

**ПЕРСПЕКТИВЫ СТЕРИЛИЗАЦИИ СЫРЬЯ
ХОЛОДНОЙ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМОЙ**

**PROSPECTS OF STERILIZATION OF RAW MATERIALS
COLD ARGON PLASMA**

Касьянов Геннадий Иванович

доктор технических наук,
профессор, профессор кафедры
технологии продуктов питания
животного происхождения,
Кубанский государственный
технологический университет
g_kasjanov@mail.ru

Аннотация. Разработка режимов стерилизации пищевых продуктов низкотемпературной плазмой весьма перспективна для малых и средних предприятий.

В статье описана проблема стерилизации растительного и животного сырья с помощью низкотемпературной аргоновой плазмы при температуре до 40 °С, что позволяет практически полностью сохранить пищевые и биологически активные вещества исходного сырья в готовом продукте.

Новая технология позволяет снизить энергозатраты на стерилизацию продукта в 2 раза по сравнению с традиционным автоклавным способом. Работа актуальна в связи с тем, что решает вопрос уничтожения микрофлоры сырья с помощью принципиально нового способа обеспложивания низкотемпературной плазмой с помощью самогенерируемого в камере ИК-, УФ-излучения и потока электронов.

Научная новизна выполненных исследований заключается в теоретическом обосновании использования низкотемпературной аргоновой плазмы для стерилизации пищевого сырья в потребительской таре, позволяющие сохранять высокую пищевую и биологическую ценность исходного сырья и готовой продукции. Впервые выполнен сравнительный анализ зависимости содержания витаминов в комбинированном сырье, стерилизованном при жестких режимах в автоклавах и холодной плазмой. Установлена глубина пенетрации опытных образцов выше по сравнению с контрольным и возрастает с увеличением содержания в рецептурах овощного сырья.

Привлекательность пищевой продукции длительного хранения (консервов, пресервов, пищевых концентратов) существенно повысится за счет практически полного сохранения содержания ценных компонентов исходного сырья (аминокислот, жирных кислот, витаминов, эссенциальных микроэлементов).

Ключевые слова: холодная стерилизация, аргоновая плазма, генератор, микроорганизмы, тлеющий разряд.

Введение.

В последние годы в нашей стране активно развивается импульсная энергетика, положившая начало холодноплазменных установок [1–3]. Эти работы базируются на ранее выполненных исследованиях по методам расчета и обобщения электрических и

Kasyanov Gennady Ivanovich

Doctor of engineering, Professor,
Professor of department of technology
food of an animal origins,
Kuban state technological university
g_kasjanov@mail.ru

Annotation. Development of regimens of sterilization of foodstuff low-temperature plasma is very perspective for small and medium-sized enterprises.

In article the problem of sterilization of vegetable and animal raw materials by means of low-temperature argon plasma at a temperature up to 40 is described °C that allows to keep almost completely alimentary and biologically active agents of initial raw materials in a ready-made product.

The new technology allows to lower energy consumption on sterilization of a product twice in comparison with a traditional autoclave way. Work is urgent because resolves an issue of destruction of a microflora of raw materials by means of essentially new way of sterilization by low-temperature plasma by means of samogeneriruyemy in the IK camera - UF-radiation and a stream of electrons. Scientific novelty of the executed researches consists in theoretical justification of use low-temperature argon plasma for sterilization of alimentary raw materials in a retail container, the high nutrition and biological value of initial raw materials and finished goods allowing to keep. The comparative analysis of dependence of content of vitamins B the combined raw materials sterilized at rigid regimens in autoclaves and cold plasma is for the first time made. Depth of a penetration of prototypes above in comparison with control is established and increases with contents augmentation in compoundings of vegetable raw materials.

Appeal of food products of long storage (canned food, preserved food, pishchekonsentrat) will significantly increase due to almost full conservation of maintenance of valuable components of initial raw materials (amino acids, fatty acids, vitamins, essential trace substances).

Keywords: cold sterilization, argon plasma, the generator, microorganisms, the smoldering category.

тепловых характеристик промышленных струйных плазмотронов [7]. Были выполнены теоретические и экспериментальные исследования по перспективам применения технологии холодной плазмы в медицине, микробиологии, агропромышленном и лесном комплексах [4–6]. В зарубежных публикациях описывались эффекты бактерицидного действия нетепловой аргоновой плазмы на животных и человека [8–10].

