие от существующих механических, химических и температурных методов отличаются своей эффективностью, экологической безопасностью и максимальным приложением энергии источника в активационные процессы [4–7]. В этой связи можно отметить работы по исследованию воздействия сильных импульсных электрических полей на различные среды и разработке более энер-

гоэффективных технологий, обеспечивающих экологическую безопасность и направленных на максимальное приложение электромагнитной энергии на нагрузку. Работы по высокочастотной электроимпульсной очистке топочных газов вредных химических и металлургических производств, обеззараживанию питьевой и сточных вод, пищевых продуктов и т. д. демонстрируют эффективность применения данных технологий для решения различных экологических задач [8–12]. Для достижения более эффективного приложения энергии на нагрузку и соблюдения всех мер безопасности в работе оборудования требуются обязательное согласование и учет всех взаимовлияющих параметров высоковольтной установки.

Данная статья посвящена методам разработки высоковольтных импульсных установок различного назначения с соблюдением правил безопасности при их эксплуатации.

Методика экспериментов и обсуждение результатов

Важным элементом любой высоковольтной импульсной установки является генератор импульсных напряжений. В рассматриваемом случае разработаны микросекундный генератор с выходным напряжением 40 кВ для электронной обработки питьевой и сточных вод и наносекундный генератор на 100 кВ для обеззараживания текучих пищевых продуктов и продления сроков их хранения. В зависимости от назначения обрабатываемой среды и ее электрофизических параметров предложены различные варианты конструкций электродной системы «стержень – плоскость» и «плоскость – плоскость» для обеспечения необходимых условий обработки.

Для обеззараживания питьевой и сточных вод от содержащихся в них патогенных микроорганизмов выбрали электродную систему «стержень – плоскость», обеспечивающую резко неоднородное поле в межэлектродном промежутке. При разработке импульсного генератора учитывались геометрические размеры разрядной камеры, потенциального электрода, межэлектродного пространства, физические параметры разрядных процессов (время запаздывания, скорость распространения лидеров и т. д.) и электрофизические характеристики обрабатываемой среды с содержащимися в них микроорганизмами. В обрабатываемой среде при воздействии сильных электрических импульсных полей в зависимости от амплитуды напряжения при данной конструкции электродной системы протекают как тепловые, так и электрические процессы, сопровождающиеся вскипанием жидкости, образованием газовых включений и лидерных каналов высокой проводимости с электрогидравлическим эффектом. Ионизационные и фотоионизационные процессы в газовых включениях приводят к формированию ультрафиолетового излучения и активных продуктов разряда, расширению и схлопыванию газовых включений, механических волн сжатия, которые в совокупности губительно влияют на жизнедеятельность патогенных микроорганизмов, содержащихся в водной среде. Влияние полярности напряжения на физические процессы и характеризующие их

параметры (время запаздывания, скорость распространения лидеров и т. д.) сильно сказывается при малых амплитудах воздействующего напряжения (менее 25 кВ). Отметим, что при отрицательной полярности напряжения уменьшение времени запаздывания выражено более резко, чем при положительной полярности. С увеличением амплитуды напряжения (более 25 кВ) его полярность на потенциальном электроде практически не влияет на разрядные процессы в промежутке. Однако следует отметить, что в технологических установках для более эффективного приложения энергии источника на нагрузке целесообразно использовать положительную полярность напряжения на потенциальном электроде. При этом вследствие увеличения напряженности поля в промежутке при продвижении лидеров к противоположному электроду их скорость достигает максимальной величины $\sim 10^6$ см/с, в результате чего разрядный процесс завершается искровым пробоем промежутка и образованием мощных ударных волн.

