

М 91

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМЕНИ М.В.ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант МУРАДОВ МИЯЗУЛЛАХ САЛМАНОВИЧ

ИЗЫСКАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ
РОТАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ В ПОТОКЕ ГОРЯЧЕГО
ВОЗДУХА

Специальность 05.18.13 – технология
консервирования пищевых продуктов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Перечет 19.87

Одесса - 1978

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В принятых XXV съездом КПСС "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-80 годы" указано на необходимость широкого внедрения в производство непрерывно действующих стерилизаторов.

Аппараты непрерывного действия, работающие под давлением (закрытого типа), где в качестве теплоносителя применяется водяной пар или горячая вода, получаются сложными по конструкции, дорогостоящими и неудобными в эксплуатации.

Стерилизаторы, работающие при атмосферном давлении и температуре выше 100°C , выгодно отличаются от аппаратов закрытого типа. Для них доступной и дешевой греющей средой является воздух, который можно нагреть при атмосферном давлении практически до любой температуры.

При разработке конструкций таких аппаратов необходимо учитывать, что развитие метода тепловой стерилизации идет по пути повышения температурного уровня процесса и снижения продолжительности теплового воздействия на продукт. Однако повышение температурного уровня процесса ограничено неравномерностью тепловой обработки продукта, которая устраняется в определенной степени вращением банки.

Настоящая работа и была посвящена исследованию непрерывной высокотемпературной ротационной стерилизации фруктовых и томатных консервов (компотов, соков) в таре 13 в потоке горячего воздуха с воздушно-водоиспарительным охлаждением.

Целью работы явилось изучение эффективности интенсификации тепловой стерилизации консервов в потоке горячего воздуха путем повышения температурного уровня и вращения банки, использования в аппаратах открытого типа воздушно-водоиспарительного способа охлаждения, изыскание оптимальных параметров процесса в новых условиях и исследование теплообмена при ротационной стерилизации.

Научная новизна. Впервые исследована динамика послойной прогреваемости консервов при различной частоте вращения; разработан новый способ определения оптимальной частоты вращения банки с продуктом; определены оптимальные параметры непрерывной высокотемпературной ротационной стерилизации консервов при атмосферном давлении в потоке воздуха с воздушно-водоиспарительным охлаждением, изучена эффективность использования воздушно-водоиспарительного способа охлаждения в аппаратах открытого типа; исследован процесс теплообмена и предложена методика расчета продолжительности прогрева различных консервов при ротационной стерилизации.

Практическая ценность работы состоит в изыскании оптимальных параметров непрерывного процесса высокотемпературной ротационной стерилизации фруктовых и томатных консервов (компотов и соков) в банках 13 в потоке воздуха и создании опытного производственного образца ротационного стерилизатора открытого типа.

Результаты диссертационной работы переданы для внедрения Дагестанскому производственно-аграрному объединению консервной промышленности, а принципиальная схема аппарата и исходные требования на проектирование - Махачкалинскому филиалу государственного проектного института "Роспищепромавтоматика".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены в период 1972-1977 гг. на Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам теории и практики стерилизации и пастеризации пищевых продуктов (г.Одесса), на I и V республиканских научных конференциях молодых ученых Дагестана, на научных конференциях Дагестанского государственного университета имени В.И.Ленина, Дагестанского политехнического института, а также на технических совещаниях специалистов Дагестанского производственно-аграрного объединения консервной промышленности и Буйнакского консервного завода.

Публикация результатов исследования. Содержание диссертации опубликовано в 9 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части (3 главы), выводов, списка использованной литературы и приложений. Диссертация изложена на 180 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков и 21 таблицу.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прогреваемость консервов изучали при стерилизации их в четырехсетчатом автоклаве в производственных условиях и на лабораторной установке. Она состояла из рабочей камеры, внутри которой устанавливалась исследуемая банка с продуктом, калорифера, вентиляторов, привода с двигателем постоянного тока, компрессора, форсунки, воздухопроводов и соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры. Частоту вращения банки варьировали, изменяя напряжение постоянного тока. Банка обдувалась потоками горячего воздуха (при нагреве) и увлажненного воздуха с различным содержанием мелкодисперсной влаги (при охлаждении).

Изыскание новых режимов стерилизации проводили в соответствии с Положением о разработке режимов стерилизации и пастеризации консервов.

Апробирование непрерывного процесса высокотемпературной ротационной стерилизации с воздушно-водоиспарительным охлаждением было осуществлено в полупроизводственном образце аппарата открытого типа, установленного на Буйнакском консервном заводе.

Разработку новых режимов проводили для компотов, соков с мякотью и сахаром, натуральных соков и томатного сока в банках 13.

Сравнительную оценку пищевой ценности консервов, стерилизованных в автоклаве и непрерывно действующем аппарате, проводили по таким показателям, как сухие вещества, общий и редуцирующие сахара, кислотность, рН, витамин С, каротин, ликопин, аминный азот, цветность, мутность сиропа и прочность мякоти плодов на прокол, которые определяли

по существующим методикам.

Процесс теплообмена между поверхностью банки, внутри которой был смонтирован электронагреватель, и воздушным потоком с мелкодисперсной влагой был изучен методом стационарного теплового режима.