Выполнено теоретическое обоснование возможности стерилизации сельскохозяйственного сырья низкотемпературной аргоновой плазмой, создана экспериментальная лабораторная установка, позволяющая разрабатывать режимы эффективного обеспложивания продуктов.

В медицинской промышленности уже используются установки для стерилизации инструментов и пластиковых материалов, однако в качестве рабочего агента для создания плазмы они используют перекись водорода, что нежелательно для пищевых продуктов.

К недостаткам разрабатываемой технологии относится отсутствие промышленного изготовления аппаратуры для стерилизации больших объемов консервируемой продукции. Однако Санкт-Петербургская фирма спроектировала установку с камерой на 100 и 200 дм³.

Научная и инновационная новизна работы заключается в высокой эффективности процесса кратковременной низкотемпературной стерилизации широкого ассортимента растительного и животного сырья и полуфабрикатов.

Потенциальный эффект новой технологии заключается в значительном улучшении качественных характеристик продукта и снижении затрат электроэнергии.

Актуальность применения компактных, высокопроизводительных низкотемпературных плазменных устройств подтверждена на примере стерилизации медицинских препаратов и инструментов. Внедрение способа холодной стерилизации позволит освоить до 70 % рынка стерилизуемой термолабильной продукции.

Существующие в настоящее время технологические линии консервирования пищевого сырья для стерилизации используют высокотемпературные автоклавы, режим работы которых приводит к разрушению почти 50 % витаминов и других БАВ. Чтобы сохранить термолабильные компоненты пищевого сырья необходимо снизить температуру тепловой обработки, но сохранить стерилизующий эффект.

Целью исследований является оптимизация процесса стерилизации комбинированных консервов с применением новых сохраняющих факторов.

Ранее в технологической практике не использовался феномен стерилизации сырья холодной аргоновой плазмой с помощью инфракрасного, ультрафиолетового облучения и потока быстрых электронов.

Теория и практика холодной плазмы. Исследовано действие низкотемпературной (не выше 40 °С) аргоновой плазмы, генерируемой СВЧ генератором, на процесс стерилизации пищевых продуктов. Холодная плазма имеет ряд специфических свойств, относящее её к особому четвёртому состоянию вещества.

Благодаря высокой подвижности заряженных частиц плазмы они могут легко перемещаться под действием электрических и магнитных полей. В случае нарушения электрической нейтральности некоторых областей плазмы из-за скопления частиц одного знака заряда, оно быстро ликвидируется. Возникающее электрическое поле перемещает заряженные частицы до восстановления электрической нейтральности.

Заряженные частицы плазмы, под воздействием кулоновских сил, сравнительно медленно теряют заряд с расстоянием. Благодаря тому, что каждая частица взаимодействует сразу со многими окружающими её частицами (наряду с хаотическим тепловым движением) частицы плазмы участвуют в упорядоченных движениях и в ней легко возбуждаются колебания и волны.

С ростом ионизации плазмы увеличивается её проводимость. Высокоионизированная плазма обладает сверхпроводниковой проводимостью.

Если использовать в качестве теплоносителя плазму с высокой удельной энтальпией, то процесс стерилизации можно сделать непрерывным, высокоинтенсивным,

с целью совмещения отдельных технологических стадий. Время собственно стерилизации продукта в тонком слое находится в интервале от 2 до 10 с. Схема процесса переработки загрязненных нефтепродуктами отходов в плазмохимической установке показана на рисунке 1.

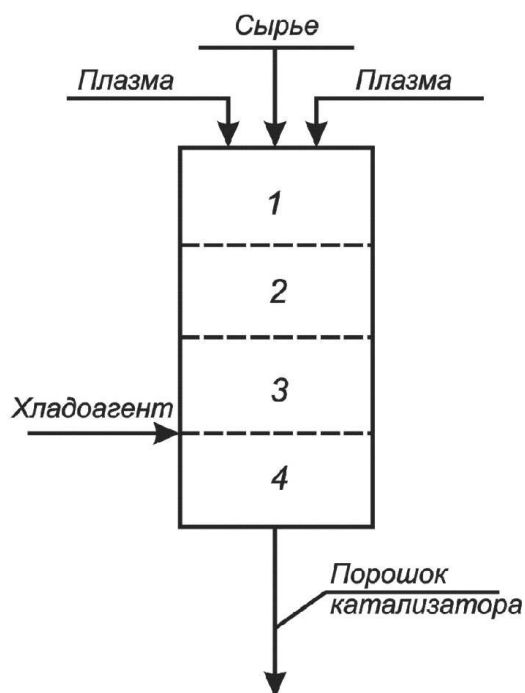


Рисунок 1 – Схема переработки загрязненных нефтепродуктами отходов в плазмохимической установке

В установке происходит нагрев отходов высокоэнтальпийной плазмой до равновесного испарения, резкая эвакуация растворителя при температуре равновесного испарения и термическое разложение растворенных веществ.