Для обработки текучих пищевых продуктов предложена электродная система «плоскость – плоскость». Данная конструкция предотвращает формирование в межэлектродном пространстве искровых каналов, появление которых нежелательно при обеззараживании пищевых продуктов. В качестве источника энергии применялся разработанный авторами наносекундный генератор импульсов с максимальной амплитудой 100 кВ. Обработку продуктов можно вести в нескольких режимах: проточном и стационарном (в диэлектрических тарах). В последнем случае при разработке генератора должны также учитываться размеры и свойства диэлектрической тары. Электронная обработка пищевых продуктов приводит к улучшению их органолептических свойств при условии сохранения пищевой и биологической ценности. В качестве объектов исследований использовали образцы столовых и десертных вин, экстракты яблочного, сливового соков и молочнокислых изделий. В результате экспериментов выявлено, что с уменьшением размеров клеток микроорганизмов целесообразнее воздействовать на них импульсами с более коротким фронтом (наносекундного диапазона). Такое воздействие позволяет высокочастотным электромагнитным полям проникать непосредственно в ядро клетки и инактивировать ее дальнейшее воспроизводство.

При разработке высоковольтных установок технологического назначения немаловажную роль играет обеспечение мер безопасности при работе оборудования высокого напряжения. Возникающие во время генерации высоковольтных импульсов электромагнитные поля в окружающем пространстве создают значительные помехи и могут приводить к сбоям в работе радиоэлектронных устройств. Когда речь идет о технологической высоковольтной импульсной установке, требования по электромагнитной защите персонала и помехозащищенности различных устройств резко возрастают. Это обусловлено тем, что, во-первых, обслуживающий персонал, средства измерения, контроля и управления самой установки находятся в непосредственной близости от источника электромагнитных полей, резко

возрастает частота посылок импульсов, т. е. увеличивается средняя мощность излучений. Во-вторых, технологическая установка не должна оказывать влияния на работу других радиоэлектронных устройств, находящихся поблизости от нее. Поэтому при разработке технологической высоковольтной импульсной установки необходимо решить задачу защиты обслуживающего персонала и радиоэлектронных устройств от возникающих при их работе электромагнитных полей (рис. 1). Применительно к слаботочным низковольтным радиоэлектронным устройствам такую задачу решают с помощью медного экрана [13]. Причем экранировка будет полной, если выбрать соответствующую толщину стенок экрана, а сам экран запаять. Использование подобного экрана в рассматриваемом случае неудобно, так как экран должен быть разъемным для обеспечения доступа ко всем элементам установки в процессе эксплуатации, не слишком массивным при характерном линейном размере 1 м. Кроме того, применение меди приводит к удорожанию установки.

