

Высоковольтная электроимпульсная обработка водосодержащих пищевых продуктов

Э. Д. Гурбанов

ОАО "Азерсу",
Московский проспект, 67, г. Баку, AZ 1012, Азербайджанская Республика,
e-mail: KurbanovEJ_mpei@mail.ru

Исследованы энергоэффективные и экологически чистые методы электронной обработки водосодержащих пищевых продуктов с целью продления срока их хранения, не изменяя при этом их исходную пищевую и биологическую ценность. Показано, что высоковольтная электроимпульсная обработка текучих пищевых продуктов взамен тепловой пастеризации и стерилизации наименее энергоемка как по времени действия, так и по температуре нагрева среды. Выявлено, что для полной инактивации микроорганизмов в обрабатываемой жидкой среде требуется соблюдение следующих условий: достижения температуры нагрева среды выше критической в пределах 70°C, высокой напряженности поля, не приводящей к пробою среды, максимальной амплитуды импульсов, минимального фронта (не более 20 нс), оптимальной длительности импульсов (не менее 100 нс). Исследовано, что высоковольтная импульсная обработка с данными параметрами приводит к улучшению свойств обрабатываемых напитков, приобретению ими новых целительных свойств и продлению сроков их хранения.

Ключевые слова: электроимпульсная обработка, водосодержащая среда, сырое молоко, экстракты соков, красное вино, фронт импульса, длительность импульса, высоковольтная установка, инактивация микроорганизмов, напряженность электрического поля, температура нагрева.

УДК 537.528

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдаются ускоренное развитие современных, экологически чистых и менее энергозатратных технологий и внедрение их в различных отраслях народного хозяйства [1–3]. Много работ посвящено разработке методов и устройств по обеспечению охраны окружающей среды от различного рода токсичных выбросов, очистке водных ресурсов, сточных вод, их повторному использованию и т.д. [4, 5]. Кроме экологических аспектов в разрабатываемых технологиях важную роль играет их энергоэффективность. В этом смысле переход от обычных электрофизических установок с использованием электромагнитной энергии промышленной частоты к импульсным, с максимальным приложением электрической энергии на нагрузку, вызывает огромный интерес. В данном направлении опубликовано множество работ касательно обеззараживания питьевой и сточных вод от болезнетворных микроорганизмов [6–8], инактивации патогенов в пищевых продуктах с помощью сильных электрических импульсных полей. Последнее вызывает огромный интерес у исследователей с точки зрения более эффективного воздействия на патогены и обеспечения длительного хранения пищевых продуктов без изменений их пищевой и биологической ценности.

В работах [9–20] наиболее полно представлены известные теории по инактивации микроор-

ганизмов в пищевых продуктах. Существующие методы обработки, такие как тепловая пастеризация, высокотемпературная стерилизация и др., известны давно. Несмотря на то что данные технологии обеспечивают безопасность в применении пищевых продуктов, в технологическом процессе они очень энергоемки. В этой связи поиск, разработка и создание менее энергозатратных установок по обработке пищевых продуктов с целью продления сроков их хранения являются актуальной задачей для всей пищевой промышленности.

Наиболее распространенной теорией инактивации является теория электропорации, приводящая при внешнем электрическом воздействии на клетку микроорганизма к увеличению ее трансмембранного потенциала (напряжения на мембране клетки) – очень важного параметра для любой клеточной структуры [14]. Известно также [13, 21], что импульсная обработка значительно лучше сохраняет пищевую и биологическую ценность свежих пищевых продуктов по сравнению с традиционной тепловой пастеризацией, а тем более высокотемпературной стерилизацией.

Данная статья посвящена разработке высоковольтных установок по электроимпульсному воздействию на микроорганизмы в водосодержащих пищевых продуктах с целью улучшения их качественных показателей и продления сроков хранения.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная установка включает в себя: высоковольтный трансформатор с выходным номинальным напряжением 140 кВ, выпрямитель переменного напряжения, генератор импульсных напряжений и разрядную камеру с обрабатываемым продуктом. Генератор импульсных напряжений собран по схеме Аркадьева-Маркса на основе емкостных накопителей энергии с напряжением на выходе 100 кВ, фронтом импульса ~ 18 нс, длительностью импульса на полувысоте ~ 350 нс и частотой следования импульсов ~ 1000 Гц. Средняя мощность, выделяемая в рабочей камере, составляла $\sim P_{cp} = 10$ кВт. Для предотвращения искрового пробоя промежутка была выбрана однородная система электродов – «пластина – пластина» (рис. 1).

