

## СТЕРИЛИЗАЦИЯ КОНСЕРВОВ ХОЛОДНОЙ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМОЙ

Т.В. БАРХАТОВА, Е.Е. ИВАНОВА, Г.И. КАСЬЯНОВ, О.В. КОСЕНКО, И.А. ХРИПКО

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;  
электронная почта: s.mir2393@gmail.com*

Проанализированы преимущества низкотемпературной газовой плазмы для стерилизации консервов. Приводятся сведения о методах и устройствах для генерации холодной плазмы, полученные благодаря достижениям прикладной плазмохимии, физики неравновесной плазмы и химической кинетики. Сконструирован экспериментальный стенд для разработки режимов холодной стерилизации растительного и животного сырья. Исследовано действие низкотемпературной плазмы на скорость обеспложивания микроорганизмов пищевых продуктов. Показано эффективное бактерицидное воздействие на микроорганизм *B. Subtilis* холодной аргоновой плазмы при атмосферном давлении. Установлена возможность генерации плазмы с помощью слаботоковых высоковольтных разрядов. Полная инактивация группы микроорганизмов достигается при двухминутной обработке объектов стерилизации. В статье приведены виды плазмохимических взаимодействий низкотемпературной аргоновой плазмы, основанной на синергизме инфракрасных, ультрафиолетовых и микроволновых излучений.

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма, стерилизация, аргоновая плазма, микроорганизмы, экспериментальный стенд, плазменная стерилизация.

Известно, что вещество может находиться не только в виде твердого, жидкого и газообразного состояния, но и в виде плазмы. Четвёртое состояние веществ делится на высокотемпературную и холодную плазму. Наибольший интерес для специалистов в области консервирования пищевых продуктов сегодня представляет холодная плазма в интервале температур от 40 до 60 °С. Постановка проблемы стерилизации продуктов холодной плазмой обусловлена необходимостью выявления низкотемпературных способов обработки пищевого сырья, с целью максимального сохранения пищевых и биологически активных веществ.

Выполненный авторами анализ последних исследований и публикаций выявил принципиальную возможность создания эффективно действующих плазменных стерилизаторов для пищевых продуктов. Аналогом таких аппаратов являются медицинские стерилизаторы, использующие в качестве рабочего агента ионизированные пары перекиси водорода.

В последние годы большое внимание уделяется теоретическому обоснованию использованию плазменной электроники для генерации холодной плазмы на основе сильноточного газового разряда [1,3,6,8]. Значительное число исследований связано с проблемами прикладной плазмохимии по внедрению низкотемпературных газовых генераторов для обработки сырья, материалов и сточных вод [2,4,5,7,9,11,12]. Известна установка, использующая низкотемпературную неравновесную плазму для стерилизации материалов [10]. Внутри газоразрядной камеры находятся секции анода и катода, создающие стационарный разряд в потоке инертного газа и позволяющие создавать вне зоны разряда низкотемпературную плазму.

Установлено, что низкотемпературная плазма, использующая газоразрядные методы, в отличие от тепловых способов стерилизации, имеет важные принципиальные преимущества. К ним относится низкая температура стерилизации термолабильных материалов, кратковременное воздействие на микроорганизмы с целью их нейтрализации. Газоразрядная плазма генерирует целый спектр стерилизующих агентов, включая инфракрасное, ультрафиолетовое, микроволновое излучение и поток быстрых заряженных частиц. Это явление позволяет сократить до нескольких минут продолжительность процесса стерилизации продуктов. Плазменные стерилизаторы экологичны, малоэнергоёмки и не представляют радиационной опасности.

В таблице 1 приведены виды плазмохимических взаимодействий в плазме, генерирующей спектр стерилизующих воздействий на сырьё.