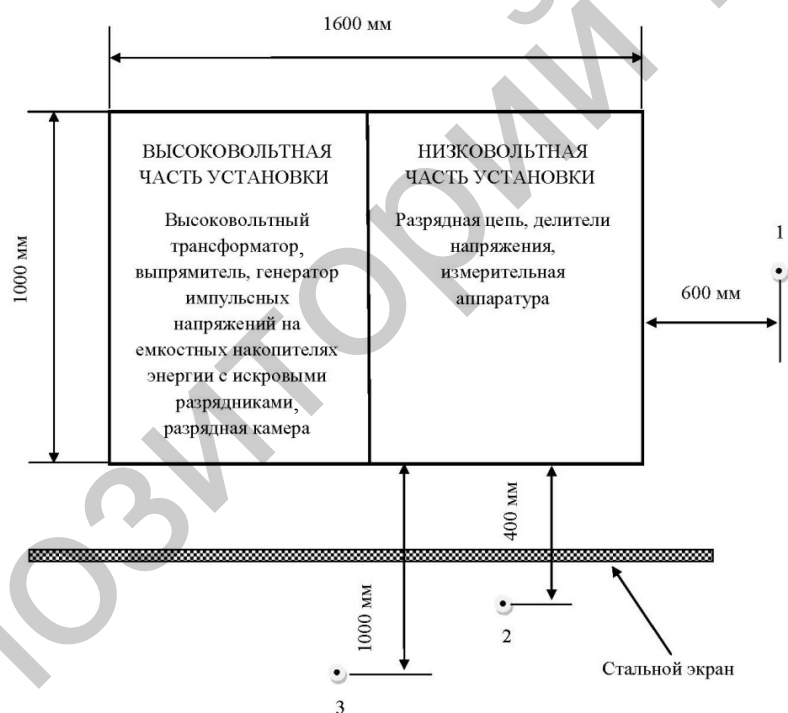


Рис. 1. Схематическое изображение высоковольтной импульсной установки технологического назначения с указанием электромагнитных помех на разных расстояниях от источника: 1–3 – точки замеров электромагнитных полей

Fig. 1. Diagrammatic representation of the high-voltage pulse installation of technological purpose with indication of electromagnetic interference at different distances from the source: 1–3 – measurement points of the electromagnetic fields

С учетом рекомендаций [14] для рассматриваемой установки разработали и выполнили разъемный сплошной (замкнутый гальванически) экран

из тонколистового луженого железа. Для уменьшения площади экрана и его габаритов, а также для улучшения эксплуатационных характеристик установка была перекомпонована [15]. «Линейный» вариант генератора импульсов, где конденсаторы, разрядники и нагрузка (рабочая камера) располагались друг за другом вдоль прямой линии – направления, по которому энергия передавалась от первого накопительного конденсатора в нагрузку, был преобразован в «этажерочный», где конденсаторы и разрядники расположены друг над другом. При этом в 1,5 раза уменьшился объем, занимаемый элементами генератора. Кроме того, облегчился доступ к искровым воздушным разрядникам для осмотра, обслуживания и перестройки, поскольку все разрядники сосредоточены с одной стороны генератора.

Основой изготовленного экрана служил сварной каркас из стального уголка 32×32 мм габаритами 1600×1400×1000 мм. Каркас обшит (кроме нижней плоскости) соединенными гальванически полосами луженого железа шириной 320 мм и толщиной 0,3 мм. Гальваническое соединение полос обеспечивалось отбортовкой и развальцовкой по краям полос. Полученный кожух одевали на каркас подставки установки и соединяли с ним винтами М5, размещенными по периметру каркаса с шагом 150 мм. Со стороны рабочей камеры (для удобства эксплуатации) в кожухе выполнена дверь (также обшита луженым железом) размерами 880×1000 мм. Дверь поворачивается на петлях с возможностью плотного прижатия до создания гальванического контакта по всему своему периметру к кожуху установки при помощи четырех зажимов с использованием резьбовых соединений «шпилька – гайка». Подставка установки, где размещена низковольтная силовая часть, также обшита луженым железом до пола по всему периметру каркаса. Высоковольтный вывод питающего трансформатора ТВО-140 тоже имеет выполненный из луженого железа замкнутый кожух, гальванически соединенный по периметру с крышкой трансформатора и с кожухом генератора. Низковольтные выводы трансформатора закрыты отдельным кожухом. Таким образом, все экранирующие и защитные кожухи установки соединены гальванически и заземлены. То есть высоковольтная импульсная установка стала полностью электробезопасной при меньшей занимаемой производственной площади, так как отпала необходимость в защитном ограждении.

Проведены измерения для оценки электромагнитного фона при работе установки без защитного экрана. Замеры уровня электромагнитных полей выполняли дифференциальным датчиком с чувствительностью 10 мВ/(кВ/м). Точки замеров электромагнитных полей выбирали на высоте 1,2 м от пола: 1 – на расстоянии 0,6 м напротив двери кожуха; 2 и 3 – 0,4 и 1,0 м от боковой стенки установки. Расстояния указаны от краев каркаса (из стальных уголков), на котором смонтированы узлы установки. Типичные осциллограммы импульсов напряженности в указанных точках приведены на рис. 2 (фиксировали вертикальную составляющую поля). Импульсы по форме напоминают аperiodические импульсы в рабочей камере установки.