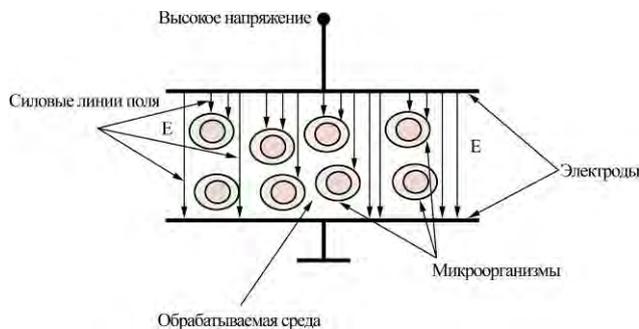


Рис. 1. Электродная система «пластина – пластина».

В качестве объектов исследования были выбраны текучие пищевые продукты – образцы различных соковых экстрактов, полусухого красного вина и сырого молока с содержащимися в них микроорганизмами. Каждая из обрабатываемых сред и их компонентов характеризовалась соответствующими параметрами: относительной диэлектрической проницаемостью – $\epsilon_{отн}$ и удельной электропроводностью – γ .

Отметим, что при электронной обработке текучих пищевых продуктов недопустимы искровые разряды в промежутке и обработка каждого элементарного объема жидкой среды должна стать максимально однородной, в связи с чем и предложили однородную модель из геометрически идентичных плоских электродов размером 40 x 40 мм, обеспечивающих однородное распределение силовых линий поля на межэлектродном расстоянии ~ 10 мм. Причиной недопустимости разрядов в текучих пищевых продуктах является необратимое ухудшение их органолептических свойств и пищевой ценности из-за продуктов разряда.

В рассматриваемой технологии обрабатываемый объект и система электродов представляют собой нагрузку для генератора электромагнитных импульсов, который в зависимости от

назначения и цели применения может иметь свои особенности. Следует отметить, что во всех вариантах воздействия высоковольтных импульсов на объект происходит его кратковременный нагрев (меньший, чем при тепловой пастеризации и стерилизации) за счет выделяемой в ней энергии электромагнитного поля.

Пищевая и биологическая ценность обработанных пищевых продуктов сильно зависит от технологических параметров тепловой обработки, в частности, от ее максимальной температуры в обрабатываемых продуктах, времени нарастания температуры до максимального значения, времени нахождения температуры на максимуме и времени ее спада до безопасных значений для пищевой ценности.

Биологический эффект (инактивирующий) определяется электрическими параметрами установки: мощностью генератора импульсов, амплитудой и длительностью импульсов, напряженностью поля, временем обработки и характеристиками биологического объекта. В зависимости от этих параметров определяются мера воздействия сильных электрических импульсных полей на микроорганизмы и степень их инаktivации.

В проводимых экспериментах напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке составляла порядка ~ 100 кВ/см. Образцы с микроорганизмами делились на 2 вида: контрольный, не подвергающийся воздействию электрических полей, и опытный (обработанный).

Отметим, что в практике экспериментальных исследований инактивирующего действия импульсной обработки различными учеными иногда допускается следующая ошибка. Степень инаktivации, представляющая собой отношение исходного количества микроорганизмов к минимальному, оставшемуся в живых их количеству после обработки, определяется стандартным способом с помощью однократных посевов соответствующих разведений (в физиологическом растворе или дистиллированной воде) суспензий микроорганизмов на питательные среды в чашках Петри. Такие однократные посева, параметры роста которых по стандартной методике определяются через 1–3 суток, могут дать прекрасные результаты, показав высокую степень инаktivации. Однако на примере некоторых микроорганизмов низкая их численность после обработки может сохраняться и 4 суток, после чего может начинаться их бурный рост, если не соблюдены условия полной, необратимой инаktivации. Даже при степени инаktivации микроорганизмов 10^6 , когда после электроимпульсной обработки микроорганизмов при напряженно-