Таблица 1 – Виды взаимодействий в плазме

Возбуждение атомов и молекул	$e + A_2 \rightarrow A_2^* + e$ $e + A \rightarrow A^* + e$	Приводит к появлению возбужденных состояний атомов и молекул при взаимодействии с электронами
Снятие возбуждения	$e + A_2^* \rightarrow A_2 + e + h\nu$	Возбужденные состояния возвращаются в основное состояние, излучая фотоны
Ионизация	$e + A_2 \rightarrow A_2^+ + e$	Электроны ионизируют частицы, образуя положительные ионы
Диссоциация	$e + A_2 \rightarrow 2A + e$	Неупругое взаимодействие электронов с молекулой вызывает ее диссоциацию без образования ионов
Объемная рекомбинация	$e + A + B \rightarrow A + B$	Потеря плазмой заряженных частиц за счет рекомбинации противоположных зарядов
Диссоциация Пеннинга	$M^* + A_2 \rightarrow 2A + M$	Взаимодействие метастабильных частиц с нейтральными приводит к ионизации или диссоциации
Ионизация Пеннинга	$M^* + A \rightarrow A^+ + M + e$	
Обмен зарядом	$A^+ + B \rightarrow B^+ + A$	Передача заряда от иона нейтральной частице
Рекомбинация ионов	$A^+ + B^+ \rightarrow AB$	Два сталкивающихся иона рекомбинируют, образуя молекулу
Электрон-ионная рекомбинация	$e + A_2^+ + M \rightarrow A_2 + M$	Заряженные частицы теряются плазмой за счет рекомбинации противоположных зарядов
Ион-ионная рекомбинация	$A^+ + B^+ + M \rightarrow AB + M$	Происходит за счет взаимодействия трех тел

В таблице приведены основные уравнения электронно-ионной рекомбинации в квазистационарной плазме.

Целью исследований является разработка режимов стерилизации пищевых продуктов холодной аргоновой плазмой.

К традиционным способам стерилизации пищевых продуктов относится обработка предварительно подготовленного и расфасованного в банки сырья в автоклавах периодического действия в течение 1,5-2,0 ч при температуре до 120 °С и противодавлении 0,15-0,20 МПа. Однако длительное воздействие высокой температуры на растительное и животное сырье, кроме дезактивации микрофлоры, негативно влияет на содержание в продукте биологически активных веществ. При жестких режимах стерилизации разрушается до 70 % водорастворимых витаминов, происходит полимеризация ряда ценных компонентов. Длительный период тепловой обработки сырья приводит к значительному расходу электроэнергии и существенно удорожает готовую продукцию.

Авторами установлено, что стерилизацию растительного и животного сырья целесообразно проводить низкотемпературной аргоновой плазмой, основанной на синергизме плазмохимических излучений. Аргоновая плазма генерирует заряженные частицы, ультрафиолетовое излучение в диапазоне 200-300 нм. В аппарате с индуктивно-связанной аргоновой плазмой расходуется мощность 0,8-1,5 кВт.

На рисунке 1 показана структурная схема экспериментального стенда для разработки режимов холодной стерилизации.

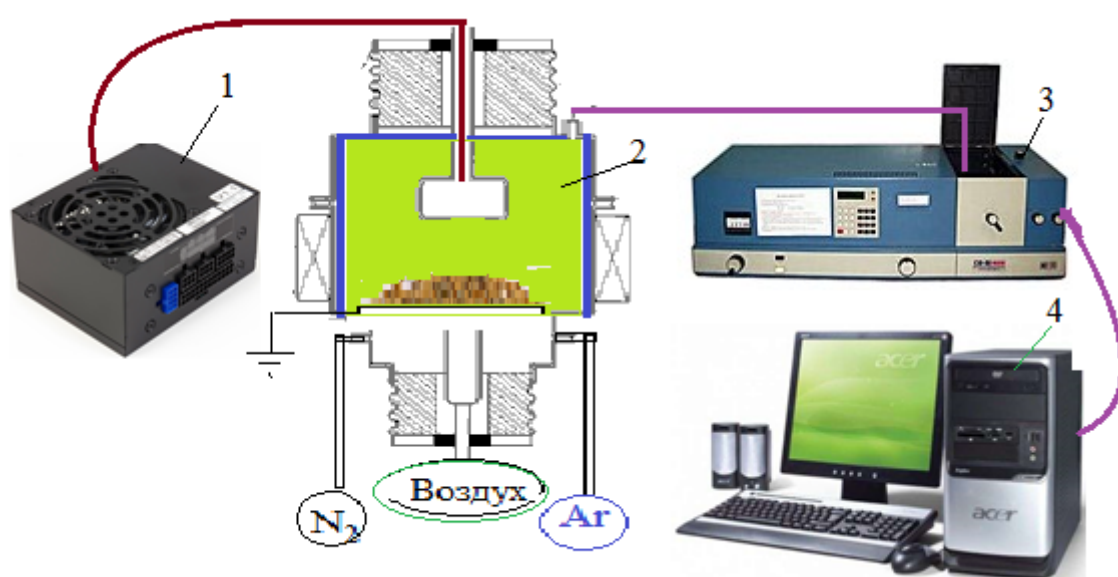


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментального стенда для разработки режимов холодной стерилизации

Приведенная на рисунке 1 структурная схема экспериментального стенда для разработки режимов холодной стерилизации позволяет регистрировать поток частиц на спектрофотометре и обрабатывать информацию на ПЭВМ.

