

Автор едр

Ч-49

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

---

На правах рукописи

Аспирант ЧЕРНИКОВА ВЕРА ВАЛЕНТИНОВНА

ИЗЫСКАНИЕ УСЛОВИЙ НЕПРЕРЫВНОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ  
В СТЕКЛЯННОЙ ТАРЕ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ В ЖИДКИХ ВЫСОКО-  
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯХ

Специальность 05.18.13 - технология консервированных  
пищевых продуктов

Перечислет 1987

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

О д е с с а - 1980

СН



v013497

Работа выполнена на кафедре технологии консервирования Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова.

Научный руководитель – доктор технических наук,  
профессор Б. Л. Флауменбаум.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор М. С. Аминов;  
кандидат технических наук, доцент Е. И. Соловьева.

Ведущее предприятие – Бендерское производственное объединение  
консервной промышленности.

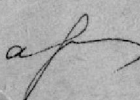
Защита состоится "2" июля 1980 г. в 10<sup>00</sup> час.  
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при  
Одесском технологическом институте пищевой промышленности  
им. М. В. Ломоносова, 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

...ией можно ознакомиться в библиотеке Одесского  
...го института пищевой промышленности им. М. В. Ло-

"15" июля 1980 г.

12

СТА

  
А. Ф. ЗАГИБАЛОВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. "Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1975–1980 годы" предусмотрено увеличение производства продукции пищевых отраслей промышленности на 23–25% путем широкого внедрения прогрессивной техники и технологии, обеспечивавших повышение производительности труда и качества продукции. Решение этих задач в консервной промышленности невозможно без перестройки стерилизационных отделений. В материалах XXV съезда КПСС отмечена необходимость увеличить производство и внедрение в больших масштабах непрерывно действующих стерилизаторов.

В настоящее время стерилизация консервов в стеклянной таре осуществляется в аппаратах периодического действия – автоклавах.

За рубежом для стерилизации консервов в стеклянной таре разработаны пневмогидростатические стерилизаторы непрерывного действия, наиболее удачным представителем которых является "Хунистер", выпускаемый венгерской фирмой "Комплекс". Из-за необходимости вести процесс под давлением эти аппараты представляют собой довольно сложное, громоздкое и дорогостоящее сооружение.

В последнее время ведутся работы по созданию непрерывно действующих стерилизаторов нового типа, в которых в качестве теплоносителя используются высококипящие жидкости (глицерин, солевые растворы, минеральные масла). Этот новый принцип дает возможность конструировать аппараты "открытого типа", т. е. работающие при атмосферном давлении и отличающиеся сравнительной простотой конструкции и невысокой стоимостью.

Настоящая работа была посвящена исследованию одного из вариантов такого процесса – непрерывной стерилизации консервов в стеклянной таре открытым способом.

В соответствии с этим в работе было намечено решить следующие задачи:

Одесский технологический  
институт пищевой промышлен-

©. в. 013497 ✓

исследовать термостойкость стеклянной тары;

изучить теплофизические особенности процесса стерилизации различных консервов в стеклянной таре в жидком высокотемпературном теплоносителе (ВТ);

определить прочность укупорки и механическую прочность стеклянной тары в новых условиях тепловой обработки консервов;

изыскать параметры эксгаустирования;

определить давление, развивающееся в таре при стерилизации различных групп консервов открытым способом;

проверить новую технологию в производственных условиях и получить характеристику качества готовой продукции;

разработать исходные требования на проектирование опытно-промышленного образца непрерывно действующего стерилизатора открытого типа.

Научная новизна. Впервые изучена термическая прочность стеклянной тары. Получена математическая модель термостойкости стеклянной тары в конкретных условиях теплообмена.

Изучены условия теплопроникновения и динамика давления при стерилизации консервов в жидких высокотемпературных теплоносителях и определены параметры процесса непрерывной стерилизации консервов в стеклянной таре в аппаратах открытого типа.

Практическая ценность исследований состоит в изыскании условий непрерывной стерилизации консервов в стеклянной таре при температуре выше  $100^{\circ}\text{C}$  открытым способом и разработке исходных требований на проектирование опытно-промышленного образца непрерывно действующего стерилизатора открытого типа.

Результаты диссертационной работы переданы для внедрения объединению "Молдплодоовощпром".

На основании "Исходных требований на проектирование" начато проектирование опытно-промышленного образца стерилизатора, изготовление которого планируется на 1981 год.

Апробация диссертационной работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам теории и практики стерилизации и пастеризации пищевых продуктов, на семинаре "Развитие и внедрение непрерывно действующих стерилизаторов", на отчетных конференциях ОТИПП им. М. В. Ломоносова, в объединении "Молдплодоовощпром" и на Янгивильском консервном комбинате.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части (4 главы), выводов и приложений.