По теории Аксиомы Единства [1], радиус r вращения магнитной структуры фотона, изменяясь в диапазоне $(3 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-18})$ м, остаётся равным длине волны λ , которую описывает его центр масс.

В формулировке профессора Канарева Ф.М. «Плазмой является электронно-ионное состояние вещества, непрерывно излучающее и поглощающее фотоны, в соответствии с температурой этого вещества».

Длина волны фотонов для формирования температуры 1°C , будет равна:

$$\lambda_1 = \frac{C'}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{273,15 + 1} = 10,570855 \cdot 10^{-6} \text{ м} . \quad (1)$$

Энергии фотонов, формирующих температуры 0°C и 1°C будут соответственно равны:

$$E_0 = \frac{h \cdot C}{\lambda_0} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10,609555 \cdot 10^{-6}} = 0,116882 \text{ eV} . \quad (2)$$

При этом разность энергий фотонов, при которой изменяется температура на 1°C , будет такой:

$$\Delta E = E_0 - E_1 = 0,116882 - 0,117304 = 0,0004 \text{ eV} ; \quad (3)$$

$$E_0 = \frac{h \cdot C}{\lambda_0} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 10,570855 \cdot 10^{-6}} = 0,117304 \text{ eV} . \quad (4)$$

Если термометр показывает 20 °С, то максимальное количество фотонов в зоне термометра, формирующих эту температуру, имеет длину волны:

$$\lambda_{20} = \frac{C'}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{273,16 + 20} = 9,855 \cdot 10^{-6} \text{ м.} \quad (5)$$

При повышении температуры до 30 °С максимальное количество фотонов в единице объема в зоне термометра, формирующих эту температуру, имеет длину волны:

$$\lambda_{30} = \frac{C'}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{273,16 + 30} = 9,560 \cdot 10^{-6} \text{ м.} \quad (6)$$

Когда термометр показывает 100°С, то максимальное количество фотонов в зоне термометра, формирующих эту температуру, имеет длину волны:

$$\lambda_{100} = \frac{C'}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{273,16 + 100} = 8,010 \cdot 10^{-6} \text{ м.} \quad (7)$$

На кафедре Технологии продуктов питания животного происхождения КубГТУ разработана установка для стерилизации сельскохозяйственного сырья низкотемпературной аргоновой плазмой (НТАП). Мы предложили использовать плазмотрон для создания струи низкотемпературной плазмы, позволяющей стерилизовать пищевые продукты.

Используя НТАП как стерилизующий агент, следует решать вопросы с обеспечением безопасности, эффективностью способа и воспроизводимостью результатов эксперимента.

Принцип управления холодной плазмой основан на генерировании электрических разрядов газовой среде, когда часть электроэнергии направляется на производство энергетических электронов, которые взаимодействуя с рабочим газом и поверхностью электродов возбуждают атомы и молекулы, с образованием дополнительных ионов ионизацией газовой струи.

В общем виде холодная плазма представляет собой ионизированный газ, состоящий из положительных и отрицательных ионов, электронов, атомов в метастабильных состояниях и фотонов.

Характерные типы взаимодействий в плазме приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характерные типы взаимодействий в холодной плазме

Способы возбуждения 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	$e + A;^* \rightarrow A + e + h\nu$	Возбужденные атомы и молекулы излучают фотоны при возвращении в основное состояние
Ионизация	$e + A_2 \rightarrow A_2^+ + e$	Частицы ионизируются электронами, образуя положительные ионы
Диссоциация	$e + A_2 \rightarrow 2A + e$	Неупругое взаимодействие электронов с молекулой вызывает ее диссоциацию без образования ионов
Объемная рекомбинация	$e + A + B \rightarrow A + B$	При рекомбинации противоположных зарядов происходит потеря плазмой заряженных частиц
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

Рассмотрим плазменные колебания и резонанс в однородном плоском слое со средней концентрацией электронов n . Плоский слой продукта толщиной d расположен перпендикулярно оси x . В определенный момент времени t электроны смещаются на расстояния $\delta x(t) < d$ по оси x . На границах слоя появляются противоположно заряженные слои толщиной δx с зарядами $\pm\sigma = \pm e \cdot \delta x \cdot n$. Проекция напряженности электрического поля на ось x составляет: $E_x = -4\pi \cdot en \cdot \delta x$. При этом каждый электрон внутри слоя приобретает ускорение $d^2(\delta x)/dt^2 = (e/m) E_x$.