стях поля до 120 кВ/см из 10^6 выживает один, через несколько суток возможен рост численности выживших микроорганизмов. Этот рост может быть и взрывным, быстрым (биологический взрыв). Чтобы избежать этого процесса и обеспечить необратимость инактивации при обработке, должна быть преодолена критическая температура в среде с микроорганизмами, которая в любом случае ниже температуры традиционной тепловой пастеризации, нагревает среду временно и способствует сохранению пищевой и биологической ценности в обработанных пищевых продуктах. Критическая температура обеспечивает необратимость инактивации (не происходит вторичного обсеменения среды теми или иными микроорганизмами). С ростом напряженностей поля следует ожидать уменьшения критических температур. Для большинства видов микроорганизмов при импульсной обработке с напряженностью $E \leq 100$ кВ/см в водосодержащих средах $t_c^\circ = 55-65^\circ\text{C}$. Поэтому для полной инактивации обрабатываемой среды, без повторного ее обсеменения, желателно доводить температуру обработки до значения, немного превышающего критическое для данного микроорганизма. В наших экспериментах температура обрабатываемой среды составляла: для образцов сока и вина $\sim 65^\circ\text{C}$, образцов молока $\sim 70^\circ\text{C}$.

Для исключения возможности вторичного обсеменения обработанной среды необходимо проводить по меньшей мере два посева: сразу после импульсной обработки и через 5 дней после нее, если требуется увеличить срок хранения того или иного продукта без роста в нем микроорганизмов более чем до 5 суток.

Следует отметить, что процесс импульсного электрического воздействия на биологическую клетку, ее реакция на это и математическое описание самого процесса очень сложны. До сих пор не имеется четкого описания процесса такого воздействия [6]. Рассматриваемые в пищевых продуктах микроорганизмы имеют в основном двухслойную диэлектрическую структуру. Для построения такой модели и описания процессов воздействия на нее сильных электрических полей необходим учет всех важных параметров электрического поля, обрабатываемой среды и полученных экспериментальных данных. Модель двухслойной биологической клетки приведена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, клетка состоит из центрального ядра 4, наружной диэлектрической мембраны 2, внутри и снаружи которой находится поляризуемая среда: текучий пищевой продукт 1 и цитоплазма клетки 3 [8]. Величины ϵ_{omn} и γ внутри объектов могут сильно изменяться и

составлять: ϵ_{omn} – от 1 для газов до > 100 для молока или тканей человеческого организма; γ – от 10^{-10} Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ для сухого воздуха до 10 Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$ для водосодержащих пищевых жидкостей. Величины ϵ_{omn} и γ для основных элементов клеток взяты из работ [22, 23] и приведены в табл. 1.

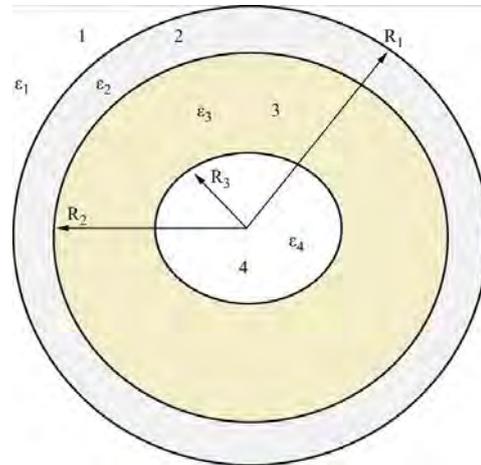


Рис. 2. Структура двухслойной биологической клетки: 1 – наружная среда клетки (обрабатываемая водная среда); 2 – мембрана клетки; 3 – цитоплазма клетки; 4 – ядро клетки.

Отметим, что ядро присутствует в эукариотических клетках (сложных), в прокариотических (простейших) клетках роль ядра играет прокариотическая хромосома. Ядра клеток ϵ_{omn} и γ следует рассматривать как ориентировочные. Из литературы известно [23], что гибкость биомолекул подтверждает их диэлектрическую природу, не совместимую с высокой удельной электропроводностью, а внутреннее содержимое ядра, или прокариотические хромосомы, имеют малое количество воды, из чего следует вывод о низкой электропроводности ядра клетки (или прокариотической хромосомы). Биомолекулы как белковые, так и ДНК имеют много полярных групп, поэтому их относительная диэлектрическая проницаемость должна быть существенно выше, чем в липидах, но заметно меньше, чем у воды. Плотность биомолекул в ядре велика, а прокариотическая хромосома представляет собой молекулу ДНК, несущую наследственную информацию о прокариотической клетке, поэтому ориентировочно диэлектрическую проницаемость ядра можно принять равной характерной диэлектрической проницаемости биомолекулы.