Диссертация изложена на 116 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и 43 таблицы.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Все экспериментальные исследования проводились на стенде, включающем в себя ультратермостат, используемый в качестве стерилизационной ванны, установку для определения прочности укупорки банки, установку для измерения давления в таре и ИК-эксгаустер. Измерения температуры продукта, тары и паровоздушного пространства осуществляли с помощью хромель-копелевых термопар потенциометром-самописцем ЭПП-09М2.

Термостойкость стеклянной тары исследовали расчетно-экспериментальным методом, в основу которого положены уравнения теплопроводности и термоупругого состояния цилиндрической стенки. Экспериментальным путем определяли перепад температур по толщине стеклянной стенки при нагреве и охлаждении консервов.

Значения критических термоупругих напряжений вычисляли на основе кривых изменения температуры поверхностей стеклянной стенки в момент разрушения банки. Величину термической прочности стеклянной тары оценивали, пользуясь методами математической статистики.

Для получения функциональной зависимости теплового состояния стенки стеклянной тары от интенсивности теплообмена на ее

поверхностях использовали метод планирования эксперимента по плану Бокса-Бенкина. Варьирование интенсивности теплообмена на внутренней поверхности осуществляли путем заполнения банок водой, соусом, соусом и пастой, характеризующимися различными коэффициентами тепловой активности, а на внешней – варьированием скорости охлаждающей воды (0,00 м/с, 0,25 м/с, 0,46 м/с, 1,16 м/с).

Условия теплопрониновения при стерилизации консервов в высокотемпературных теплоносителях были изучены в консервах: "Томатный сок" в таре I-82-3000, I-82-1000, I-58-200 и соковой бутылке емкостью 0,5, "Зеленый горошек", "Компот из вишен", "Сок сливовый с мякотью и сахаром" и "Сок вишневый с мякотью и сахаром" в таре I-82-1000, "Икра из баклажанов" и "Соус томатный острый" в таре I-82-500 при различных (от 105 до 120°C) температурах стерилизации.

Изыскание научно обоснованных режимов тепловой обработки и расчет детальности проводили в соответствии с "Положением о разработке режимов стерилизации и пастеризации консервов для автоклавов".

Производственную проверку разработанных в лаборатории режимов осуществляли в условиях Янгильского консервного завода на опытной стерилизационной установке открытого типа.

Консистенцию томатного сока характеризовали эффективной вязкостью  $\eta_e$ , прогреваемость – константой термической инерции  $f_h$ .

Определение вязкости проводили на визкозиметре "Рестест-2" производства ГДР, предназначенном для измерения вязкости в диапазоне от  $1 \cdot 10^{-3}$  до 120 Па,с.

Значения констант термической инерции вычисляли на основе кривых прогрева полученных образцов томатного сока методом наименьших квадратов на ЭВМ "Минск-22".

Влияние температуры на механическую прочность стеклянной тары изучали в лаборатории Тираспольского стеклотарного завода.

Исследование теплового экогаустирования инфракрасными лучами

проводили на изготовленном нами лабораторном экогаустере с помощью термометра, которую вводили через дно банки.

Для экспериментального исследования давления в таре при стерилизации был изготовлен электротензоманометр мембранного типа, действие которого основано на преобразовании давления в электрический сигнал с помощью мембранного тензорезистора. Наклеенный на стальную мембрану толщиной  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м преобразователь обеспечивает высокую чувствительность прибора. Динамику давления в банке при стерилизации фиксировали с помощью самописца.

Для получения математических моделей давления, развивающегося в банке при стерилизации соков с мякотью, густых продуктов (типа икры овощной и томатной пасты) и компота из вишен использовали метод планирования эксперимента по Д-оптимальным планам.

О качестве консервов "Сок томатный", "Икра из баклажанов" и "Компот из вишен", стерилизованных новым способом и в автоклаве, судили по таким показателям, как сухие вещества, общее количество сахаров, витамин С, каротиноиды, аминокислотный азот, рН, кислотность, цветность, полифенолы, которые определяли по общепринятым методикам.

### 3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение данных о теплофизических характеристиках ряда жидких ВТ с учетом их стоимости, доступности и простоты обращения показало, что наиболее подходящей теплоотдающей средой является насыщенный раствор хлористого кальция, температура кипения которого находится в пределах 130-140°C. Он нетоксичен, невзрывоопасен, коррозионная активность насыщенного раствора не превышает активности водопроводной воды.

Как известно, процесс тепловой обработки консервов в аппаратах открытого типа сопровождается резкими колебаниями температуры теплоносителя, которые, в ряде случаев, являются причиной разрушения

стеклянной тары. Допустимый перепад температур между банкой и нагревающей или охлаждающей средой является термостойкостью стеклянной тары. Характерной особенностью этого показателя является его лабильность, зависимость от интенсивности теплообмена между стеклянной стенкой и теплоносителем с одной стороны и продуктом и стеклянной стенкой с другой. Поэтому прежде, чем приступить к исследованию теплофизических особенностей процесса тепловой обработки консервов в стеклянной таре в ВТ, необходимо было получить отсутствующие в литературе данные о термостойкости стеклянной тары применительно к условиям процесса открытой стерилизации.