Как видно из рис. 2, наибольшая напряженность поля наблюдается вблизи установки в месте расположения активной части высоковольтного генератора (высоковольтные конденсаторы и разрядники): кривая 2 – $E \approx 15$ кВ/м. Уровень поля сильно снижается при удалении от установки на 1,0 м: кривая 3 – $E \approx 4$ кВ/м. Размещение стального листа размерами 2×2 м толщиной 1,5 мм между боковой частью каркаса установки и точкой измерения приводит примерно к пятикратному уменьшению напряженности поля. Осциллограмма импульса напряженности в точке 2 для этого случая представлена на рис. 3, из которого следует, что помимо уменьшения амплитуды изменилась и форма импульса – помехи с апериодической на колебательную с сильным затуханием.

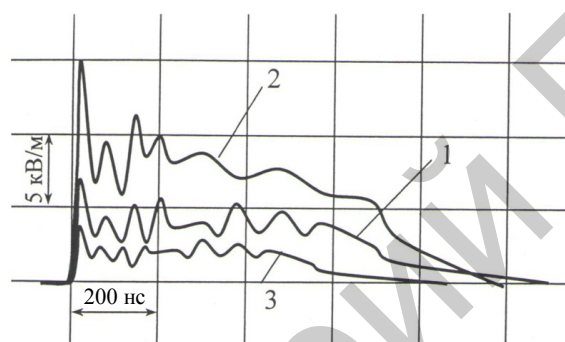


Рис. 2. Осциллограммы электромагнитных помех на различных расстояниях от высоковольтной установки

Fig. 2. Electromagnetic interference oscillogram at different distances from the high-voltage installation

В отсутствие защитного электромагнитного экрана вблизи установки в работе полупроводниковых электронных устройств, например регистрирующих электронных осциллографов, наблюдались срывы, сбои. Правда, по истечении некоторого времени функционирование устройств восстанавливалось. Так было при съемке работы установки видеокамерой. Произвести съемку без сбоев в работе видеокамеры удалось только через трубчатое окошко диаметром 35 мм передвижной стальной двухслойной измерительной кабины, удаленной на 15 м от установки.

Необходимо подчеркнуть важность влияния на стойкость электронных средств, в том числе и измерительных, к воздействию импульсных электромагнитных помех частоты следования последних. При возрастании частот следования до 500 Гц наблюдается явный кумулятивный эффект от помех, приводящий к резкому снижению стойкости электронных средств и также к повышению требований к качеству экранирования. При использовании рассматриваемого экранирующего защитного кожуха во время работы технологической импульсной установки с частотой следования импульсов 500 Гц не наблюдалось каких-либо сбоев или отказов в функционировании полупроводниковых средств управления и электронных измерительных средств. То есть изготовленный кожух в этом аспекте позволил решить поставленную задачу.

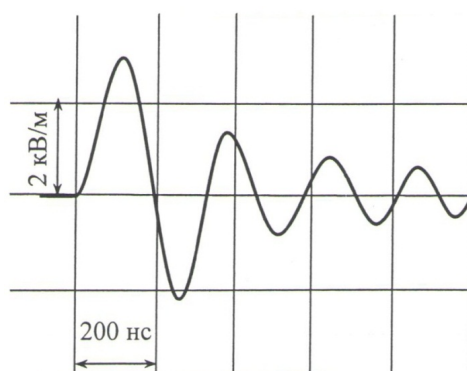


Рис. 3. Осциллограмма напряженности электромагнитного поля при наличии стального экрана

Fig. 3. Electromagnetic field strength oscillogram with presence of a steel shield