Выдвинутая авторами гипотеза о технологических возможностях низкотемпературной аргоновой плазмы в качестве стерилизующего агента получила экспериментальное подтверждение при лабораторных исследованиях.

На рисунке 2 приведена схема установки для генерации низкотемпературной аргоновой плазмы.

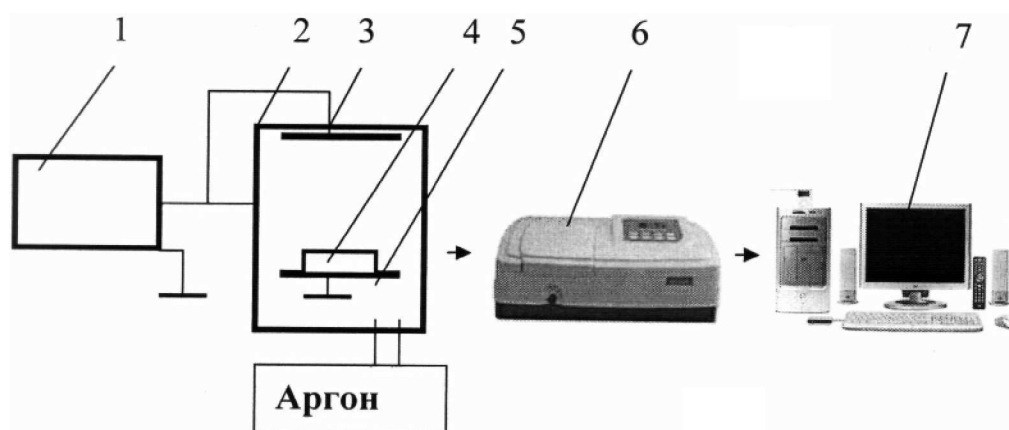


Рисунок 2 – Схема установки для генерации низкотемпературной аргоновой плазмы:
1 – магнетрон; 2 – разрядная камера; 3 – анод; 4 – продукт; 5 – катод; 6 – спектрофотометр;
7 – персональный компьютер

Используемая в проекте технология стерилизации пищевых продуктов холодной плазмой позволяет обрабатывать образцы продукции в течение 15–20 мин и расходом электроэнергии на работу магнетрона 9 кВт, по сравнению с автоклавной стерилизацией в течение 70 мин и расходом 22 кВт на обработку единицы продукции.

Как видно из рисунка 2 излучение разряда регистрируется СФ и подается через параллельный порт на ПЭВМ для обработки информации.

В лабораторных условиях стерилизация проводилась с помощью низкоэнергетичного (150–200 кэВ) сильноточного электронного пучка. На рисунке 3 приведена схема пучково-плазменного реактора.

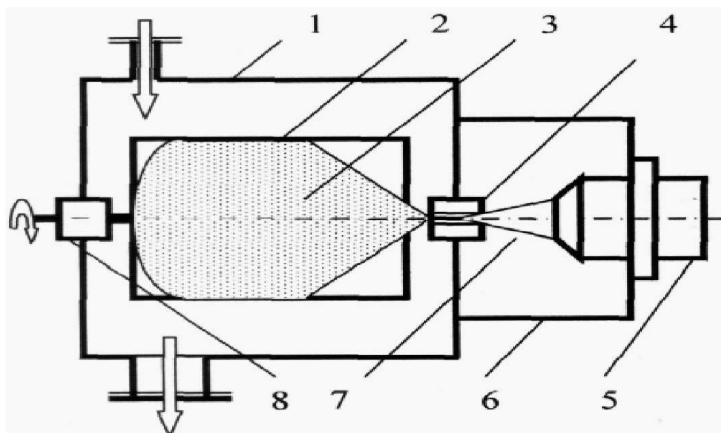


Рисунок 3 – Схема пучково-плазменного реактора:
1 – рабочая камера, 2 – вращающаяся реакционная камера, 3 – реакционный объем в виде аэрозоля,
4 – выводное устройство, 5 – электронная пушка, 6 – вакуумная камера, 7 – ЭП, 8 – электродвигатель

На рисунке 4 показан внешний вид аппарата для холодной плазменной стерилизации.