#### Исследование термостойкости стеклянной тары

Термостойкость стекла можно рассчитать по формуле

$$W = \frac{\sigma(1-\nu)}{\alpha' E} \cdot \frac{1}{\kappa\theta}$$

где величины:  $E$  - модуль упругости,  $\nu$  - коэффициент Пуассона и  $\alpha'$  - коэффициент термического расширения являются характеристиками тарного стекла и определяются из справочников. Выражение  $\kappa\theta$  представляет собой неизвестную нам функцию интенсивности теплообмена на поверхностях стеклянной стенки,  $\sigma$  - прочность стеклянной тары.

Для расчета термостойкости нельзя воспользоваться известными величинами механической прочности стеклянной тары, данных же о термической прочности (пределных термоупругих напряжениях, которые выдерживает стеклянная стенка без разрушения) в литературе нет.

Для характеристики термической прочности предложен критерий  $b_{кр}$  представляющий собой величину, соответствующую нижней границе размаха варьирования полной совокупности критических термоупругих напряжений растяжения, концентрирующихся на внешней поверхности стеклянной стенки при охлаждении и на внутренней при нагреве. Иначе эту величину можно назвать минимальной гарантированной термической прочностью. Термическая прочность стеклянной тары зависит от

ее размеров и температуры.

Влияние температуры на  $b_{кр}$  может быть выражено уравнением регрессии:

$$b_{кр}(t) = b_{кр0} - 0,082t$$

Максимальная погрешность расчета не превышает 0,5%.

Зависимость  $b_{кр}$  от размеров тары характеризуется аналитическими уравнениями:

$$b_{кр}(V,0) = 45,44(V \cdot 10^6)^{-0,12} \quad - \text{при охлаждении и}$$

$$b_{кр}(V,0) = 46,78(V \cdot 10^6)^{-0,046} \quad - \text{при нагреве.}$$

Объединив эти зависимости, мы получили уравнения для расчета термической прочности стеклянной тары разных размеров при любой температуре, как при нагреве:

$$b_{кр}(V,t) = 46,78(V \cdot 10^6)^{-0,046} - 0,082t,$$

так и при охлаждении:

$$b_{кр}(V,t) = 45,44(V \cdot 10^6)^{-0,12} - 0,082t.$$

Максимальная погрешность расчетов не превышает 3%.

Математическое выражение функции интенсивности теплообмена на поверхностях стеклянной стенки получено в виде полинома второго порядка:

$$\theta = (349 - 8\delta r - 566\delta_1 - 0,22Bi_2 + 243,6\delta_1^2 - 0,00013Bi_2^2 - 0,097\delta_1 Bi_2) \cdot 10^{-2},$$

где  $\delta r$  - толщина стеклянной стенки;

$\delta_1$  - термофизический критерий, представляющий собой коэффициент квадратный из отношения коэффициентов тепловой активности продукта и стекла  $\sqrt{\frac{\lambda_n \cdot c_n \cdot \gamma_n}{\lambda_{ст} \cdot c_{ст} \cdot \gamma_{ст}}}$  и характеризующий интенсивность кондуктивного теплообмена на внутренней поверхности стеклянной стенки;

$Bi_2$  - критерий Био, характеризующий интенсивность конвективного теплообмена на внешней поверхности стенки.

Коэффициент Пуассона  $\nu$  и модуль упругости  $E$ , входящие в формулу для расчета термостойкости, являются достаточно стабильными показателями, незначительно изменяющими свою величину при

изменении химического состава стекла. На основании экспериментальных исследований для тарного стекла принято  $\nu$  равным 0,222, а  $E$  - 69386 МПа. Подстановкой полученных величин в формулу получено упрощенное выражение для расчета термостойкости стеклянной тары:

$$W = \frac{1120 \nu}{10^3 \alpha^2 k \theta}$$

где  $k$  - коэффициент, зависящий от размеров тары. Величина для наиболее распространенных видов тары представлена в таблице 1.

Таблица 1

Т а р а	I-82-3000	I-82-2000	I-82-1000	I-82-500	I-58-200
$k$	0,5157	0,5073	0,5096	0,5055	0,5237

Погрешность расчетов термостойкости находится в пределах 4%.

Таблица 2

Т а р а	I-82-3000	I-82-1000	I-58-200
$W$ , °C	77 ± 3,1	93 ± 3,7	107 ± 4,3
Температура тары, °C	46	31	18

Термостойкость стеклянной тары при нагреве (табл.2) свидетельствует о том, что при погружении консервов густой консистенции в теплоноситель, нагретый до 120°C, температура наименее термостойкой трехлитровой банки должна быть не ниже 46°C, а при стерилизации жидких продуктов этот барьер еще ниже. На основании этих результатов был сделан вывод о возможности осуществления процесса стерилизации погружением банок в теплоноситель, нагретый до температуры стерилизации, минуя предварительный подогрев.

По данным о термостойкости тары при охлаждении была научно обоснована температура охлаждающей воды по зонам.