На установке производится стерилизация образцов с помощью низкоэнергетического (150 - 200 кэВ) сильноточного электронного пучка.

Для применения неравновесной (нетепловой) плазмы в качестве стерилизующего агента необходимо понимание принципов управления плазмой.

Нетепловую плазму получают с помощью электрических разрядов газовой среде. При этом основная часть электроэнергии направляется на генерацию энергетических электронов, которые взаимодействуя с рабочим газом и поверхностью электродов приводят в возбужденное состояние атомы и молекулы, образуя дополнительные ионы за счет ионизации газовой струи.

Исследования показали, что инактивация микроорганизмов холодной плазменной струей в течение нескольких секунд, эквивалентна длительному воздействию тепла или химических биоцидов. Обработка плазмой в течение 20 с привела к инаktivации *B. subtilis* от содержания клеток  $3,0 \cdot 10^4$  кл/мл до  $1,3 \cdot 10^3$  кл/мл, а воздействие плазмой в течение 30 сек привело к полной стерилизации образца. Полной инаktivации группы микроорганизмов удалось достичь при двухминутной обработке объектов стерилизации.

#### Выводы и предложения

Холодная аргоновая плазма обладает высокой эффективностью бактерицидного воздействия на микроорганизмы растительного и животного сырья. Достигнута высокая эффективность воздействия на микроорганизмы источников холодной аргоновой плазмы на основе слабых высоковольтных разрядов. Изучена выживаемость бактерий в диффузной плазме при импульсно-периодическом тлеющем разряде атмосферного давления. Полной инаktivации микроорганизмов удалось достичь при двухминутной обработке объектов стерилизации.

Установлена зависимость эффективности инаktivации микроорганизмов от увеличения продолжительности обработки объектов стерилизации холодной плазмой. Таким образом, нетепловая плазма, состоящая из ионизированного газа, из положительных и отрицательных ионов, электронов, атомов в метастабильных состояниях и фотонов, является идеальным стерилизующим агентом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Битнер Л.Р. Вакуумная и плазменная электроника. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 151 с.
2. Гаврилова О.И. Исследование воздействия плазмы на всхожесть семян хвойных пород /Гаврилова О.И., Гостев К.В., Гостев В.А., Журавлёва М.В. //В мире научных открытий. 2015. № 12.2 (72). С. 649-663
3. Гостев К.В. Перспективы применения холодной плазмы промышленности в сфере живых систем/ К.В. Гостев, Е.А. Тихонов. //Наука и бизнес: пути развития. 2012. № 3. С. 75-78.
4. Десятов А.В. Исследование возможности обеззараживания воды воздействием холодной плазмы при кавитации в высокоскоростных потоках воды /Десятов А.В., Кручинина Н.Е., Колесников А.В., Графов Д.Ю., Ландырев А.М., Якушин Р.В., Кутербекоев К.А., Нурахметов Т.Н. //Вода: химия и экология. 2015. № 9. – С. 76-80
5. Занин Д.Е. Способы увеличения сроков хранения продуктов с использованием низкотемпературной плазмы. В сб. матер. междунаучно-практ. конф. «Современные проблемы качества и безопасности продуктов питания в свете требований Технического регламента Таможенного союза». Краснодар: КубГТУ, 2014. – С. 155-157.
6. Касьянов Д.Г. Стерилизация пищевых продуктов с помощью объемной плазмы на основе сильноточного газового разряда. В сб. матер. междунаучно-практ. конф. «Суб – и сверхкритические флюидные технологии в пищевой промышленности», 10-15 октября 2012 г.- Краснодар: Изд. КубГТУ, 2012. – С. 37-39.
7. Касьянов Д.Г., Запорожский А.А. Применение холодной аргоновой плазмы для стерилизации мясных и рыбных консервов //В сб. матер. междунаучно-технич. конф. «Перспективные технологии производства продукции из сырья животного и растительного происхождения», Краснодар, 2013. – С. 12-14.
8. Колпаков В.А., Колпаков А.И., Кричевский С.В. Генератор широкоапертурного потока газоразрядной плазмы. //Приборы и техника эксперимента. № 2, 2014. – С. 60–67.
9. Лихачев, П.П. Применение генератора холодной плазмы для очистки ливневых стоков/П.П. Лихачев, Н.А. Аристова, И.М. Пискарев, В.А. Ушканов//Вода: химия и экология. -2008. -№ 6. -С. 30-34.
10. Патент РФ № 2370924 Газоразрядная камера для создания низкотемпературной неравновесной плазмы /Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Трушкин Н.И. Заявка № 2007139572/06, заявлено 26.10.200720, опубликовано 10.2009 Бюл. № 29.
11. Пушкарев А.И. Прикладная плазмохимия. / А.И. Пушкарев, Г.Е. Ремнев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 258 с.