Технико-экономические показатели:

– Габаритные размеры, мм	600 × 500 × 350.
– Полезный объем стерилизационной камеры, дм	20.
– Потребляемая мощность в режиме, не более, Вт	90.
– Длительность процесса, не более, мин	15.
– Рабочая температура, не более, °С	55.
– Масса, не более, кг	40.

Стерилизатор работает от сети переменного тока номинальным напряжением (220 ± 22) В, частотой ($50 \pm 1, 60 \pm 1$) Гц.

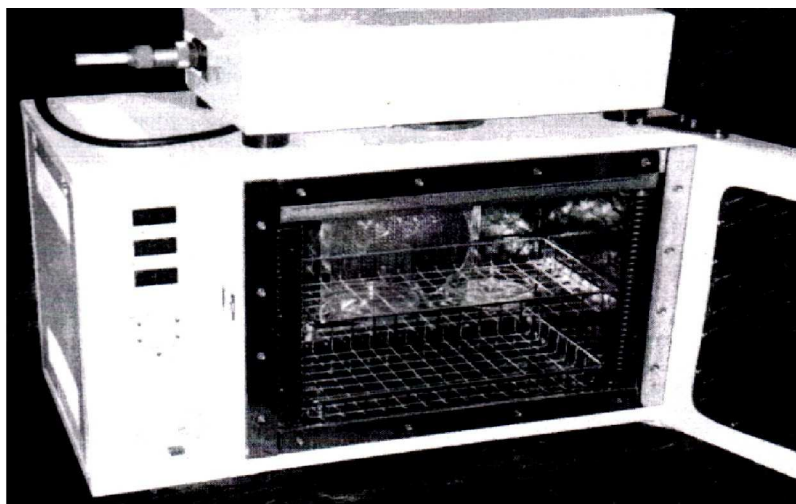


Рисунок 4 – Внешний вид аппарата для холодной плазменной стерилизации

В соответствии с рассчитанными нормами летальности были разработаны и обоснованы режимы стерилизации рыбопродуктивных консервов. Консервы стерилизовали в автоклаве и в плазменном стерилизаторе. Установлено, что в результате тепловой обработки продуктов в традиционном автоклаве уменьшается количество витаминов РР, В₁ и В₂ на 30 % и почти в 2 раза снижается содержание β-каротина и витамина С.

Проведены испытания лабораторной установки с помощью осциллографа LeCroy WaveAce 202 и тестеров цифрового Мастер М-890G+, аналогового Ц4313. Эксплуатация аппаратуры показала практически 100 %-ную достоверность воспроизведения формы сигнала, весьма высокую способность поддержания стабильного выходного напряжения, высокую стабильность генерируемых колебаний. Приведенные на рисунке 5 осциллограммы напряжения U и тока I сняты с помощью зонда, расположенного посередине между электродами низкотемпературного аргонового плазматрона.

Добавление аргона в водород ведет к увеличению электрического поля в положительном столбе, в то же время общее разрядное напряжение снижается. Это свидетельствует об уменьшении катодного и анодного падений потенциала в разряде водорода с аргоном.

Следует отметить, что зависимость катодного и анодного падений потенциала от давления газа для рабочих смесей Н₂ + Аг и Н₂ + Аг + СО₂ аналогична разряду в водороде, и величина $U_{ка}$ изменяется в интервале 400–700 В. Так как обычно анодное падение потенциала существенно меньше катодного в тлеющем разряде, то можно считать, что рассчитанное напряжение $U_{ка}$, в основном, связано с катодным падением потенциала.

Известно, что газовый разряд является дуговым, если катодное падение потенциала близко к энергии ионизации (> 20 В), т.е. наблюдаемый в наших экспериментах разряд по этому признаку является тлеющим разрядом. В классических тлеющих разрядах без поперечного магнитного поля катодное падение потенциала составляет

200–300 В и плотность тока $j \ll 1 \text{ A/cm}^2$. В разрядах повышенную плотность тока $j = 1 \text{ A/cm}^2$, по-видимому, обеспечивает вращение токового канала и более высокое значение катодного напряжения.

