

Авторефер.

А 13

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант

АБУЭЛЬ ГАЛИЛЬ ДАХИ АЛИ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ
ТОМАТНОЙ ПАСТЫ В КРУПНОЙ КОНСЕРВНОЙ
ЖЕСТЯНОЙ ТАРЕ

(Специальность № 05.18.12 -- процессы и
технология пищевых производств)

Диссертация написана на русском языке

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

Одесса - 1975

Ск

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант

АБДЕЛЬ ГАЛИЛЬ ДАХИ АЛИ

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ И ОХЛАЖДЕНИЯ
ТОМАТНОЙ ПАСТЫ В КРУШНОЙ КОНСЕРВНОЙ
ЖЕСТЯНОЙ ТАРЕ

(Специальность № 05.18.12 - процессы и
технология пищевых производств)

Диссертация написана на русском языке

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

с.б. 12546 *УО12546*
Одесский технологический
институт пищевой промышлен-
ности им. М. В. Ломоносова
Б И Б Л И О Т Е К А
Одесса - 1976

Работа выполнена на кафедре технологии консервирования
и кафедре технологического оборудования пищевых производств
Одесского технологического института пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова.

Научные руководители: Доктор технических наук,
профессор М.Я.ДИКИС
доктор технических наук,
профессор Б.Л.ФЛАУМЕНБАУМ

Официальные оппоненты: Доктор технических наук,
профессор М.С.АМИНОВ
кандидат технических наук,
доцент Л.А.БОНЕВА

Ведущее предприятие – Одесский консервный комбинат.

Автореферат разослан " 30 " мая 1975 г.

Защита диссертации состоится " 30 " июня 1975 г.
на заседании Совета Одесского технологического института пище-
вой промышленности им. М.В.Ломоносова, г.Одесса, ул.Свердлова,
112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный пе-
чатью учреждения, просим направить в Совет института по адресу:
270039. г.Одесса, ул.Свердлова, 112.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
кандидат технических наук

/Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время консервной промышленности принадлежит одно из решающих мест в обеспечении населения продуктами питания, особенно продуктами сезонного характера. Одним из таких продуктов является томатная паста, мировое производство которой исчисляется двумя-тремя миллионами тонн и занимает в общем объеме мирового выпуска консервов четвертое место.

В Демократической республике Судан на современном этапе производство томатпродуктов является ведущей отраслью консервирования сельскохозяйственных продуктов. Благоприятные климатические условия способствуют широкому распространению томатов как сельскохозяйственной культуры. В стране выращивается около 250 тысяч тонн томатов, из которых в промышленную переработку отправляется около половины валового сбора.

Существующий способ консервирования томатной пасты в Демократической Республике Судан предусматривает расфасовку продуктов в мелкую жестяную тару (банка 24) с последующей стерилизацией и охлаждением в автоклавах. Это снижает производительность труда и не представляет возможности увеличить объем производства этого ценного продукта питания.

Организация массового промышленного производства томатной пасты в крупной таре (банки 14 и 15) обеспечит лучшее использование обслуживания потребителей при меньших производственных площадях и уменьшение трудовых затрат, позволит резко увеличить объем выпускаемой продукции. Для консервной промышленности Судана сократится сезонность в работе предприятий и улучшатся их технико-экономические показатели.

Выработка томатно* пасты в крупной жестяной таре традиционными способами (особенно в условиях Судана) связана с трудностями стерилизации и охлаждения, так как продукт плохо проводит тепло. Время охлаждения при этом исчисляется часами, что снижает качество продукта.

Цель и задачи работы. Целью исследований является разработка параметров ротационной стерилизации и охлаждения томатной пасты, расфасованной в 3-х и 9-ти килограммовую жестяную тару.

В соответствии с этим поставлены следующие задачи:

1. Изучить характер теплообмена при стерилизации томатной пасты в крупной консервной жестяной таре (банках I4 и I5) применительно к стационарным условиям современных периодически действующих аппаратов.

2. Получить данные о летальности действующих режимов стерилизации томатной пасты в жестяных банках 3-х и 9-ти килограммовой емкости.

3. Исследовать стимулирующее влияние на теплообмен ротационного фактора, предусмотреть изучение разных способов вращения вокруг продольной оси, вокруг внешней оси, вращение со встряхиванием и т.д.

4. Найти оптимальные параметры процессов ротационной стерилизации и охлаждения томатной пасты (частоту вращения, способ охлаждения, расход воды, продолжительность тепловой обработки).

5. Разработать исходные требования на проектирование непрерывно действующего стерилизатора-охлаждителя для томатной пасты.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые применительно к томатной пасте, расфасованной в крупную жестяную тару, поставлена и решена задача использования осевой ротации для интенсификации процесса стерилизации после расфасовки из вакуум-

аппарата, а также установлена возможность резкой интенсификации теплообмена путем вращения вокруг внешней оси.

Практическая ценность исследований заключается в изыскании параметров процесса ротационной стерилизации и охлаждения томатной пасты в крупной жестяной таре и разработке исходных требований на проектировочные непрерывно действующего стерилизатора-охлаждителя.