Обработку опытных данных проводили на ЭВМ "БЭСМ-4М" методом наименьших квадратов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Послойная прогреваемость и эффективность вращения банки. Изучением прогреваемости консервов в различных точках банки при стерилизации в автоклаве по действующим режимам было установлено, что разность температур между периферийными и центральными слоями достигает для компотов $8-12^{\circ}\text{C}$, а для соков - $15-20^{\circ}\text{C}$.

Для оценки степени неравномерности тепловой обработки консервов при стерилизации их в автоклавах было предложено использовать такие критерии, как коэффициенты местной ($K_{м.н.}$) и общей ($K_{об.н.}$) неравномерности тепловой обработки. Коэффициент $K_{м.н.}$ характеризует соотношение между достигнутой летальностью в банках, находящихся в верхней и нижней сетках автоклава. Коэффициент $K_{об.н.}$ учитывает неравномерность тепловой обработки, обусловленную как местом расположения банки внутри автоклава, так и неподвижным состоянием ее. Для компотов при стерилизации в автоклаве $K_{м.н.}$ достигает 1,5.

Неравномерность тепловой обработки увеличивается с повышением температурного уровня процесса. Так, при прогреве компотов в потоке горячего воздуха при $150-170^{\circ}\text{C}$ разность температур между периферийными и центральными слоями достигает $20-25^{\circ}\text{C}$.

Вращение банки способствует равномерной тепловой обработке и позволяет использовать греющие среды с более высокой температурой.

При ротационной стерилизации компотов коэффициент интенсивности теплообмена ($K_{ц.т.}$) достигает 3, а критерий эффективности вращения (показатели, предложенные Б.Л. Флауменбаумом и Л.А. Терлецкой)

- 0,9 , что подтверждает целесообразность вращения.

Изучением прогреваемости консервов в потоке воздуха с температурой 135, 150, 160, 170 и 180°C было установлено, что изменение темпа нагрева при 170°C наибольшее. Поэтому для дальнейших исследований в качестве оптимальной температуры воздушного потока была выбрана 170°C.

Оптимальная частота вращения банки и способ ее определения.

С целью обеспечения более точного определения оптимальной частоты вращения банки вокруг продольной оси предложено одновременно измерять температуру продукта как в центре банки (наименее прогреваемой точке), так и в периферийном слое (авт.свид. № 535073, 1976).

При оптимальной частоте вращения разность температур слоев должна быть минимальная при данных условиях.

При вращении банки происходит перенос продукта вращающейся стенкой - увеличивается уровень продукта по вертикальной оси. Перемешивающий фактор Н (см.рис. I) при оптимальной частоте вращения способствует появлению течений продукта, направленных от стенки банки к ее центру. Эти течения способствуют интенсификации процесса теплообмена между банкой и продуктом и равномерной тепловой обработке.

С увеличением частоты вращения банки высота уровня продукта по вертикальной оси постепенно увеличивается, достигая максимальной величины при оптимальной частоте. Этот вывод подтвердился нашими исследованиями по установлению уровня жидкости при различной частоте вращения банки с помощью последовательного фотографирования и изучения прогреваемости консервов в различных точках банки.

Такой способ определения оптимальной частоты вращения банки можно использовать для продуктов гомогенной консистенции, а для гетерогенных продуктов, какими являются компоты, нужно еще учитывать технологические требования к плодам готовой продукции по ГОСТу.

Разработанные и рекомендуемые величины оптимальной частоты вращения банки IЗ вокруг продольной оси для различных консервов приведены в таблице I.

Таблица I

Оптимальная частота вращения банки IЗ
для различных консервов

№: пп:	К о н с е р в ы	: Оптимальный диапазон : частоты вращения, c^{-1}
1.	Компоты из черешни и персиков	0,5 - 1,0
2.	Компоты из абрикосов и слив	0,166 - 0,25
3.	Соки с мякотью и сахаром и томатный сок	1,166 - 2,0
4.	Натуральные соки	0,5 - 1,0

Изучением послойной прогреваемости консервов при вращении банки как вокруг продольной оси, так и с доньшка на крышку при различной частоте было установлено: при частоте вращения банки $n = 0,1 - 1,0 c^{-1}$ натуральные соки и компоты из персиков, абрикосов, черешни и слив прогреваются практически одинаково; для соков с мякотью при частоте $n < 1,0 c^{-1}$ лучше вращать банку с доньшка на крышку, а при $n \geq 1,0 c^{-1}$ тип вращения не играет существенной роли.

Воздушно-водоиспарительное охлаждение консервов. Для аппаратов непрерывного действия открытого типа необходимо выбирать более простой и экономичный способ охлаждения.

С этой целью были исследованы различные способы: воздушный, воздушно-водоиспарительный и душевание водой.