В таблице 3 дан пример изыскания режимов охлаждения сока томатного в 3-х видах тары. Низкая термостойкость трехлитровой тары послужила причиной увеличения количества охлаждающих зон до четырех, в то время, как для двухсотграммовой тары достаточно только двух зон охлаждения.

Таблица 3

Наименование продукта	Т а р а	Температура стерилизации, °C	Термостойкость по зонам охлаждения, °C				Режим охлаждения, мин							
			I	II	III	IV	I	II	III	IV				
Томатный сок	I-82-3000	120	28	32	40,9	55,2	5	5	5	15	95	75	50	20
"	I-82-1000	120	36,3	47,7	61,8		5	5	15		85	50	20	
"	I-58-200	120	53	64,7			5	15			70	20		

Экспериментальная проверка подтвердила надежность выбранных режимов охлаждения.

#### Изучение теплофизических особенностей процесса стерилизации консервов в стеклянной таре в высокотемпературном теплоносителе.

Сравнивая режимы стерилизации исследуемых консервов в высокотемпературном теплоносителе с традиционными (в автоклаве), можно сразу сказать, что переход на новый способ тепловой обработки консервов способствует интенсификации процесса стерилизации, осуществляемой за счет действия двух факторов: повышения начальной температуры продукта на 10°C вследствие выпадения этапа загрузки банок в сетки и увеличения температурного напора между стерилизуемой средой и продуктом.

При стерилизации густых продуктов, в прогреве которых основную роль играет теплопроводность, интенсификация осуществляется, в основном, за счет действия первого фактора, и режим тепловой обработки сокращается незначительно. Так, режим стерилизации Икры из баклажанов в новых условиях всего на 5 минут короче автоклавного (см. рис. 1).

Что касается жидких продуктов или гетерогенных (компоты, зеленый горошек), то увеличение температурного напора способствует интенсификации конвективного теплообмена и сокращение длительности процесса тепловой обработки более заметно. Так, время тепловой обработки Компота из вишен в ВТ по сравнению со стерилизацией в автоклаве сократилось на 15, а Зеленого горошка - на 20 мин (см. рис. 1).

Сравнение констант термической инерции этих продуктов при прогреве в ВТ и в автоклаве показало, что  $f_h$  баклажанной икры и томатного сока в обоих случаях практически равны, что свидетельствует об отсутствии момента интенсификации прогрева, в то же время  $f_h$  вишневого компота и зеленого горошка в новых условиях меньше на 13,5 и 14 минут соответственно. Эти данные свидетельствуют о влиянии двух факторов на интенсификацию процесса тепловой обработки конвективно прогреваемых продуктов при стерилизации в ВТ.

Одновременно значительно интенсифицируется процесс охлаждения. Температура в точке замера при выгрузке банок с баклажанной икрой из аппарата открытого типа на  $7^{\circ}\text{C}$  ниже, чем при выгрузке из автоклава, с томатным соком - на  $20^{\circ}\text{C}$ , с компотом - на  $25^{\circ}\text{C}$ , а с зеленым горошком - на  $40^{\circ}\text{C}$  ниже.

Общее сокращение времени тепловой обработки по новому способу по сравнению со стерилизацией в автоклавах составляет 5-20%, а с учетом процессов загрузки-выгрузки автоклавов - 30-50%.

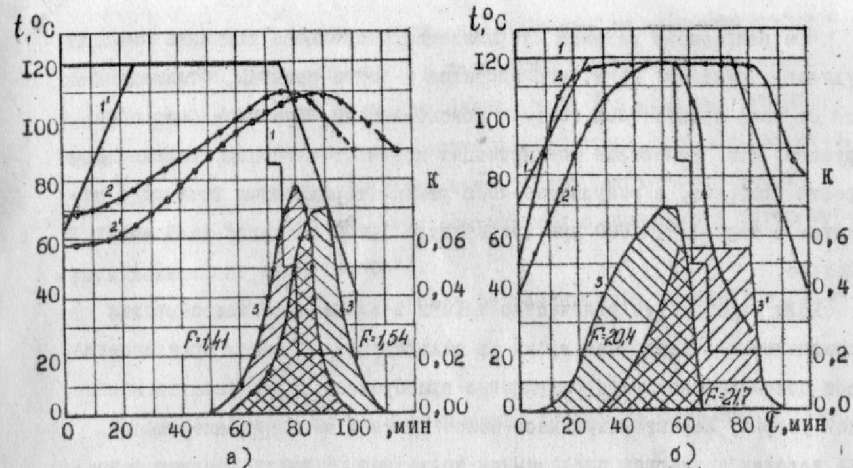


Рис. 1. Теплофизическая и микробиологическая характеристики режимов стерилизации консервов "Икра из баклажанов" в таре I-82-500 (а) и "Зеленый горошек" в таре I-82-1000 (б) в автоклаве и непрерывно действующем аппарате  
1, 1' - температурный режим аппаратов, 2, 2' - кривые прогрева продукта, 3, 3' - кривые летальности.