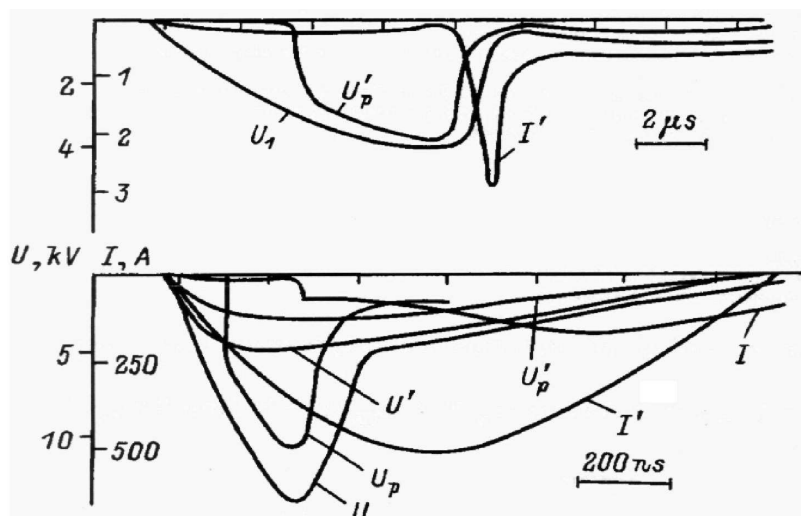


Рисунок 5 – Осциллограммы, иллюстрирующие разряд в аргоне

Апробация способа стерилизации продуктов холодной плазмой. Выполнена серия экспериментов по стерилизации рыбопродукта потоком низкотемпературной плазмы. Контрольным образцом служил тот же продукт, но стерилизованный в традиционном автоклаве. Обработку проводили в аппарате для холодной плазменной стерилизации. Установлено, что холодная плазма порождает сильные окислители и поэтому отлично подходит для стерилизации продуктов. Низкотемпературная плазма с высокой пространственной однородностью, создаваемая в плотных газах является активной средой и используется в пучково-плазменном реакторе.

Для изучения физико-химических, структурно-механических, органолептических показателей на биологическую ценность рыбы и мясорастительных продуктов, обрабатываемых холодной плазмой, выполнили ряд реологических тестов.

Реологические показатели рыбопродуктов «Бутербродная паста» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Реологические свойства стерилизованных консервов

Показатель	Структурно-механические характеристики модельных образцов консервов		
	Контрольный образец	В автоклаве	В плазме
Глубина пенетрации, $\text{м} \cdot 10^{-3}$	$3,58 \pm 0,27$	$3,75 \pm 0,20$	$4,27 \pm 0,20$
Предельное напряжение сдвига, кПа	$24,50 \pm 1,09$	$22,21 \pm 1,25$	$17,21 \pm 1,20$
Предельное напряжение среза, кПа	$84,92 \pm 0,26$	$77,11 \pm 0,30$	$71,62 \pm 0,20$
Работа резания, Дж/м^2	$468,03 \pm 2,13$	$406,26 \pm 2,14$	$378,73 \pm 2,16$

Судя по данным таблицы 2 можно сделать вывод, что глубина пенетрации образцов консервов, стерилизованных холодной плазмой, выше по сравнению с контрольным образцом. Это характеризует консистенцию опытных образцов как более мягкую.

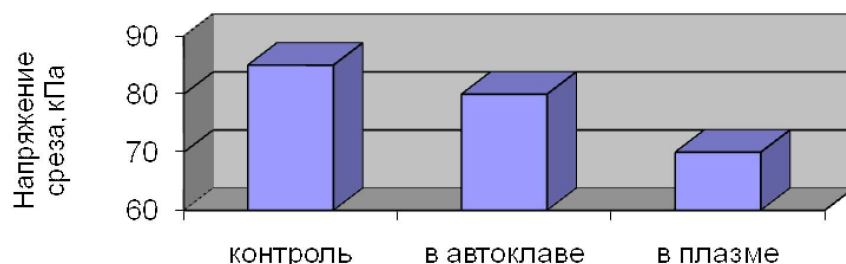


Рисунок 6 – Напряжение среза рыбораствительных консервов, стерилизованных в автоклаве и с помощью низкотемпературной плазмы

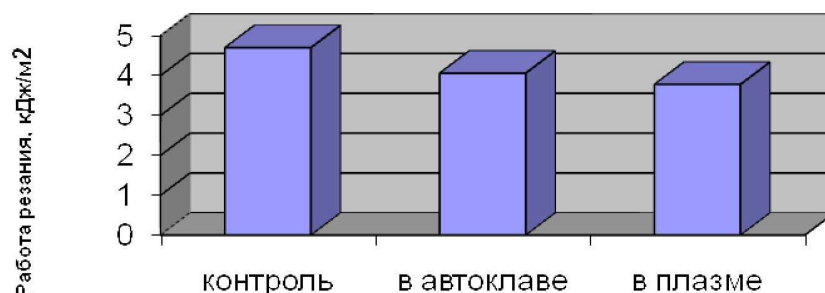


Рисунок 7 – Работа резания рыбораствительных консервов, стерилизованных в автоклаве и с помощью низкотемпературной плазмы