Анализ кривых охлаждения "Сока томатного" от температуры $100^{\circ}C$ до $48,5^{\circ}C$ в неподвижном состоянии банки показал, что при

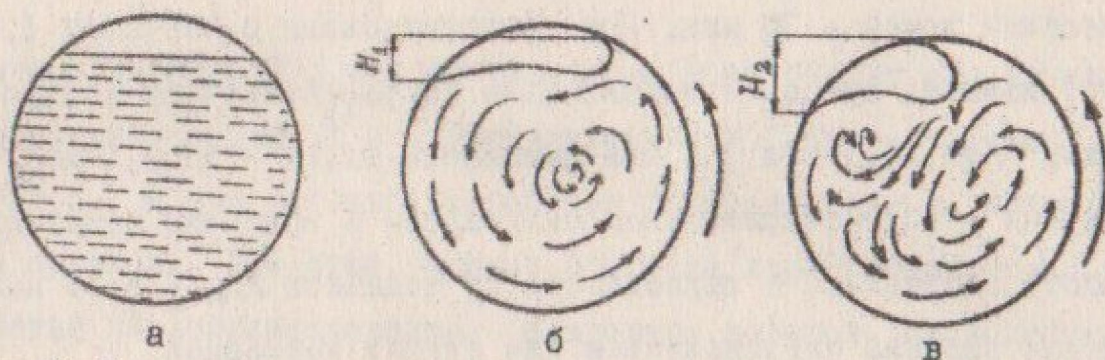


Рис.1. Появление течений жидкости при вращении банки:

H - перемешивающий фактор;

а - неподвижное состояние;

б - частота вращения меньше оптимальной ($H < H_{\text{макс}}$);

в - оптимальная частота вращения ($H = H_{\text{макс}}$).

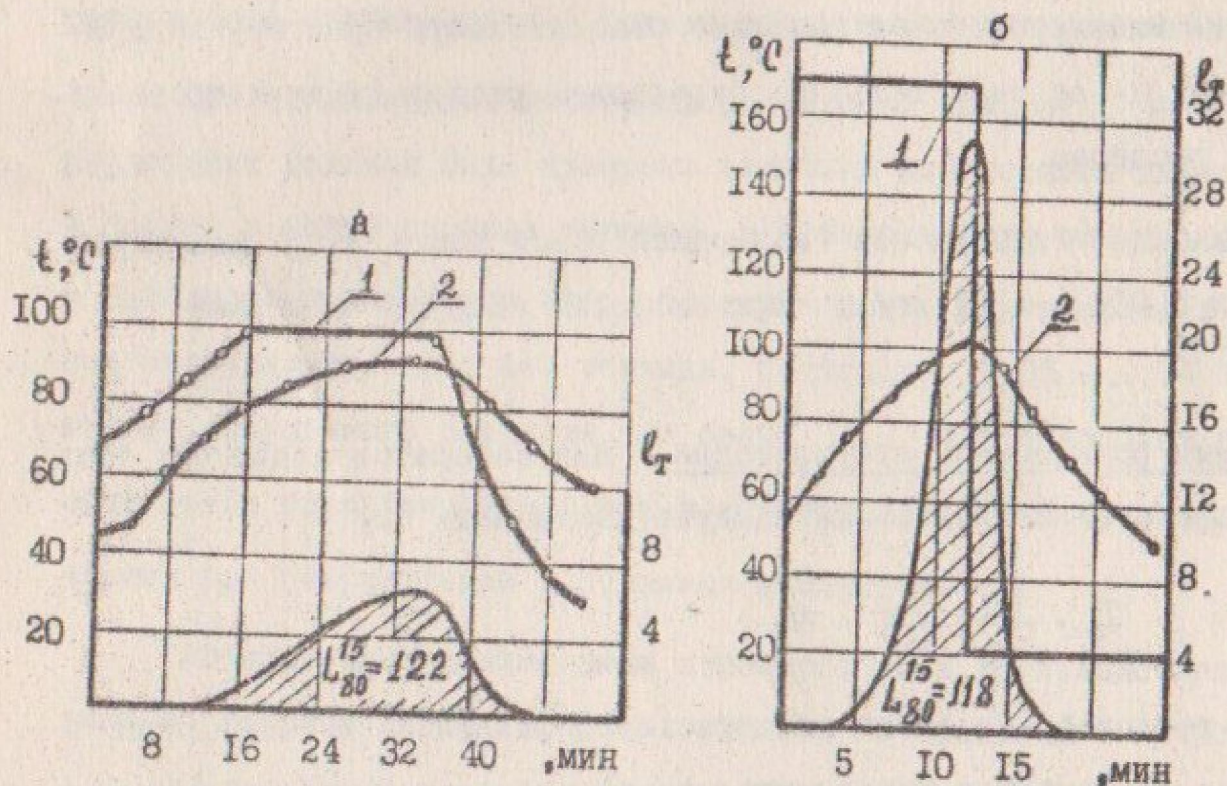


Рис.2. Кривые прогреваемости и фактической летальности "Компота из персиков" при стерилизации по режимам:

а - в автоклаве

$$\frac{15 - 20 - 15}{100};$$

б - в аппарате непрерывного действия

$$54 \cdot \frac{12}{170} \cdot \frac{12}{20} \cdot 0,5 ;$$

1 - температурный режим в автоклаве и аппарате;

2 - кривая прогрева центра банки.

воздушном охлаждении продолжительность составляет 62,5 мин, а при душевании водой - 20 мин. При вращении банки с частотой $1,83 \text{ с}^{-1}$ продолжительность процесса значительно сокращается: при воздушном охлаждении - до 16,3 мин, а при душевании водой - до 2,1 мин. При воздушно - водоиспарительном охлаждении и вращении банки продолжительность составляла в зависимости от величины X_w 6 - 15 мин. Аналогичная картина наблюдалась и для других консервов.

Хотя продолжительность процесса при душевании водой значительно меньше, чем при других способах охлаждения, использование воды в аппаратах экономически нецелесообразно из-за значительного расхода ее и затруднения контроля герметичности банок после стерилизации.