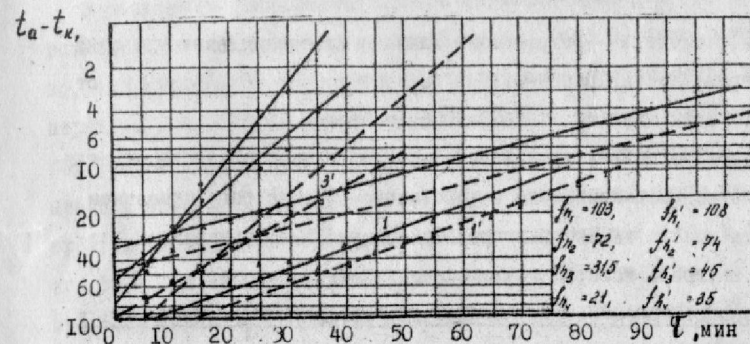


Рис. 2. Кривые термической инерции

1, 1' - баклажанной икры в таре I-82-500, 2, 2' - томатного сока в таре I-82-1000, 3, 3' - компота из вишен в таре I-82-1000, 4, 4' - зеленого горошка в таре I-82-1000.

При разработке режимов стерилизации наибольшее внимание было уделено Томатному соку, исследовался и сок и напиток, отличающийся от сока практически только консистенцией. При этом было обнаружено, что изменение консистенции повлекло за собой снижение скорости прогрева, в результате чего режим стерилизации Томатного напитка в таре I-82-I000 при температуре 120°C оказался на 5 минут дольше.

Если учесть, что количество мякоти в плоде является сортовым признаком и в настоящее время в сельскохозяйственном производстве все более широкое распространение приобретают сорта томатов машинной уборки, характеризующиеся более плотной консистенцией плода, на заводах создаются предпосылки получения продукта различной консистенции. Этот факт определяет актуальность изучения вопроса влияния консистенции томатного сока на его прогреваемость.

На основании большого объема экспериментального материала нами была установлена корреляционная зависимость прогреваемости Томатного сока ( $f_h$ ) от его консистенции ( $\eta_s$ ), которая может быть выражена уравнением

$$f_h = A \cdot e^{K\eta_s}$$

где коэффициент  $K$ , отражающий влияние изменения вязкости сока на прогреваемость, равен 0,15, а коэффициент  $A$  зависит от размеров тары, для банки I-82-I000 он равен 60,1.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости стабилизировать консистенцию сока на постоянном уровне регулированием процента выхода на экстракторе, ориентируясь на показатель вязкости, контроль которой можно осуществлять в потоке.

Изыскание условий стерилизации консервов в стеклянной таре в аппаратах открытого типа.

Особенности стерилизации консервов в стеклянной таре открытым способом обусловлены, во-первых, невысокой механической прочностью и, во-вторых, низкой прочностью укупорки банок. Это положение

повышает значимость мероприятий, направленных на снижение избыточного давления, развивающегося в таре при стерилизации консервов.

Измерение прочности укупорки банок типа I в условиях стерилизации консервов в насыщенном растворе хлористого кальция показало, что прочность укупорки I-82 при температуре 120°C составляет 75 КПа, а I-58 - 150 КПа, что согласуется с имеющимися литературными данными по этому вопросу.

Зависимость прочности укупорки от температуры выражается уравнением:

$$P(t) = P(25) \cdot \left(\frac{25}{t}\right)^{0,252}$$

Влияние температуры на механическую прочность стеклянной тары носит линейный характер:

$$P'_{кр}(t) = P'_{кр}(20) - 1,7(t-20).$$

При температуре 120°C прочность банок емкостью  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  и меньше составляет 320 КПа, а емкостью  $2 \cdot 10^{-3}$  и  $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  - 173 КПа.

На основании анализа литературных источников наиболее целесообразным было признано тепловое экогаустирование с помощью инфракрасных излучателей.

В результате экспериментального изучения динамики прогрева паровоздушного пространства банки ИК-лучами (рис.3) было установлено, что длительность прогрева паровоздушного пространства до температуры 100-120°C в значительной степени определяется температурой фасовки продукта и не зависит от степени наполнения и консистенции продукта. Снижение температуры фасовки продукта на 10°C требует дополнительного прогрева банок с томатным соком в течение 30 с. А чтобы прогреть паровоздушное пространство банки с компотом, начальная температура которого не превышает 40°C требуется 210 с. Скорость снижения температуры паровоздушного пространства при движении банок от экогаустера к закаточной машине также зависит от температуры продукта.