Помимо того что пищевые продукты являются питательной средой для микроорганизмов, усложняющей особенностью их обработки является наличие в продуктах не одного, а многих видов микроорганизмов с различной концентрацией и чувствительностью к электроимпульсной обработке. Кроме того, здесь имеются микроорганизмы, находящиеся в разных фазах разви-

Таблица 1. Электрические характеристики основных элементов биологической клетки

Наименование элемента клетки	Относительная диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_{отн}$	Удельная электропроводность, γ $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$
Мембрана	2–5	$\sim 10^{-7}$
Цитоплазма	~ 81	$\sim 10^{-1}$
Ядро	~ 10	$\sim 10^{-7}$

Таблица 2. Результаты исследований пищевой и биологической ценности сырого молока

Наименование показателя	Фактически полученные результаты	
	Контрольный образец	Опытный образец
Белки, г/100 г	3,35	3,28
Жиры, г/100 г	7	6,4
Углеводы (лактоза), г/100 г	4,8	4,7
Калорийность, ккал/100 г	104,6	99,7
Витамины, мг/100 г		
Витамин В ₁	0,018	0,01
Витамин В ₂	0,170	0,145
Витамин С	0,45	0,34
Аминокислоты, мг/100 г:		
Валин	152	130
Изолейцин	148	123
Лейцин	207	203
Лизин	232	200
Метионин	70	64
Трионин	141	119
Триптофан	25	18
Фенилаланин	100	94
Цистеин	29	27
Тиразин	165	133
Пероксидаза	Есть	Нет
Макроэлементы, мг/100 г:		
Фосфор	86,5	86,5
Калий	118	117,8
Кальций	105,8	102,6
Магний	10,1	10,5
Микроэлементы, мкг/100 г:		
Железо	37,0	34,0

тия, что также усложняет достижение требуемой степени инактивации.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Анализ результатов обработанных образцов свидетельствует об эффективности (экономичности) высоковольтной электроимпульсной обработки текучих продуктов как по степени инактивации микроорганизмов и срокам хранения продуктов, не уступающим традиционной тепловой пастеризации, так и по удельным энергозатратам, поскольку обработка велась при меньших температурах, чем при тепловой пастеризации, и без всякой выдержки на максимальной температуре. Эффект энергосбережения при одинаковой степени инактивации достигается за счет комплексности воздействия синхронно действующих факторов электроимпульсной обработки: напряженности электрического поля, напряжения, тока (проводимости и смещения), быстро нарастающей температуры до максимальных

значений, меньших, чем при тепловой пастеризации. Однако основным преимуществом электроимпульсной обработки, по нашему мнению, следует считать максимальное сохранение, а в некоторых случаях и улучшение исходной биологической и пищевой ценности продуктов после нее. В результате высоковольтной импульсной обработки степень инактивации микроорганизмов в пищевых продуктах составляла 10^5 – 10^6 , а максимальный срок хранения достигал: для различных соков ~ 2 года, вина ~ 6 лет при их хранении на свету при комнатной температуре, для молока ~ 15 суток при температуре хранения $+5^\circ\text{C}$.

Результаты исследования по влиянию высоковольтных электрических импульсных полей на пищевую и биологическую ценность обработанных образцов сырого молока, яблочного сока и красного вина приведены в табл. 2–5.

Из табл. 2 видно, что высоковольтная электроимпульсная обработка образцов сырого молока не снижает его пищевой, биологической

Таблица 3. Результаты исследований пищевой и биологической ценности яблочного сока до и после электроимпульсной обработки

Наименование показателя	Полученные результаты	
	Контрольный образец	Опытный образец
Углеводы (лактоза), г/100 г	10,3	11,2
В т.ч.; глюкоза	1,35	1,42
Витамин РР (ниацин), мг/100 г	0,095	0,082
Витамин С, мг/100 г	3,1	1,7
Макроэлементы, мг/100 г:		
Фосфор	4,32	4,51
Калий	101,6	99,5
Кальций	9,8	10,8
Магний	4,5	4,7
Микроэлементы, мкг/100 г:		
Железо	1135	1090

Таблица 4. Результаты органолептического анализа образцов красных полусухих вин, обработанных сильными электрическими импульсными полями