Поэтому более приемлемым способом считаем воздушно-водоиспарительное охлаждение, которое сочетает относительную простоту воздушного охлаждения со значительным сокращением расхода воды и продолжительности процесса.

Оптимальное содержание мелкодисперсной влаги X_w находится в пределах 0,008 - 0,01 кг/кг при скорости воздушного потока 4 - 6 м/с.

Режимы ротационной стерилизации. Для аппаратов открытого типа режим ротационной стерилизации следует обозначать так:

$$T_0 \cdot \frac{t_1}{T_1} \cdot \frac{t_2}{T_2} \cdot n$$

При тепловой обработке консервов по предложенной технологии значительно сокращаются продолжительность процесса и расход воды. Так, например, для "Компота из персиков" (рис. 2) время тепловой обработки сокращается относительно автоклавного режима более, чем на 50%, а для соков с мякотью еще более значительно - на 70%.

На рис. 3 приведены кривые прогреваемости и фактической летальности "Сока томатного" в различных точках банки при стерилизации в автоклаве и в экспериментальной установке.

Как видно из рис. 3, при стерилизации в автоклаве при неподвижном состоянии банки $K_{к.н.}$ (предложенный Б.Л.Флауменбаумом) достигает 15,6, а при тепловой обработке по предлагаемой технологии около единицы. При этом кривые прогрева характеризуются большей скоростью теплопроникновения, благодаря которой продолжительность процесса сокращается более, чем на 70%. Интенсивный прогрев консервов в новых условиях объясняется, во-первых, повышением температурного уровня процесса, во-вторых, вращением банки с оптимальной частотой.

Установленные и рекомендуемые высокотемпературные режимы ротационной стерилизации в потоке воздуха приведены в таблице 2.

При стерилизации консервов в открытых аппаратах по высокотемпературным режимам были измерены величины избыточного давления в банках в конце периода нагрева. В зависимости от вида консервов и начальной температуры избыточное давление, возникающее в банке при стерилизации по новым режимам, составляло 0,06 - 0,14 МПа, что меньше допустимого значения для банок 13. Это позволяет обеспечить сохранение герметичности банок и отсутствие остаточной деформации крышек при стерилизации в открытых аппаратах.

Предложенные режимы были апробированы в производственных условиях на опытном аппарате, установленном на Буйнакском консервном заводе. Было заготовлено более 1000 банок консервов по каждому режиму.

При разбраковке после хранения в течение 3-х месяцев и 2-х лет опытной партии не было обнаружено брака.

Характеристика качества консервов, стерилизованных по разработанным режимам, представлена в таблицах 3 - 4.