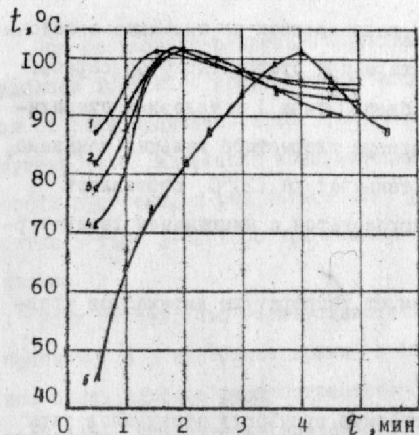


Рис. 3 Кривые прогрева паровоздушного пространства при ИК-экстастировании

- 1 - томатного сока, расфасованного при 95°C
- 2 - сливового сока с мякотью и сахаром, расфасованного при 90°C,
- 3 - томатного сока, расфасованного при 85°C,
- 4 - баклажанной икры, фасованной при 85°C
- 5 - компота из вишен

Результаты математической обработки экспериментальных данных показали, что коэффициент вариации, характеризующий разброс экспериментальных точек невелик (9,5-9,8%), что свидетельствует о надежности этого фактора снижения давления в таре.

Регистрация результатов экспериментального измерения давления самописцем позволила наблюдать динамику внутреннего давления в процессе стерилизации продуктов.

Вследствие того, что банки с продуктом сразу погружаются в теплоноситель, нагретый до температуры стерилизации, паровоздушное пространство прогревается очень быстро, в течение 5-10 мин. В соответствии с этим кривая давления делает резкий скачок в течение 5 минут, а затем становится более пологой. Дальнейший рост давления происходит, в основном, за счет объемного расширения продукта и выделения воздуха, заключенного в плодах. С началом охлаждения давление в банке резко падает (рис. 4).

Присутствие воздуха в консервируемых плодах изменяет форму кривой давления, делая ее более пологой. Наиболее характерно это явление отражает график давления, развивавшегося в компоте из вишен. Кривая давления не имеет резкого перелома, давление нарастает

постепенно, почти с одинаковой скоростью до конца прогрева, падение давления также более плавное.

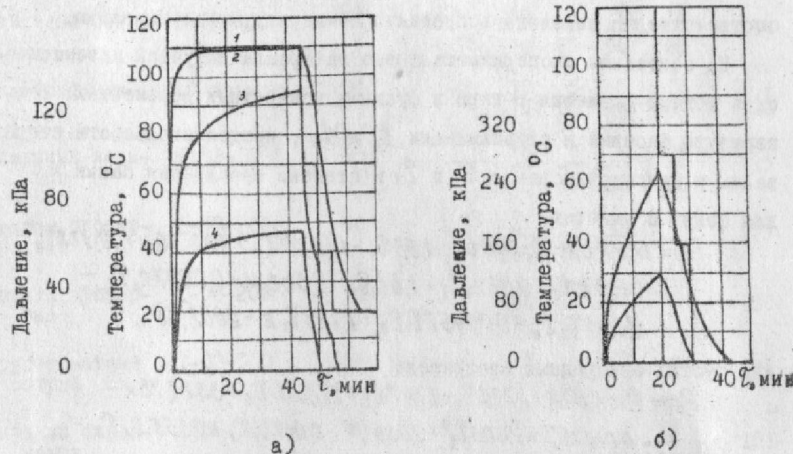


Рис. 4. Кривые изменения температуры и давления в процессе стерилизации консервов "Сок томатный" (а) и "Компот из вишен" (б) в таре I-82-1000  
 1 - температурный режим аппарата;  
 2 - прогрев паровоздушного пространства;  
 3 - давление;  
 4 - давление с предварительным экстастированием.

Ик-экстастирование снижает внутреннее давление на 50-130 кПа, однако до безопасного уровня, определяемого прочностью укупорки, удается снизить лишь давление в таре с соками, когда температура стерилизации не превышает 110°C. Во всех остальных случаях этого достигнуть не удастся.

Следовательно, чтобы обеспечить нормальное протекание процесса открытой стерилизации консервов в стеклянной широкогорлой таре, устанавливаются кассеты-носители банок, осуществляющие механический прижим крышек.

Стерилизацию консервов в соковой бутылке в аппаратах открытого типа можно осуществить при любой температуре в диапазоне 100-120°C

при соблюдении следующих условий фасовки: температура тары не ниже  $50^{\circ}\text{C}$ , а продукта -  $90^{\circ}\text{C}$ , снижение температуры продукта вызывает соответственно снижение допустимой температуры стерилизации.

На основании экспериментального материала получены математические модели давления в таре в функции конкретных переменных: температуры фасовки и стерилизации  $t_1$  и  $t_2$ , продолжительности стерилизации и эксгаустирования  $\tau_1$  и  $\tau_2$  и степени наполнения банки  $\kappa$  для соков с мякотью:

$$P_{\delta} = 17,27t_1 + 14,796t_2 - 1,53\tau_1 - 120,27\tau_2 + 824,36\kappa + 19,378\tau_1^2 - 0,103t_1t_2 - 0,01t_1\tau_1 + 1,6t_1\tau_2 - 9,56t_1\kappa + 0,0097t_2\tau_1 - 0,805t_2\tau_2 - 0,09967\tau_1\tau_2 + 1,703\tau_1\kappa - 2002,38,$$