В разработанной установке в качестве коммутирующих элементов использовали воздушные искровые разрядники. Работа разрядников сопровождается значительным шумом, который несколько снижается благодаря наличию экранирующего кожуха. Для снижения шумов до допустимого уровня внутреннюю поверхность экранирующего кожуха выстлали плотно стыкующимися между собой листами пористого электрозвукоизоляционного материала (например, эластичным винипором марки Д) толщиной 50 мм. В нижней части и в крыше экранирующего кожуха выполняли вентиляционные отверстия в виде лабиринтов, внутренние поверхности которых были покрыты таким же электрозвукоизоляционным материалом. Эти отверстия служат для создания естественного воздушного потока через высоковольтную часть установки. При этом воздушный поток способствует охлаждению электродов искровых разрядников и выносу из зоны коммутации продуктов горения электрического разряда и озона. В промышленных условиях для интенсификации данных процессов возможно подсоединение нижнего вентиляционного отверстия к воздухоудвке, а верхнего – к вентиляционному ходу здания.

Проведено обследование акустических показателей установки. Согласно протоколу обследования, примененный на установке звукоизоляционный кожух снижает уровень звука со 110 дБ·А (при открытой двери) до 78 дБ·А, что меньше допустимого уровня звука (80 дБ·А) для производственных помещений [16]. Обшивка экранирующего кожуха изнутри электроизоляционным материалом заметной толщины (50 мм) с диэлектрической проницаемостью, существенно превышающей диэлектрическую проницаемость воздуха, приводит к дополнительному увеличению экранирующего эффекта [14].

Для оценки электромагнитных полей вокруг установки после применения защитного кожуха использовали оптоэлектронный измеритель напряженности электрического поля с чувствительностью 10 мВ/(В/м). Результаты измерений в точках 1 и 3 (рис. 1) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений электромагнитных полей
Results of measurements of electromagnetic fields

Точка измерения	Максимальное значение составляющей электрического поля, В/м		
	Вертикальная	Горизонтальная продольная	Горизонтальная поперечная
С открытой дверью:			
точка 1	450	300	340
точка 3	400	200	260
С закрытой дверью:			
точка 1	250	150	100
точка 3	100	50	75

Как видно из табл. 1, различия в уровнях помех при закрытой и открытой двери кожуха установки лежат в пределах 1,5–3,5 раза для различных составляющих напряженности поля. Такой разброс связан, вероятно, с суперпозицией полей, вызванной наличием различных металлических поверхностей в помещении, где размещена установка.

По результатам измерений при закрытой двери кожуха на расстоянии 2 м от корпуса-кожуха установки в любую сторону уровень помех по любой из трех составляющих не превышает 40 В/м, на расстоянии 4 м – 20 В/м, а на расстоянии 10 м от установки уровень полезного сигнала с датчика не превышает уровень шумов на экране осциллографа. Использование для кожуха в качестве материала тонколистового луженого железа позволяет за счет его высокой коррозионной стойкости и небольшой стоимости выполнить кожух технологичным, с малыми контактными сопротивлениями на долгий срок службы (не менее нескольких лет) и недорогим. При этом экранирующее действие кожуха уменьшает напряженность импульсных электромагнитных помех более чем в 100 раз. Таким образом, при работе установки с замкнутым металлическим кожухом – электромагнитным экраном – человек может находиться на удалении не менее 1 м от установки в течение всего рабочего дня (8 ч непрерывно) без опасности для своего здоровья.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены особенности разработки высоковольтных электроимпульсных установок технологического назначения для электронно-ионной обработки водосодержащих сред. Приведены варианты электродных систем и генераторов импульсных напряжений для обработки питьевой и сточных вод и текучих пищевых продуктов, описаны особенности воздействий сильных электрических импульсных полей на указанные среды и протекающих в них физических процессов.

2. Выявлено, что при обеззараживании воды целесообразнее применять импульсы микросекундного диапазона с частотой следования импульсов в десятки герц. Протекающие при таком воздействии физические процессы в целом эффективно влияют на инактивационные процессы в среде.