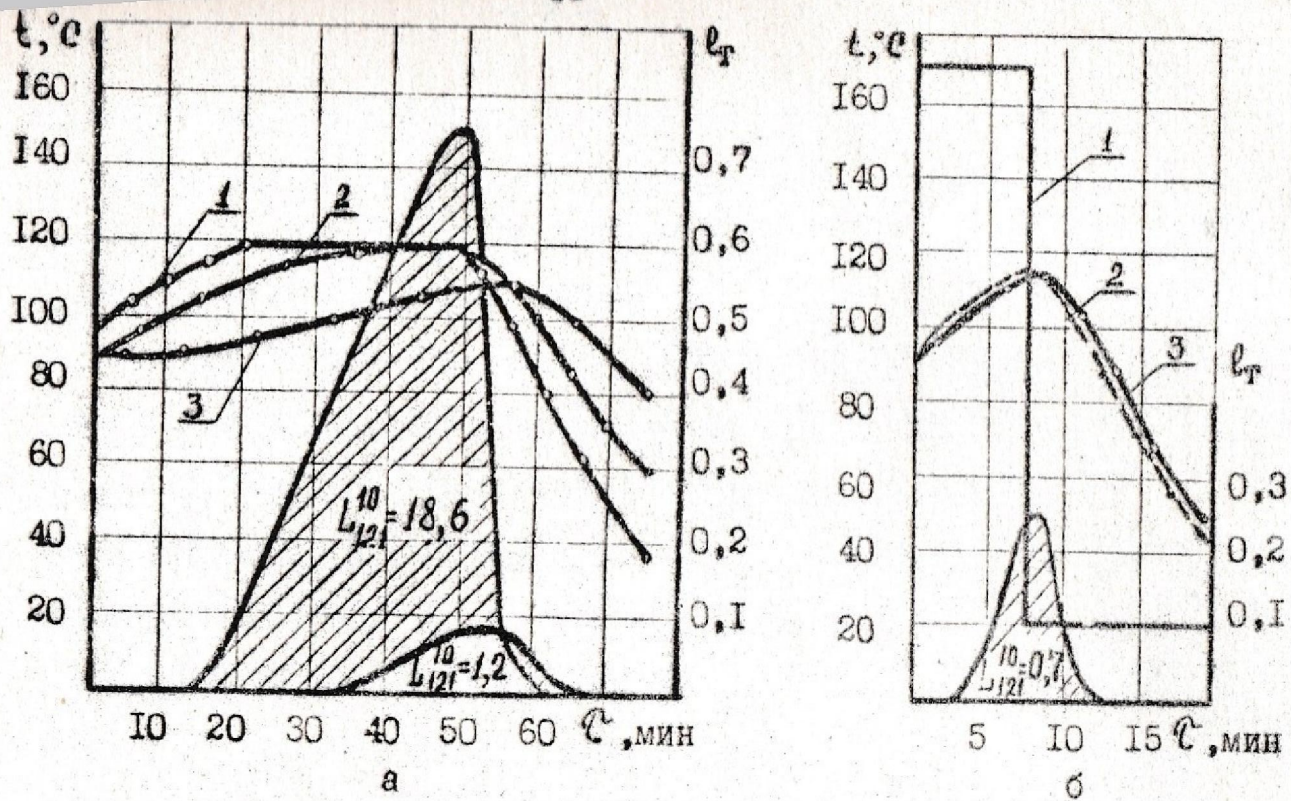


Рис.3. Кривые прогреваемости и фактической летальности "Сока томатного" при стерилизации по режимам:

а - в автоклаве

б - в лабораторной установке

$$90 - \frac{20}{120} - \frac{30}{120} - \frac{25}{120};$$

$$90 - \frac{8}{170} - \frac{12}{20} - \frac{1,83}{20}$$

1 - температурный режим в аппарате;

2 - кривая прогрева периферийного слоя;

3 - кривая прогрева центра банки.

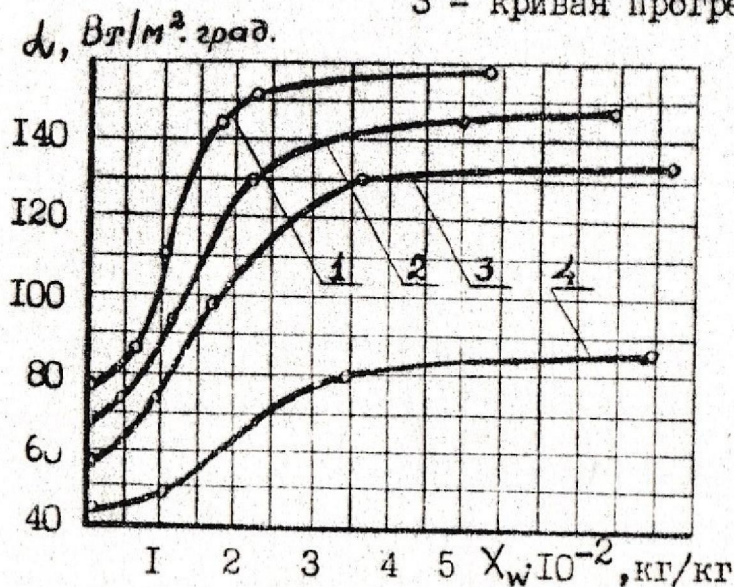


Рис.4. Зависимость $\alpha = f(X_w)$

при скоростях воздушного потока:

1 - 4,6 м/с; 2 - 3,3 м/с;

3 - 2,5 м/с; 4 - 1,6 м/с.

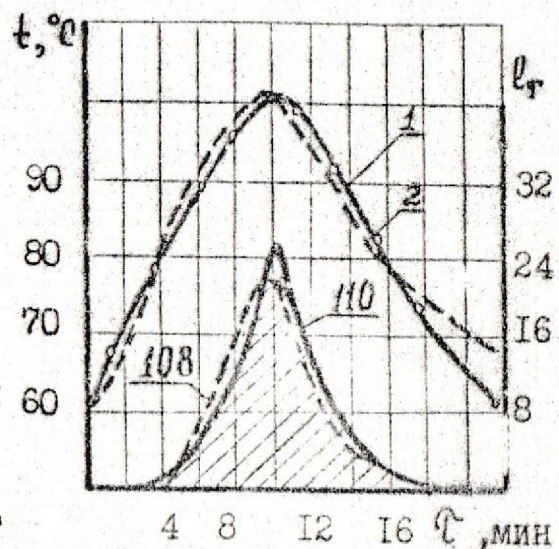


Рис.5. Кривые прогреваемости

и фактической летальности

"Сока сливового с мякотью и сахаром" при стерилизации по режиму

$$60 - \frac{9,5}{170} - \frac{14}{20} - \frac{1,83}{20}$$

1 - опытная; 2 - расчетная.

Таблица 2

Высокотемпературные режимы ротационной стерилизации консервов

Консервы	Высокотемпературный режим ротационной стерилизации			Фактическая летальность, усл. мин.	
Компоты:					
Абрикосы и сливы	50-55	$\frac{13,5-11}{170}$	$\frac{10-12}{18-20} \cdot 0,16$	L_{80}^{15}	III,0
Черешня, персики и яблоки	50-55	$\frac{13-10,5}{170}$	$\frac{10-12}{18-20} \cdot 0,5$	L_{80}^{15}	IIВ,0
Соки с мякотью и сахаром:					
Абрикосовый	60	$\frac{10}{170}$	$\frac{12-14}{18-20} \cdot 1,83$	L_{90}^{10}	72,5
Яблочный и сливовый	60	$\frac{9,5}{170}$	$\frac{13-15}{18-20} \cdot 1,83$	L_{80}^{15}	IIО,0
Яблочный и виноград- ный натуральные соки	60	$\frac{6}{170}$	$\frac{8-10}{18-20} \cdot 1,0$	L_{80}^{15}	38,0
Сок томатный	70	$\frac{12}{170}$	$\frac{12-13}{18-20} \cdot 1,83$	L_{121}^{10}	0,7
	80	$\frac{10}{170}$	$\frac{12-13}{18-20} \cdot 1,83$		
	90	$\frac{8}{170}$	$\frac{12-13}{18-20} \cdot 1,83$		

При дегустации после 3-х месяцев хранения на складе консервы, стерилизованные по новым режимам, получили высокую оценку.