По величине предельного напряжения сдвига опытных образцов можно судить, что они ниже, чем контрольные образцы. Стерилизующий эффект холодной аргоновой плазмы изучался на суточных культурах микроорганизмов *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* с исходной концентрацией 5×10^4 КОЕ/мл в 50 мл физиологического раствора. На рисунке 2 представлена динамика инактивации микроорганизмов при обработке холодной аргоновой плазмой.

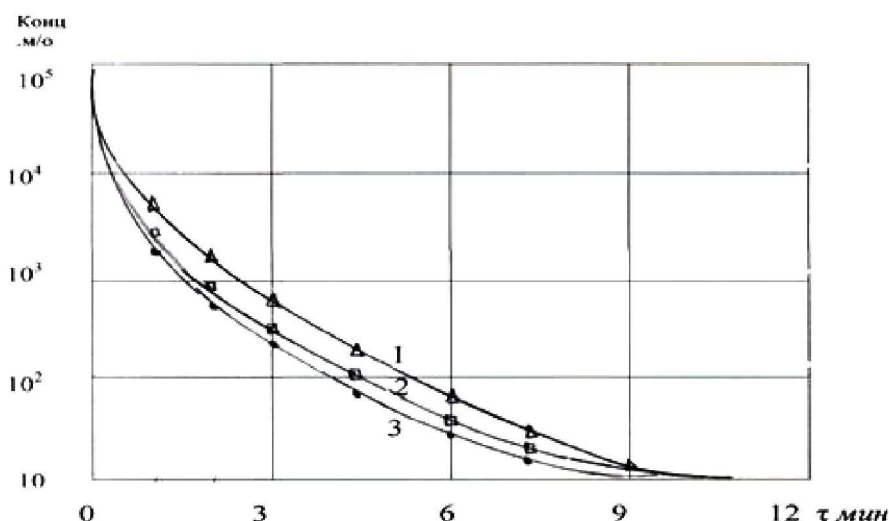


Рисунок 8 – Динамика инактивации микроорганизмов под воздействием холодной аргоновой плазмы: 1 – *Pseudomonas fluorescens*, 2 – *Staphylococcus aureus*, 3 – *Escherichia coli*

При увеличении продолжительности плазменной обработки до 10 мин происходит практически полное уничтожение вегетативных клеток и спор микроорганизмов.

На основе микробиологических исследований установлены режимы стерилизации комбинированных модельных смесей холодной аргоновой плазмой: $\tau = 10$ мин, $t = 37$ °С, $Ua = 3,5$ кВ, $Ja = 0,4$ А, $P = 26,6$ Па, $G = 0,04$ г/с, мощность УФ-облучения при длинах волн 309 и 316 нм составляла 90 мкВт/см², мощность ИК-облучения 40 мкВт/см².

Получены сведения о влиянии стерилизации комбинированных смесей холодной аргоновой плазмой и в автоклаве (швейцарской фирмы Phakma App Adate объемом 50 л) на содержание термолабильных веществ пищевого сырья (табл. 3).

Таблица 3 – Витаминный состав модельной смеси для рыборастворительных консервов «Бутербродная паста» после стерилизации

Способ стерилизации	Содержание витаминов, мг/100 г				
	Вит. С	Вит. В ₁	Вит. В ₆	Вит. РР	β-каротин
Автоклав	1,7	0,09	0,020	1,25	0,50
Холодная плазма	3,5	1,10	0,026	1,61	0,92

Данные таблицы 1 подтвердили преимущество нового способа стерилизации для сохранения витаминного состава модельных смесей.

Таким образом, выполненные исследования позволили рекомендовать способ холодной аргоновой плазменной стерилизации для обеспечения микробиологической безопасности комбинированных продуктов питания функционального назначения.