3. Показано, что текущие пищевые продукты лучше обрабатывать в системе электродов «плоскость – плоскость», обеспечивающей однородное распределение поля в межэлектродном промежутке и препятствующей возникновению искровых каналов. Определено, что для достижения более эффективной инактивации пищевых продуктов целесообразно воздействовать на них импульсами наносекундного диапазона с частотой следования импульсов в сотни герц для обеспечения проникновения высокочастотного поля непосредственно в ядро клетки микроорганизма и приостановления дальнейшего его воспроизводства.

4. Детально рассмотрены и описаны меры обеспечения безопасной работы высоковольтных импульсных установок промышленного назначения, методы их экранировки с целью погашения высокочастотных электромагнитных импульсных помех, неблагоприятно влияющих на обслуживающий персонал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, В. Г. Исследование структуры наносекундного стримерного разряда методом электрографии / В. Г. Кузнецов, А. М. Гашимов, Э. Д. Курбанов // Техническая электродинамика. 2009. № 6. С. 17–22.
2. Курбанов, Э. Д. Комплексное исследование характеристик наносекундного стримерного разряда в резконеоднородном поле при наличии в промежутке диэлектрических пластин / Э. Д. Курбанов // Известия НАН Азербайджана. 2009. Т. 29, № 5. С. 78–93.
3. Gashimov, A. M. The Influence of High-Voltage Impulse Treatments on Biological Cells / A. M. Gashimov, E. D. Kurbanov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2009. Vol. 45, No 5. P. 411–414.
4. Mekhtizade, R. N. Analysis of the Activation Level of Compound Structures Surface / R. N. Mekhtizade, E. J. Qurbanov, G. M. Kerimov // Проблемы энергетики. 2004. № 4. С. 68–70.
5. Курбанов, Э. Д. Электроразрядная активация стекловолокон в барьерном разряде в воздухе / Э. Д. Курбанов, Ю. В. Горин, И. П. Кужекин // Физика диэлектриков (ICD-2008): материалы 11-й Междунар. конф. 2008. Т. 1. С. 318.
6. Курбанов, Э. Д. Модификация поверхности стекловолокон в барьерном электрическом разряде в процессе производства стеклопластиков / Э. Д. Курбанов // Электричество. 2009. № 2. С. 32–36.
7. Курбанов, Э. Д. Комбинированная обработка поверхности стекловолокон неравновесными электрическими разрядами в технологии производства стеклопластиков / Э. Д. Курбанов // Вестник МЭИ. 2009. № 3. С. 42–46.
8. Кужекин, И. П. Сильные электрические поля и импульсные разряды в воде / И. П. Кужекин, Э. Д. Курбанов // Вестник МЭИ. 2008. № 2. С. 33–36.
9. Gurbanov, E. J. Environmentally Clear Methods of Water Disinfection / E. J. Gurbanov // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). 2014. Vol. 6, No 1. P. 34–38.
10. Gurbanov, E. J. Thermal and Electric Breakdown of Water at Crown and Spark Discharges / E. J. Gurbanov // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). 2014. Vol. 6, No 2. P. 88–93.
11. Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields / G. V. Barbosa-Canovas [et al.]. Washington, San Diego: Academic Press, 1999. 200 p.
12. Sensoy, I. Inactivation Kinetics of Salmonella Dublin by Pulsed Electric Field / I. Sensoy, Q. H. Zhang, S. K. Sastry // J. Food Process. Eng. 1997. Vol. 20, No 5. P. 367–381.
13. Термен, Ф. Измерительная техника в электронике / Ф. Термен, Дж. Петтит; пер. с англ.; под ред. В. Т. Фролкина. М.: Изд-во иностранной литературы, 1955. 604 с.

14. Шваб, А. Й. Электромагнитная совместимость / А. Й. Шваб; пер. с нем; под ред. И. П. Кузнецкина. М.: Энергоатомиздат, 1998. 480 с.
15. Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей: ДНАОП 0.00-1.21-98. Введ. 20.02.1998. Киев: Основа, 1998. 384 с.
16. Методические указания по проведению измерений и гигиенической оценке шумов на рабочих местах. М.: Типография Мин-ва здравоохран. СССР, 1978. 18 с.