для густых однородных продуктов:

$$P_{\delta} = 1968,048 + 1,775\tau_1 - 1,747t_1 - 77,235\tau_2 - 3579,76\kappa - 0,0197\tau_1^2 + 7,403\tau_2^2 + 2065\kappa^2 - 0,018t_1\tau_1 + 0,555t_1\tau_2 - 0,284\tau_1\tau_2 + 2,646\tau_1\kappa,$$

для компота из вишен:

$$P_{\delta} = 3,251t_2 + 31,48\tau_1 - 22,884\tau_2 - 21,4\kappa - 0,425t_2\tau_1 + 0,1182t_2\tau_2 - 0,61\tau_1\tau_2 + 17,88\tau_2\kappa - 237,5$$

Максимальная погрешность расчетов давления в динамике не превышает 5%.

На основании проведенных исследований можно рекомендовать следующие параметры процесса открытой стерилизации консервов (табл. 5)

Таблица 5

Наименование продукта	Тара	Температура фасовки, $^{\circ}\text{C}$		Продолжительность расфасовки, мин		Режим стерилизации	Давление, КПа		
		1	2	3	4				
Томатный сок	I-82-3000	95	I	40 120	5 95	5 70	5 40	15 20	128
Томатный сок	I-82-1000	95	I	45 110	5 70	5 40	15 20		63

	1	2	3	4	5				6
					1	2	3	4	
Томатный сок	I-82-1000	95	I	35 120	5 85	5 50	5 20	15 20	124
Томатный сок	0,5 бутылка	90	-	35 115	5 85	5 55	5 20	15 20	191
Томатный напиток	I-82-1000	95	I	40 120	5 85	5 50	5 20	15 20	125
Томаты протертые	I-58-200	90	1,5	25 120	5 70	5 20	15 20		173
Томаты протертые	I-58-200	90	1,5	40 110	5 55	5 20	15 20		120
Соус томатный острый	I-82-500	80	1,5	25 110	5 65	5 20	15 20		95
Икра из баклажанов	I-82-500	70	1,5	70 120	5 85	5 50	5 20	15 20	181
Зеленый горошек	I-82-1000	85 (залива)	3,5	55 120	5 85	5 50	5 20	15 20	173
Компот из вишен	I-82-1000	60 (сироп)	3,5	20 110	5 70	5 40	5 20	15 20	137
Сок сливовый с мякотью	I-82-1000	90	1,5	25 110	5 70	5 40	5 20	15 20	65
Сок вишневый с мякотью	I-82-1000	90	1,5	20 110	5 70	5 40	5 20	15 20	65

## Производственные испытания

Разработанные параметры открытой стерилизации "Сока томатного" в таре I-82-1000 и I-82-3000, "Икры из баклажан" и "Томатного соуса" в таре I-82-500 были проверены в производственных условиях Янгильского консервного завода путем заготовки опытных партий по 1000 банок каждая на опытной аппаратуре. Опытные партии хранились на складе в течение 3 месяцев, а затем были подвергнуты разбраковке. При осмотре брака не обнаружено, не замечено следов коррозии металлических крышек.

Параллельно сохранялись контрольные образцы этих консервов,

стерилизованные в автоклаве.

Микробиологические анализы подтвердили требуемую стерильность готовой продукции, а химическими исследованиями установлено, что в опытных образцах лучше сохраняются витамин С, каротиноиды, продукт получается более светлым.

Аналогичная картина наблюдается при сравнении показателей качества "Компота из вишен".

Это объясняется сокращением тепловой обработки, интенсификацией процесса охлаждения и удалением воздуха из незаполненного пространства банки.

Ориентировочный экономический эффект от внедрения одного стерилизатора открытого типа составит 94 тыс. рублей в год.

### В В О Д Н

1. Процесс открытой стерилизации может быть осуществлен путем погружения банок сразу в теплоноситель, нагретый до температуры стерилизации, минуя зону подогрева, с последующим многоступенчатым охлаждением.

2. Термические свойства стеклянной тары можно определить расчетно-экспериментальным методом, в основу которого положены: уравнения теплопроводности и термоупругого состояния цилиндрической стенки и экспериментальное изучение теплового состояния стенки стеклянной тары в процессах нагрева и охлаждения консервов.

3. Температура охлаждающей воды по зонам и количество зон охлаждения устанавливаются на основании данных о термостойкости стеклянной тары в конкретных условиях теплообмена.

Для расчета термостойкости впервые предложена математическая модель, учитывающая термическую прочность стеклянной тары (т.е. предельные термоупругие напряжения, которые выдерживает стеклянная стенка без разрушения), способ охлаждения и теплофизические характеристики консервируемого продукта:

$$W = \frac{112 \sigma_{кр}}{10^7 L' k \theta}$$

В качестве критерия термической прочности  $\sigma_{кр}$  принята величина, соответствующая нижней границе размаха варьирования полной совокупности критических термоупругих напряжений.