Органолептические показатели	Контрольный образец	Опытный образец
Цвет	Темно-красный	Темно-красный, более интенсивный
Прозрачность	Прозрачный	Прозрачный
Осадок	Отсутствует	Отсутствует
Букет (запах)	Чистый, цветочный	Чистый, цветочный, развитый
Вкус	Легкий, гармоничный	Легкий, гармоничный, мягкий

Таблица 5. Результаты анализа основных физико-химических показателей красных полусухих вин, обработанных сильными электрическими импульсными полями

Основные физико-химические показатели	Контрольный образец	Опытный образец
Этиловый спирт, % об.	8,9	8,9
Редуцирующие сахара, г/дм ³	1,8	1,8
Титруемые кислоты, г/ дм ³	5,8	5,8
Летучие кислоты, г/дм ³	0,35	0,37
РН	2,8	3,0
Сернистая кислота, мг/дм ³ :		
Свободная	15	17
Общая	97	97
Железо, мг/дм ³	3	4
Факультативные показатели:		
Фенольные вещества, мг/дм ³	1100	1100
Антоцианы, мг/дм ³	78	69
D ₄₂₀	0,10	0,10
D ₅₂₀	0,14	0,12
Интенсивность (I = D ₄₂₀ + D ₅₂₀)	0,24	0,22
Оттенок (T = 0420/0520)	0,71	0,83
Диглюкозид мальвидина, мг/дм ³	6,8	7,0
Яблочно-молочное брожение	Не прошло	Не прошло
Общее число живых микроорганизмов, кл/см ³	Более 38000	280

ценности и вкусовых качеств. Содержание углеводов, микро- и макроэлементов в опытном образце почти сохранилось на уровне контроля. Пищевая и биологическая ценность опытного образца соответствует санитарным нормам качества.

Из табл. 3 видно, что высоковольтная электроимпульсная обработка образцов яблочного

сока не влияет на его пищевую и биологическую ценность, не ухудшает органолептических свойств.

Из табл. 4 видно, что в результате электроимпульсной обработки красное вино не только сохраняет исходные свойства, но и обретает новые целительные свойства биорегуляторов, которые

ми обладают коньяки высококачественных марок.

По результатам исследований, приведенных в табл. 4 и 5, можно заключить следующее:

- в опытном образце, по сравнению с контрольным, наблюдается улучшение букета вина: букет чистый, более развитый, полный, с цветочными тонами;

- необработанный (контрольный) виноматериал по показателям разливостойкости относится к категории удовлетворительного качества: риск появления микробиальных (биологических) помутнений (срок стабильности) – не более 1 месяца;

- обработанный (опытный) виноматериал по показателям разливостойкости относится к категории хорошего качества: срок стабильности к микробиальным помутнениям – более 6 месяцев;

- электроимпульсная обработка не оказывает существенного влияния на физико-химические показатели качества вин.

В работе также исследовалось влияние воздействия высоковольтных импульсов на сохранение полифенольных соединений в сливовом и вишневом соках.

При исследовании из каждого вида плодов было приготовлено по 3 образца: образец 1 – контрольный, который не подвергался никакой обработке; образец 2 – подвергался тепловой стерилизации; образец 3 – подвергался электроимпульсной обработке. Исследования проведены методом измерения оптической плотности – D этаноловых экстрактов соков (сливового и вишневого) на спектрофотометре с последующим построением спектральных кривых (рис. 3, 4).

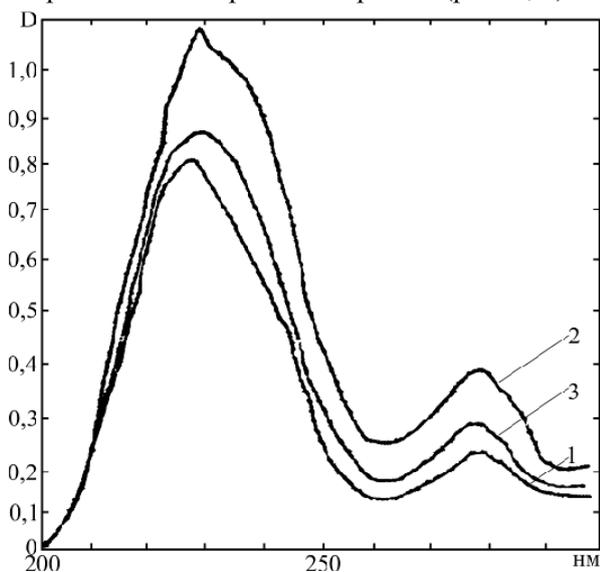


Рис. 3. Спектры поглощения экстракта сливового сока в зависимости от длины волны.