Поступила 01.10.2015 Подписана в печать 27.11.2015 Опубликовано онлайн 30.03.2016

REFERENCES

1. Kuznetsov V. G., Gashimov A. M., Kurbanov E. D. (2009) Structure Investigation of Nanosecond Streamer Discharge with Method of Electrography. *Tekhnicheskaja Elektrodinamika* [Mechanical Electrodynamics], (6), 17–22 (in Russian).
2. Kurbanov E. D. (2009) Integrated Signature Analysis of Nanosecond Streamer Discharge in Sharply Nonhomogeneous Field in the Presence of Dielectric Plates in the Interim. *Izvestiia Natsionalnoi Akademii Nauk Azerbaidzhana* [Transactions Azerbaijan National Academy of Sciences], 29 (5), 78–93 (in Russian).
3. Gashimov A. M., Kurbanov E. D. (2009) The Influence of High-Voltage Impulse Treatments on Biological Cells. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 45 (5), 411–414. DOI: 10.3103/S1068375509050123.
4. Mekhtizade R. N., Qurbanov E. J., Kerimov G. M. (2004) Analysis of the Activation Level of Compound Structures Surface. *Problemy Energetiki* [Challenges of the Energetics], (4), 68–70.
5. Kurbanov E. D., Gorin, Yu. V., Kuzhekin I. P. (2008) Electrodischarge Activation of Glass Fibers in Barrier Discharge in the Air. *Dielectric Physics (ICD-2008). Proceedings of 11th International Conference*, Vol. 1, 318 (in Russian).
6. Kurbanov E. D. (2009) Fiberglass Surface Modification in Barrier Electrical Discharge in Production Process of the Glass-Fiber Laminates. *Elektrichestvo* [Electricity], (2), 32–36 (in Russian).
7. Kurbanov E. D. (2009) Combined Treatment of the Glass Fiber Surface with Unbalanced Electrical Discharges in the Production Method of Glass-Fiber Laminates. *Vestnik MEI* [MPEI Vestnik], (3), 42–46 (in Russian).
8. Kuzhekin I. P., Kurbanov E. D. (2008) Strong Electric Fields and Impulsive Discharges in the Water. *Vestnik MEI* [MPEI Vestnik], (2), 33–36 (in Russian).
9. Gurbanov E. J. (2014) Environmentally Clear Methods of Water Disinfection. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, 6 (1), 34–38.
10. Gurbanov E. J. (2014) Thermal and Electric Breakdown of Water at Crown and Spark Discharges. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, 6 (2), 88–93.
11. Barbosa-Canovas G. V., Pothakamury U. R., Gongora-Nieto M. M., Swanson B. G. (1999) *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields*. Washington, San Diego: Academic Press. 200.
12. Sensoy I., Zhang Q. H., Sastry S. K. (1997) Inactivation Kinetics of Salmonella Dublin by Pulsed Electric Field. *Journal of Food Process Engineering*, 20 (5), 367–381.
13. Termen F., Pettit J. (1952) *Electronic Measurements*. New York, McGraw-Hill. (Russ. ed.: Termen F., Pettit J. (1955) *Izmeritelnaia Tekhnika v Elektronike*. Moscow, Publishing Office of Foreign Literature. 604).
14. Shvab A. Y. (1998) *Electromagnetic Compatibility*. Moscow, Energoatomizdat. 480 (in Russian).
15. ДНАОП 0.00-1.21-98. Operational Code for Electrical Installations. Kiev, Basis, 1998. 384. (in Russian).
16. Instructional Guidelines on Execution of Measurements and Hygienic Assessment of Noise at the Workplaces. Moscow, Printing office of the Min. of Health of the USSR, 1978. 18 (in Russian).

Received: 1 October 2015

Accepted: 27 November 2015

Published online: 30 March 2016