4. Влияние на критерий термической прочности таких факторов как объем и температура тары выражается следующим образом: значение  $\sigma_{кр}$  при переходе от двухсотграммовой тары к трехлитровой изменяется от 12 до 19 МПа (при 60°C), повышение температуры тары с 60°C до 120°C снижает значение  $\sigma_{кр}$  на 45-50 МПа.

5. Для расчета термической прочности стеклянной тары разных размеров при любой температуре предложены эмпирические уравнения:

$$\sigma_{кр}(V, t) = 45,44(V \cdot 10^3)^{-0,12} \cdot 0,082t \quad \text{— при охлаждении;}$$

$$\sigma_{кр}(V, t) = 46,78(V \cdot 10^3)^{-0,046} \cdot 0,082t \quad \text{— при нагреве.}$$

6. Процесс стерилизации консервов в непрерывно действующем аппарате открытого типа с применением в качестве теплоносителя насыщенного раствора хлористого кальция протекает интенсивнее, чем в автоклаве и при одинаковой летальности режимов продолжительность теплового цикла в новых условиях по сравнению с традиционными сокращается на 35-50%.

7. Прогреваемость томатного сока, характеризующаяся константой термической инерции  $f_h$ , зависит от его консистенции, которая выражается эффективной вязкостью  $\eta_3$ .

$$f_h = A e^{k \eta_3}$$

На эффективную вязкость томатного сока в значительной степени влияет содержание мякоти

$$\eta_3 = 933,3t^{-0,25} \exp(0,0506m) \cdot \dot{\epsilon}^{-0,792}$$

8. Использование в качестве рабочего органа электротензоманометра мембраны диаметром  $20 \cdot 10^{-3}$  м и толщиной  $0,3 \cdot 10^{-3}$  м с наклеенным высокочувствительным термоскомпенсированным тензорезистором сводит к минимуму погрешности измерений давления в таре при стерилизации. Преобразование давления в электрическую величину позволяет

дистанционно непрерывно регистрировать как постоянное, так и быстроменяющееся по времени, либо по величине давление с нужной точностью.

9. Прогрев паровоздушного пространства банок инфракрасными лучами до температуры 85-95°C, независимо от температуры продукта и степени наполнения, снижает давление в таре на 35-130 кПа. Статистическая обработка результатов свидетельствует о незначительном разбросе экспериментальных данных (9,5-9,8%), что подтверждает надежность этого способа снижения давления.

10. Стерилизация продуктов в соковой бутылке может осуществляться при любой температуре в диапазоне 100-120°C без сопротивления при следующих условиях фасовки: температура тары должна быть не ниже 50°C, а температура продукта 90°C.

11. Давление в таре 1-82 разных размеров и 1-58-200 при температуре 110°C не превышает величины прочности укупорки, если температура фасовки продукта не ниже 90°C.

При повышении температуры стерилизации до 115-120°C и снижении температуры фасовки устанавливаются кассеты-носители, обеспечивающие механический прижим крышки.

12. Зависимость избыточного давления в таре от температуры фасовки продукта, температуры стерилизации, продолжительности эксгаустирования, степени наполнения и продолжительности стерилизации выражается полиномом второго порядка

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i,j} b_{ij} x_i x_j$$

13. При переходе на непрерывный способ тепловой обработки качество консервов оказывается более высоким по сохранности витаминов и показателю цветности продукта благодаря интенсификации процессов прогрева и охлаждения консервов и удалению воздуха из паровоздушного пространства банок при Ик-эксгаустировании.

14. Разработаны исходные требования на проектирование опытно-промышленного образца непрерывно действующего стерилизатора

открытого типа и начать работы по созданию нового аппарата.

Ориентировочный экономический эффект от внедрения нового аппарата составит 94 тыс. рублей в год.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Флауменбаум Б.Л., Черникова В.В. Стерилизация томатного сока в стеклянной таре в непрерывно действующих аппаратах открытого типа. - Консервная и овощесушильная промышленность, 1975, № 12.
2. Флауменбаум Б.Л., Черникова В.В. Предупреждение срыва крышек при стерилизации томатного сока в стеклянной таре - Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1975, № 5.
3. Черникова В.В. Исследование условий стерилизации томатного сока в стеклянной таре в непрерывно действующих аппаратах открытого типа. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам теории и практики стерилизации и пастеризации пищевых продуктов, 1975.
4. Флауменбаум Б.Л., Черникова В.В. Мембранный электротензоманометр для измерения давления в консервной таре - Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1976, № 5.
5. Флауменбаум Б.Л., Черникова В.В. Критерий прочности стеклянной тары при охлаждении. - Консервная и овощесушильная промышленность, 1976, № 11.
6. Черникова В.В. Влияние реологических свойств томатного сока на его прогреваемость. - Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1978, № 1.
7. Черникова В.В., Флауменбаум Б.Л. Термостойкость стеклянной тары в процессе стерилизации консервов в аппаратах открытого типа. - Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1980, № 1.

*В.В. Черникова*