Во всех образцах определялись наличие и количество окисленных форм полифенолов, которые являются смесью карбоновых кислот,

незначительного количества хинонов в интервале длин волн 200–250 нм.

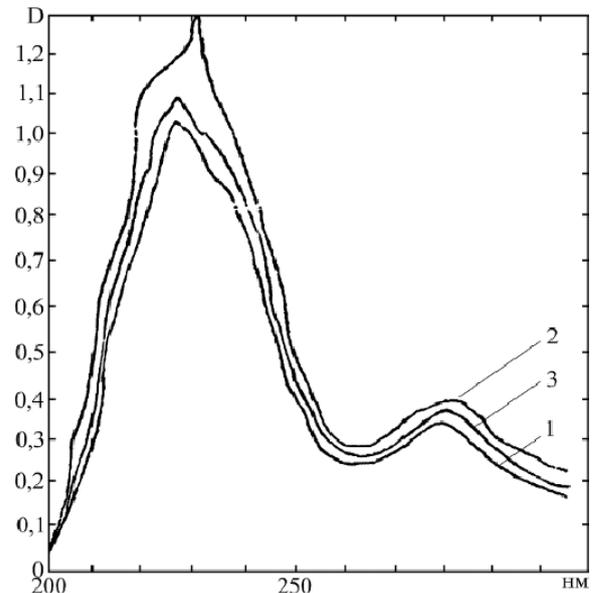


Рис. 4. Спектры поглощения экстракта вишневого сока в зависимости от длины волны.

Приведенные графики спектральной плотности свидетельствуют о том, что наибольшее количество окисленных форм $D = 1,09$ на рис. 3 (кривая 2) и $D = 1,30$ на рис. 4 (кривая 2) находится в образцах сливового и вишневого соков, подвергнутых тепловой стерилизации. Существенно меньшее количество карбоновых кислот, приближающееся к их количеству в контрольных образцах, содержится в образцах, которые обработаны высоковольтными электрическими импульсными полями (рис. 3, кривая 3 и рис. 4, кривая 3). Это подтверждает эффективность электроимпульсного метода обработки по сохранению полифенольных комплексов плодов по сравнению с тепловой стерилизацией (пастеризацией).

ВЫВОДЫ

Результаты экспериментальных исследований по инаktivации микроорганизмов в водосодержащих пищевых продуктах позволили предложить следующую концепцию рационального действия (с минимальными удельными энергозатратами) импульсного электрического поля при обеззараживающей высоковольтной электроимпульсной обработке.

1. Электроимпульсная обработка должна вестись импульсами, обеспечивающими наибольшее проникновение поля внутрь клетки. Таким требованиям отвечают импульсы: а) с коротким фронтом ($t \leq 20$ нс, где t_f – длительность фронта импульса для характерной диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности цитоплазмы и внешней мембраны живой

клетки (табл. 1)) или б) с частотным спектром, содержащим частоты $f \geq 1,75 \cdot 10^7$ Гц [24]. Кроме того, эти импульсы должны оказывать максимальное инактивирующее действие на цитоплазматическую мембрану клеток.

2. Длительность импульсов t_i должна быть $t_i \geq 10^{-7}$ с = 100 нс. Отметим, что оптимальная длительность импульсов t_i связана с размерами клеток, подлежащих инактивации. Она тем дольше, чем больше характерный размер клеток. При этом амплитуда напряженности внешнего импульсного электрического поля ограничена сверху пробивной напряженностью обрабатываемой среды, в которой находятся инактивируемые микроорганизмы, при длительности импульсов t_i , следующих с данной частотой. Слишком длинные импульсы приводят к увеличению удельных энергозатрат при одинаковом инактивирующем эффекте [25, 26]. Импульсы поля с длинным фронтом ($t_f \geq 20$ нс) хуже проникают или совсем не проникают внутрь клетки, что приводит к уменьшению или отсутствию воздействия электроимпульсной обработки на внутреннее содержимое клетки [6].