Физико-химические показатели "Сока томатного"

Показатели качества	Перед		После хранения	
	стерили-	зацией	автоклав:	аппарат
Сухие вещества, %	6,1		6,1	6,1
Общий сахар, %	3,43		3,2	3,35
Редуцирующие сахара, %	3,4		3,2	3,34
Титруемая кислотность (в пересчете на яблочную), %	0,52		0,57	0,54
pH	4,3		4,3	4,3
Витамин С, мг/100 г	17,6		14,9	16,4
Каротин, мг/100 г	0,47		0,32	0,4
Ликопин, мг/100 г	6,1		5,8	5,9
Аминный азот, мг/100 г	116,3		131	125
Цветность, мг иода на 1 мл раствора	0,061		0,069	0,063
Сахаро-кислотный индекс	6,6		5,7	6,2

Таблица 4

Показатели качества компотов после двухгодичного хранения

Показатели	Компоты			
	черешня		абрикосы	
	автоклав	аппарат	автоклав	аппарат
Сухие вещества, %	21,5	21,6	23,2	23,1
Масса плодов, %	56	55,4	50,6	50,7
Витамин С, мг на 100 г вещества	2,8	3,2	3,1	3,5
Мутность сиропа, ед.оптической плотности	1,26	1,2	1,18	1,15
Цвет плодов, ед.оптической плотности	0,152	0,152	0,3	0,3
Прочность мякоти плодов, г/мм ²	8,2	9,6	1,12	1,8

Из анализа табличных данных видно, что по всем основным физико-химическим показателям консервы, стерилизованные по разработанным режимам, превосходят стерилизованные в автоклаве. Это объясняется тем, что при ротационной стерилизации достигается более равномерная послойная прогреваемость и сокращается продолжительность тепловой обработки более чем на 50%.

Расчет продолжительности прогрева. При ротационной стерилизации продолжительность прогрева консервов, определяемая числом Фурье (F_0), зависит от коэффициента теплоотдачи от внутренней поверхности стенки банки к продукту (Nu), отношения внутреннего термического сопротивления ($\frac{R}{\lambda}$) к внешнему ($\frac{1}{\alpha}$), размеров банки (L) и относительной температуры (E).

$$F_0 = f(Nu, Bi, E, L) \quad (I)$$

Проведенными исследованиями по изучению процессов теплообмена было установлено, что при ротационной стерилизации значительно возрастает средний коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки банки к продукту (для "Сока сливового с мякотью и сахаром" при оптимальной частоте вращения коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки банки к продукту увеличивается более чем в 10 раз).

Получено уравнение для расчета α от внутренней поверхности стенки банки к сокам с мякотью

$$Nu = 3,85 Re^{0,24} \left(Re \cdot \frac{\rho_r}{\rho_{r_{cm}}} \cdot L \right)^{0,4} \quad (2)$$

Зависимость (2) справедлива при $3500 \leq Re \leq 9200$

Погрешность расчета составляет $\pm 6\%$.

На рис. 4 показаны кривые зависимости коэффициента теплоотдачи от количества мелкодисперсной влаги при различных скоростях воздушного потока. Как видно из рис. 4, с увеличением количества мелкодисперсной влаги в 1 кг сухого воздуха и скорости потока коэффициент теплоотдачи от поверхности стенки банки возрастает: при $X_w = 0,025 - 0,035$ кг/кг коэффициент теплоотдачи возрастает резко, а при $X_w = 0,035 - 0,08$ кг/кг увеличение его незначительно. Поэтому можно сказать, что оптимальное содержание мелкодисперсной влаги в 1 кг сухого воздуха при охлаждении банок лежит в пределах $X_w = 0,025 - 0,035$ кг/кг.

Для расчета коэффициента теплоотдачи от поверхности банки к охлаждающей среде при воздушном и воздушно-водоиспарительном способах охлаждения получены уравнения

$$Nu = 1,028 Re^{0,55} \quad (3)$$

$$Nu = 0,139 \cdot 10^2 Re^{0,55} X_w^{0,5} \quad (4)$$

Выражения (3) и (4) справедливы при

$$10^4 \leq Re \leq 3,3 \cdot 10^4 \quad \text{и} \quad 10^{-2} \leq X_w \leq 3 \cdot 10^{-2}$$

Формула (4) является приближенным описанием этого процесса, так как коэффициент теплоотдачи зависит не только от величины Re и X_w , но и от размеров капель влаги, равномерности их распределения в воздушном потоке и от температуры стенки.

Обработкой опытных данных по прогреваемости соков с мякотью и коэффициентов теплоотдачи на ЭВМ "БЭСМ-4М" получено уравнение для расчета продолжительности процесса

$$E = 2,3 Nu^{-0,23} Bi^{-0,48} P_0^{-0,25} \quad (5)$$

На рис. 5 приведены опытные и расчетные кривые прогреваемости и фактической летальности "Сока сливового с мякотью и сахаром" при ротационной стерилизации по высокотемпературному режиму

$$60 \cdot \frac{9,5}{170} \cdot \frac{14}{20} \cdot 1,83$$

Как видно из рисунка 5, фактическая летальность отличается от расчетной всего на 2 усл.мин. Это говорит о том, что уравнение (5) можно рекомендовать для расчета продолжительности прогревания соков с мякотью в банке 13 при ротационной стерилизации в потоке воздуха.