12. Смирнова Н.В. Применение холодной плазмы атмосферного давления в технологиях лечения животных /Смирнова Н.В., Петрова Н.О., Шемет М.В., Идиатулин И.Г. //Иппология и ветеринария. 2016, № 2. – С. 115-119.

#### REFERENCES

1. The LR Bitner Vacuum and plasma electronics. - Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, 2007. - 151 p.
2. O. Gavrilova Research on effects of plasma on seed germination softwood / Gavrilova OI, guests KV, guests VA Zhuravlev MV // In the world of scientific discoveries. 2015. № 12.2 (72). pp 649-663
3. Gostev KV Prospects for the use of cold plasma industrial-sti in living systems / KV Gostev, EA Tikhonov. // Science and business: ways of development. 2012. № 3. S. 75-78.
4. AV Desyatov The study of water disinfection capabilities cart-action of a cold plasma at cavitation in-dy / AV Desyatov in high-speed flows, Kruchinina NE, Kolesnikov AV, Earls DY, Landes Revolutionary AM Jakushin RV Kuterbekov KA, Nurakhmetov TN // Water: chemistry and ecology. 2015. № 9. - S. 76-80
5. Zanin DE Methods for increasing the shelf life of products with the use of low-temperature plasma-tion. In Proc. Mater. Internat. Scient. Conf. "Modern problems of quality and food safety in the light of the requirements of technical regulations of the Customs Union." Red gift: KubGTU, 2014. - P. 155-157.
6. DG Kasyanov Sterilization of food by means of the volume of plasma-based high-current gas discharge. In Proc. Mater. Internat. Scient. Conf. "Sub - and supercritical fluid technology in the pi-foodstuffs industry", 10-15 October 2012 g.- Krasnodar Univ. KubGTU, 2012. - P. 37-39.
7. DG Kasyanov, Zaporozhye AA The use of cold argon plasma for sterilization of canned meat and fish // In Proc. Mater. Internat. scientific and tech. Conf. "Advanced technology products from raw materials of animal and vegetable origin", Krasnodar, 2013 - P. 12-14.
8. VA Kolpakov, AI Kolpakov, Krichevsky SV Generator shirokoap erturnogo-flow gas-discharge plasma. // Instruments and experimental technique-ta. Number 2, 2014. - P. 60-67.
9. Likhachev, PP The use of cold plasma generator for cleaning stormwater / PP. Likhachev, NA Aristova, IM Piskarev, VA Abalone, new // Water: chemistry and ecology. -2008. -№ 6. С. 30-34.
10. RF Patent number 2370924 Discharge chamber to create the low--temperature-equilibrium plasma / Akishev YS, ME Grushin, NI Trushkin Application № 2007139572/06, stated 26.10.200720, 10.2009 published Bul. Number 29.
11. Pushkarev AI Applied plasma chemistry. / AI Pushkarev, GE Rem-Neuve; Tomsk Polytechnic Uni-tete. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2011. - 258 p.

12. Smirnova NV The use of cold atmospheric pressure plasma technology in the treatment of animals / Smirnova NV, Petrova NO, Shemet MV IG Idiatulin // On horses and veterinary medicine. 2016, № 2. - S. 115-119.

### *COLD CANNED FOOD STERILIZATION BY ARGON PLASMA*

**T.V. BARKHATOVA, E.E. IVANOVA, G.I. KASYANOV, O.V. KOSENKO, I.A. HRIPKO**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072; s.mir2393@gmail.com*

The advantages of low-temperature gas plasma for sterilization of canned food. Provides information on methods and devices for generating cold plasma, obtained thanks to advances in applied plasma chemistry, physics of nonequilibrium plasma and chemical kinetics. Designed a test bench for the development of regimes of cold sterilization of vegetable and animal raw materials. We investigated the effect of low-temperature plasma on the rate of dehydration of microorganisms in food products. Shows an effective bactericidal effect on the microorganism *B. Subtilis* cold argon plasma at atmospheric pressure. The possibility of generating plasma with low current high voltage discharges. Complete inactivation of the group of microorganisms is achieved with a two-minute process objects of sterilization. The article describes the types of plasma-chemical interactions of low temperature argon plasma, based on the synergy of infrared, ultraviolet and microwave radiation.

**Key words:** low-temperature plasma sterilization, argon plasma-ma, microorganisms, experimental stand, plasma sterilization