3. Для достижения максимального инактивирующего эффекта нужно осуществлять обработку водосодержащей среды импульсами с минимально возможными фронтами и с оптимальной длительностью (для микроорганизмов с характерным размером $r \sim 1$ мкм, $t_{i\text{онм}} \sim 0,1-1$ мкс) при максимально возможной амплитуде напряженности, еще не приводящей к пробое среды. При этом наибольшая температура среды, растущая вследствие действия внешнего электрического поля, должна несколько превышать критическую, после которой инактивирующий эффект резко возрастает и становится необратимым. Следует отметить, что критическая температура ниже минимальной температуры тепловой пастеризации, а время ее сохранения в обрабатываемом продукте существенно меньше, чем время тепловой пастеризации.

4. К высоковольтным импульсным установкам по электронно-ионной обработке водосодержащих пищевых продуктов должны предъявляться следующие требования:

а) высоковольтные генераторы импульсных напряжений должны обеспечивать получение на низкоомной (10–100 Ом) нагрузке импульсов с амплитудой ≥ 100 кВ, фронтом (≤ 20 нс), частотой следования импульсов ≥ 100 Гц и средней мощностью в нагрузке от 50 кВт и более. При этом генераторы должны быть технологичными, то есть:

- обеспечивать высокую производительность – 1000 кг/ч и более;
- иметь низкие удельные энергозатраты ≤ 10 кВт/м³;

– иметь простую, надежную и ремонтно-пригодную конструкцию и быть безопасными в работе;

– быть электромагнитно-стойкими и совместимыми в работе с другими устройствами;

– иметь высокий ресурс – $10^{10}-10^{11}$ импульсов;

б) рабочая камера (система рабочих камер) как наиболее критичный элемент из целого ряда устройств и систем высоковольтной импульсной установки должна сочетать в технологическом варианте трудно совместимые характеристики, то есть:

– иметь предельно высокие, но меньше пробивных рабочие напряженности (≥ 100 кВ/см и более) электрического поля, близкого к однородному;

– выдерживать высокие напряжения (≥ 100 кВ);

– иметь высокий ресурс ($\sim 10^{10}$ импульсов и более);

– пропускать большие импульсные токи (~ 10 кА и более);

– выдерживать большие средние мощности (от 50 кВт и более).

Рабочие камеры могут выполняться проточными или стационарными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Г., Гашимов А.М., Курбанов Э.Д. Исследование структуры наносекундного стримерного разряда методом электрографии. *Техническая электродинамика*. 2009, (6), 17–22.
2. Kuzmenko M.E., Mitichkin O.V., Bezlepkin A.I., Kostyuchenko S.V., Kudryavtsev N.N., Pecherkin V.Ya. Experimental Exploration of the Low Pressure Amalgam Lamp at the Increased Power of the Discharge. *High Temperature*. 2000, **38**(3), 487–488.
3. Mammadov N.A., Davudov B.B., Dashdamirov K.M., Sadikhzadeh G.M., Alekberov Sh.Sh. Using of Ozone Technology during Biological and Chemical Processes and Polluted Water Purification. *IJTPPE*. 2013, Issue 17, Vol. 5, No. 4, 184–189.
4. Курбанов Э.Д. Комплексное исследование характеристик наносекундного стримерного разряда в резко неоднородном поле при наличии в промежутке диэлектрических пластин. *Известия НАН Азербайджана*. 2009, **29**(5), 20.
5. Кужекин И.П., Курбанов Э.Д. Сильные электрические поля и импульсные разряды в воде. *Вестник МЭИ*. 2008, (2), 33–36.
6. Gashimov A.M., Kurbanov E.D. The Influence of High-voltage Impulse Treatments on Biological Cells. *Surf Eng Appl Electrochem*. 2009, **45**(5), 411–414.
7. Gurbanov E.J. Environmentally Clear Methods of Water Disinfection. *IJTPPE*. 2014, Issue 18, Vol. 6, No. 1, 34–38.
8. Gurbanov E.J. Plasma Processes in Water under Effect of Short Duration Pulse Discharges. *The 66-th Annual*