Литература:

1. Канарёв Ф.М. Начала физхимии микромира. Импульсная энергетика. – Том 2. – URL : i.120-bal.ru/fizika/19432/index.html
2. Касьянов Д.Г., Запорожский А.А. Применение холодной аргоновой плазмы для стерилизации мясных и рыбных консервов / сб. матер. междуна. научно практ. конф. «Технологии производства продукции из сырья животного и растительного происхождения». – Краснодар : КубГТУ, 2013. – С. 22–25.
3. Пискарев И.М. Применение генератора холодной плазмы для очистки ливневых стоков / И.М. Пискарев, Н.А. Аристова, П.П. Лихачев, В.А. Ушканов // Вода: Химия и Экология. – 2008. – 56 с.
4. Семенов А.П. Инактивация микроорганизмов в холодной аргоновой плазме атмосферного давления / А.П. Семенов, Б.Б. Богданов, Ц.В. Ранжуров и др. // Успехи прикладной физики. – Т. 2. – № 3. – С. 229–232.
5. Тихонов Е.А. Исследование влияния обработки посадочного материала картофеля водой обработанной холодной плазмой на интенсивность роста и урожайность // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 85. – 11 с.
6. Тихонов Е.А., Гостев К.В. Перспективы применения холодной плазмы промышленности в сфере живых систем // Наука и бизнес: Пути развития. – 2012. – № 3 – С. 75–78.
7. Фоменко О.Я. Разработка методов расчета и обобщения электрических и тепловых характеристик промышленных струйных плазмотронов : дис. ... канд. техни. наук. – Москва, 1996. – 134 с.
8. Ermolaeva S., Varfolomeev A., Chernukha M., Yurov D., Vasiliev M., Kaminskaya A., Moisenovich M., et al. Bactericidal effects of nonthermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds // J. Med. Microbiol. – 2010. – V. 9.
9. Fridman G., Peddinghaus M., Ayan H., Fridman A., Balasubramanian M., Gutsol A., Brooks A. Friedman G. Blood coagulation and living tissue sterilization by floatingelectrode dielectric barrier discharge in air // Plasma Chem. Plasma Process. – 2006. – V. 26. – P. 425–442.
10. Fridman G., Shekhter A.B., Vasilets V.N., Friedman G., Gutsol A., Fridman A. Applied plasma medicine // Plasma Process. – Polym, 2008. – V. 5. – P. 503–533.

References:

1. Kanaryov F.M. Beginnings of physical chemistry of a microcosm. Pulse power. – Volume 2. – URL : i.120-bal.ru/fizika/19432/index.html
2. Kasyanov D.G., Zaporizhia A.A. Use of cold argon plasma for sterilization of canned and canned fish / collection of materials of the international scientifically practical conference «Production technologies of production from raw materials of an animal and phytogenesis». – Krasnodar : KubG-TU, 2013. – P. 22–25.
3. Piskarev I.M. Use of the generator of cold plasma for cleaning of storm drains / I.M. Piskarev, N.A. Aristova, P.P. Likhachev, V.A. Ushkanov // Water: Chemistry and Ecology. – 2008. – 56 p.

4. Semenov A.P. An inactivation of microorganisms in cold argon plasma of atmospheric pressure / A.P. Semenov, B. B. Bogdanov, Ts. V. Ranzhurov, etc. // Achievements of applied physics. – T. 2. – No. 3. – P. 229–232.

5. Tikhonov E.A. A research of influence of processing of landing material of potatoes water the conditioned cold plasma on intensity of growth and productivity // the Politemati-chesky network online scientific magazine of the Kuban state agricultural university. – 2013. – No. 85. – 11 p.

6. Tikhonov E.A., Gostev K.V. The prospects of use of cold plasma of the industry in the sphere of live systems // Science and business: Ways of development. – 2012. – No. 3 – P. 75–78.

7. Fomenko O.Ya. Development of methods of calculation and synthesis of electric and thermal characteristics of industrial jet plasmatrons: yew.... edging. tekhn. sciences. – Moscow, 1996. – 134 p.

8. Ermolaeva S., Varfolomeev A., Chernukha M., Yurov D., Vasiliev M., Kaminskaya A., Moisenovich M., et al. Bactericidal effects of nonthermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds // J. Med. Microbiol. – 2010. – V. 9.

9. Fridman G., Peddinghaus M., Ayan H., Fridman A., Balasubramanian M., Gutsol A., Brooks A. Friedman G. Blood coagulation and living tissue sterilization by floatingelectrode dielectric barrier discharge in air // Plasma Chem. Plasma Process. – 2006. – V. 26. – P. 425–442.

10. Fridman G., Shekhter A.B., Vasilets V.N., Friedman G., Gutsol A., Fridman A. Applied plasma medicine // Plasma Process. – Polym, 2008. – V. 5. – P. 503–533.