Однако использование уравнения (5) для расчета продолжительности консервов гетерогенной консистенции, какими являются компоты, дает определенные погрешности, связанные с различием теплофизических параметров (c, ρ, λ, μ) плодов и сиропа. Поэтому была исследована функция вида

$$T = f(E, n) \quad (6)$$

Обработкой опытных данных по прогреваемости компотов на ЭВМ "БЭСМ-4М" получено уравнение

$$T = 4,15 n^2 + 55,7 E + 7,5 n^2 E^2 + 3,43 n \cdot E^2 - 10,4 n^2 E - 60,27 E^2 - 5,84 n \cdot E + 0,14 \quad (7)$$

Формула справедлива при

$$0,1 \leq n \leq 1,0$$

и

$$0,6 \leq E \leq 0,9$$

В работе приведен расчет экономической эффективности внедрения аппарата непрерывного действия открытого типа с воздушным теплоносителем производительностью 1,08 л/с (65 л/мин). Расчеты показали, что ожидаемый экономический эффект составит 23853 руб.

в год.

И. В. 12138

ВЫВОДЫ

1. Исследование непрерывной высокотемпературной ротационной стерилизации фруктовых консервов (компотов, соков) и "Сока томатного" в банках IЗ в потоке воздуха при 170°C с воздушно-водоиспарительным охлаждением показали, что тепловой процесс в этих условиях протекает значительно интенсивнее, чем в автоклавах.

Продолжительность режимов стерилизации сокращается на 50-70%; при этом достигается равномерная прогреваемость консервов в различных точках банки, обеспечивается требуемая летальность, повышается качество консервов и значительно сокращается расход воды.

2. Экспериментально получены данные, характеризующие целесообразность вращения банок IЗ с фруктовыми консервами. Установлено, что при стерилизации по режимам действующей технологической инструкции в автоклавах разность температур между периферийным и центральным слоями достигает $8-12^{\circ}\text{C}$ для компотов и $15-20^{\circ}\text{C}$ для соков с мякотью. Для характеристики неравномерности тепловой обработки консервов при стерилизации их в неподвижном состоянии банки в автоклавах предложено использовать новые критерии: коэффициент местной ($K_{м.н.}$) и общей ($K_{об.н.}$) неравномерности тепловой обработки. Коэффициент $K_{м.н.}$ характеризует степень неравномерности тепловой обработки консервов в банках, расположенных в различных местах внутри автоклава, а коэффициент $K_{об.н.}$ учитывает неравномерность тепловой обработки, обусловленную как неподвижным состоянием банки, так и местом расположения ее внутри автоклава.

Коэффициент местной неравномерности тепловой обработки компотов в автоклавах достигает 1,5.

Вращение банки способствует равномерной тепловой обработке и интенсифицирует процесс теплообмена. Для "Компота из персиков" коэффициент интенсивности теплообмена достигает 3, а критерий эффективности вращения - 0,9.

V013138

Одесский государственный университет
институт химической технологии
департамент химической технологии

3. Исследование прогреваемости консервов в различных точках банки показало, что для компотов и натуральных соков существенной разницы как в послойной прогреваемости, так и в продолжительности достижения заданной конечной температуры при различных видах вращения банки не имеется, а для соков с мякотью при частоте $n < 1,0 \text{ с}^{-1}$ лучше вращать банку с доньшка на крышку, а при $n \geq 1,0 \text{ с}^{-1}$ вид вращения не играет существенной роли.

4. Разработан и предложен новый способ определения оптимальной частоты вращения банки при ротационной стерилизации консервов, который заключается в измерении температуры одновременно как центрального (наименее прогреваемой точки), так и периферийного (наиболее прогреваемой точки) слоев продукта. Оптимальную частоту вращения определяют по разности температур этих слоев.

При оптимальной частоте вращения разность температур слоев должна быть минимальной (авт.свид. № 535073, 1976 г.).

Исследования прогреваемости консервов и качественных показателей, проведенные как в лабораторных, так и в производственных условиях, показали, что при проектировании аппарата непрерывного действия можно считать, что оптимальная частота вращения компотов из абрикосов и слив находится в пределах $0,16 - 0,25 \text{ с}^{-1}$, а компотов из черешни, персиков и натуральных соков - в диапазоне $0,5 - 1,0 \text{ с}^{-1}$. Соки с мякотью рекомендуются стерилизовать при частоте вращения $1,16 - 2,0 \text{ с}^{-1}$.

5. Предложена новая "формула" ротационной стерилизации консервов в банках

$$T_0 \cdot \frac{t_1}{T_1} \cdot \frac{t_2}{T_2} \cdot n$$

Разработаны научно обоснованные режимы высокотемпературной стерилизации консервов, позволяющие сократить продолжительность процесса на 50 - 70%, снизить расход воды в 15-20 раз и повысить качество консервов.

Экспериментально установлены максимальные величины избыточного давления, возникающего в банках при стерилизации по разработанным режимам. Они находятся в пределах допустимых значений для банки I3, что позволяет практически осуществить процесс в аппаратах открытого типа.