- Gaseous Electronics Conference GEC-2013, Bulletin of the APS. Princeton (USA), September-October 2013, 58(8), p. 47.*
9. Голубев В.Н., Жиганов И.Н. *Пищевая биотехнология*. М.: ДеЛи Принт, 2001. 123 с.
 10. Лейстнер Л. Значение барьерной технологии при сохранении качества пищевых продуктов. *Мясная индустрия*. 1998, (2), 23–25.
 11. Флауменбаум Б.Л. *Основы консервирования пищевой продукции*. М.: Легк. пищ. пром-сть, 1982. 272 с.
 12. Работнова И.Л. *Роль физико-химических условий среды в жизнедеятельности микроорганизмов*. М.: АН СССР, 1957. 275 с.
 13. Barbosa-Canovas G.V., Gongora-Nieto M.M., Pothakamury U.R., Swansson B.G. *Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields*. Washington, San Diego: Academic Press, 1999. 200 p.
 14. Tsong T.Y. Review: On Electroporation of Cell Membranes and Some Related Phenomena. *Bioelectroch Bioener*. 1990, **24**, 271–295.
 15. Coster H.G., Zimmerman U. The Mechanism of Electrical Breakdown in the Membranes of *Valonia Untricularis*. *J Membrane Biol*. 1975, **22**, 73–90.
 16. Dimitrov D.S. Electric Field – Induced Breakdown of Lipid Bilayers and Cell Membranes: A thin Viscoelastic Model. *J Membrane Biol*. 1984, **78**, 53–60.
 17. Jayaram S., Castle G.S. and Margaritis A. Kinetics of Sterilizations of *Lactobacillus Brevis* by the Application of High Voltage Pulses. *Biotechnol Bioeng*. 1992, **40**(11), 1412–1420.
 18. Palaniappan S., Sastry S.K. and Richter E.R. Effects of Electricity on Microorganisms: A Review. *J Food Proc. Pres*. 1990, **14**, 393–414.
 19. Harrison S.L. *High Intensity Pulsed Electric Field and High Hydrostatic Pressure Processing of Apple Juice*. Ph. D. Dissertation. Washington State University. Pullman, Washington, 1996. 49 p.
 20. Harrison S.L., Barbosa-Canovas G.V. and Swanson B.G. *Sacchromyces Cerevisiae* Structural Changes Induced by Pulsed Electric Field Treatment. *Lebensm Wiss Technol*. 1997, **30**, 236–240.
 21. Quass D.W. *Pulsed Electric Field Processing in the Food Industry (A Status Report on PEF CR-109742)*. Toledo, OH: Food Technology Alliance, 1997. 50 p.
 22. Angersbach A., Heinz V. and Knorr D. Effects of Pulsed Electric Fields on Cell Membranes in Real Food Systems. *Innov. Food Sci. & Emerg. Technol*. 2000, **1**, 135–149.
 23. Волькенштейн М.В. *Биофизика*. М.: Наука, 1988. 592 с.
 24. Шваб А. *Измерения на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения*. М.: Энергоатомиздат, 1983. 264 с.
 25. Schoenbach K.H., Peterkin F.E., Alden R.W. and Beebe S.J. The Effect of Pulsed Electric Fields on Biological Cells: Experiments and Applications. *IEEE Transactions on Plasma Science*. 1997, **25**(2), 284–292.
 26. Blank M. Coupling of AC Electric Fields to Cellular Processes. *First International Symposium on Non-thermal Medical/Biological Treatments Using Electromagnetic Fields and Ionized Gases. Electromed 99. Symposium Record Abstracts*. Norfolk, Virginia, USA. Norfolk VA, USA, 12–14 April 1999, p. 23.

Поступила 03.07.15

После доработки 24.07.15

Summary

The present article is devoted to the energy efficient and environmentally safe methods of electronic treatment of water-containing foodstuffs in order to extend their shelf life without changing their initial nutrition and biological properties. It is shown that high-voltage electric pulse treatment, instead of thermal pasteurization and sterilization, of fluid foodstuffs, is the least power-intensive in both the processing time and the temperature of heating the medium. It is revealed that the complete inactivation of microorganisms in the treated liquid medium is reached when the high-voltage installation meets the following requirements: temperature of heating the medium in the discharge chamber is higher than the critical one and is ~ 70°C; the high electric field intensity between the electrodes does not cause breakdown of the medium; the pulse amplitude is maximal; the pulse front is minimal (not over 20 ns) and the pulse duration is optimally long (not less than 100 ns). It is specified that the high-voltage pulse treatment with these parameters leads to the improvement of properties of the treated drinks, acquisition of new healthy properties, and extension of their shelf life.

Keywords: electric pulse treatment, water-containing medium, crude milk, extracts of juices, red wine, pulse front, pulse duration, high-voltage installation, inactivation of microorganisms, electric field intensity, heating temperature.