6. При вращении банки значительно интенсифицируется процесс внутреннего теплообмена: средний коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности стенки к продукту увеличивается с увеличением частоты вращения и достигает максимальной величины при оптимальной частоте. Получено критериальное уравнение для расчета среднего коэффициента теплоотдачи для различных соков с мякотью.

$$Nu = 3,85 Re^{0,24} \left(Pr \cdot \frac{Pr}{Pr_{cm}} \cdot L \right)^{0,4}$$

7. При использовании воздушно-водоиспарительного способа значительно интенсифицируется процесс воздушного охлаждения и сокращается расход воды в 15-20 раз.

Получены эмпирические зависимости в критериальной форме для расчета среднего коэффициента теплоотдачи от поверхности стенки банки к потоку как при воздушном, так и воздушно-водоиспарительном способах охлаждения:

$$Nu = 1,028 Re^{0,55}$$

$$Nu = 0,139 \cdot 10^2 Re^{0,55} X_w^{0,5}$$

8. Для расчета продолжительности прогревания различных консервов в банках I3 до заданной конечной температуры в зависимости от частоты вращения банки, теплофизических характеристик, относительной температуры получены уравнения:

$$\begin{aligned} \text{для компотов } \tau = & 4,15 n^2 + 55,7E + 7,5 n^2 E^2 + 3,43 n E^2 - \\ & - 10,4 n^2 E - 60,27 E^2 - 5,84 n \cdot E + 0,14 \end{aligned}$$

для соков с мякотью

$$E = 2,3 Nu^{-0,23} Bi^{-0,48} P_0^{-0,25}$$

9. Разработанные оптимальные режимы высокотемпературной ротационной стерилизации испытаны в производственных условиях при стерилизации различных консервов путем выработки по каждому режиму не менее 1000 банок консервов. Производственные испытания подтвердили надежность и достоверность лабораторных исследований, перспективность способа ротационной стерилизации, обеспечивающего получение готовой продукции более высокого качества и значительно сокращающего продолжительность процесса.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения аппарата открытого типа с воздушной греющей средой составляет 23853 руб. в год.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Аминов М.С., Мурадов М.С. Производственные испытания аппарата непрерывного действия для стерилизации консервов в жестяной таре. Сдесса, Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам теории и практики стерилизации и пастеризации пищевых продуктов, 1975.

2. Аминов М.С., Мурадов М.С. К вопросу определения оптимальной скорости вращения консервных банок при стерилизации. Одесса, Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам теории и практики стерилизации и пастеризации пищевых продуктов, 1975.

3. Аминов М.С., Мурадов М.С., Ахмедов М.Э. Эффективность высокотемпературной ротационной стерилизации "Компота из персиков" с воздушно-водоиспарительным охлаждением. - "Консервная и овощесушильная промышленность", 1975, № 12.

4. Аминов М.С., Мурадов М.С. Исследование высокотемпературной стерилизации консервов в банках 13 - "Консервная и овощесушильная промышленность", 1976, № 2.

5. Аминов М.С., Мурадов М.С., Ахмедов М.Э. Способ определения оптимальной скорости вращения консервных банок в процессе ротационной стерилизации пищевых продуктов. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 535073, Бюллетень № 42, 1976.

6. Аминов М.С., Мурадов М.С. Изучение режимов ротационной стерилизации соков с мякотью. - "Консервная и овощесушильная промышленность", 1977, № 1.

7. Мурадов М.С. Расчет продолжительности прогревания компотов в банке 13 в потоке нагретого воздуха при ротационной стерилизации. Тезисы докладов научно-практической конференции молодых ученых Дагестана на тему: "Молодежь и общественный прогресс", Махачкала, 1977.

8. Мурадов М.С. К вопросу расчета времени прогревания консервов в цилиндрической таре при ротационной стерилизации. Тезисы докладов научно-практической конференции молодых ученых Дагестана на тему: "Молодежь и общественный прогресс", Махачкала, 1977.

9. Мурадов М.С. Воздушно-водоиспарительное охлаждение консервов - "НТРС, Консервная, овощесушильная и пищевая промышленность", ЦНИИТЭИПищепром, 1977, № 9.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- T_0 - начальная температура продукта, $^{\circ}\text{C}$
 T_1 - температура греющей среды, $^{\circ}\text{C}$
 T_2 - температура охлаждающей среды, $^{\circ}\text{C}$
 τ_1 - продолжительность периода нагрева, мин.
 τ_2 - продолжительность периода с лаждения, мин.
 n - частота вращения банки, с^{-1}
 $E = \frac{T_1 - T_k}{T_1 - T_0}$ - относительная температура
 T_k - конечная температура продукта, $^{\circ}\text{C}$
 Fo - число Фурье
 Li - критерий формы тела
 $i'_{\text{ч}}$ - число Нуссельта
 α - коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$
 λ - коэффициент теплопроводности продукта, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$
 μ - вязкость продукта, $\text{н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$
 ρ - плотность продукта, $\text{кг}/\text{м}^3$
 C - удельная теплоемкость, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{град}$
 Pr - число Прандтля
 Bi - число Био
 Re - число Рейнольдса
 X_w - количество мелкодисперсной влаги в 1 кг сухого воздуха, $\text{кг}/\text{кг}$

м. в. в.