Результаты диссертационной работы переданы для внедрения Каушанскому промышленно-аграрно-общественному объединению и Киевскому ЦКТИ МПИ СССР.

Апробация диссертационной работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на XXXIV отчетной науч.ой конференции Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

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

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В настоящее время почти на всех предприятиях процесс стерилизации осуществляется преимущественно в автоклавах - аппаратах периодического действия.

Стремление к снижению затрат труда, расхода пара и воды, уменьшению занимаемой производственной площади, улучшению качества выпускаемой продукции, осуществлению полной автоматизации процесса стерилизации, стимулирует переход от автоклава к аппарату непрерывного действия.

Этим вопросам посвящен ряд работ Милославского, Г.Мизурова, А.Глесса, которые впервые применяли способ вращения банок с пастой

интенсификации теплообмена в процессе стерилизации. Затем ротационные способы стерилизации для некоторых видов продуктов исследовались М.Айснером, Е.Гериком, П.Боардом, Флауменбаумом Б.Л., Терлецкой Л.А., Назаровой А.И., Коганом Ф.И., Полиным М.Н. и др. Почти во всех статьях, посвященных вопросу ротационной стерилизации, подчеркиваются достоинства этого способа.

Однако, вопрос ротационной стерилизации томатной пасты в крупной таре применительно к непрерывно-действующему аппарату не исследовался.

Из обзора существующих конструкций аппаратов сделан вывод, что для осуществления процесса ротационной стерилизации томатной пасты не обоснованы режимы и параметры процесса. Это приводит к невозможности создания непрерывно-действующего стерилизатора-охлаждителя.

На восполнение указанного пробела направлена настоящая работа.

Для описания процесса теплообмена при ротационной стерилизации использовались основные положения теории теплопроводности. Так, как тепловой процесс в автоклаве нестационарный, а исследуемый объект представляет сложную систему, то применяли метод регулярного теплового режима.

Используя теорию регулярного режима Г.М.Коздратьева при охлаждении банок с томатной пастой, можно записать

$$\theta = \gamma \cdot e^{-\beta \tau} \quad (1)$$

где θ — избыточная температура, разность между температурой продукта и охлаждающей воды в данный момент времени;

γ — коэффициент, зависящий от начального распределения температуры, геометрической формы и др.;

β — темп охлаждения.

При обработке опытных данных определяют значения коэффициентов γ и β находят зависимость их от факторов, определяющих условия теплообмена при охлаждении.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Определение летальности режимов стерилизации. При проведении настоящих исследований пользовались методом математического анализа кривых прогреваемости, представляющих собой модификацию математического метода Ч. Болла, предложенную Б. Л. Флауменбаумом. Этот метод позволяет дать количественную оценку эффективности любого режима стерилизации и разработать новые формулы с определенным стерилизующим эффектом.

Графически величина А-эффекта изображается в координатах: ось абсцисс - время тепловой обработки в минутах, ось ординат - значения K_A и представляет собой площадь, ограниченную кривой летальности.

Определение летальности осуществляется приближенным интегрированием по формуле:

$$A = \int_0^{\tau} K_A d\tau \approx \tau_p (K_{A_1} + K_{A_2} + \dots + K_{A_n}), \quad (2)$$

где τ_p - интервал времени между замерами температуры, в опытах - 5 минут;

K_{A_1}, \dots, K_{A_n} - переводные коэффициенты, которые определяются по формуле:

$$K_A = \frac{1}{10^{\frac{T_g - T_s}{Z}}}$$

При анализе летальности режимов стерилизации томской пасты по данным американской ассоциации консервщиков принято $Z = 8,3^\circ\text{C}$ и $T_s = 93^\circ\text{C}$ (T_s - эталонная температура, T_g - температура в момент замера, Z - константа термостойкости).

Сравнивая величину A -эффекта, полученную экспериментально для данного режима стерилизации, с нормативным значением, т.е. таким, которое требуется для уничтожения характерной микрофлоры, можно дать заключение о надежности действующей или разработанной формулы стерилизации.

В качестве нормативного значения летальности режимов стерилизации томатной пасты принята величина $A = 10,0$ усл. мин.

($\lambda = 8,3^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 93^{\circ}\text{C}$).

2.2. Исследование влияния вращения на прогреваемость и охлаждение томатной пасты.

а) Описание экспериментальных стендов. Влияние вращения на прогреваемость и охлаждение томатной пасты исследовалось на стендах, позволяющих осуществлять вращения банок вокруг их внешней оси (т.е. "с донышка на крышку") и вокруг продольной оси.

Первый стенд, предназначенный для изучения вращения банок вокруг их внешней оси, является моделью аппарата "Ротомат" и состоит из горизонтального автоклава, пульта управления, электродвигателя постоянного тока, гибкой связи и контрольно-измерительной аппаратуры. Для осуществления вращения банок в автоклав введен вал, который приводится в движение двигателем постоянного тока. Частоту вращения банки можно было изменять в широких пределах от 0 до 100 об/мин.

Другой способ вращения банок - вокруг их продольной оси - осуществляется на экспериментальном стенде, представляющем собой аппарат открытого типа, моделирующий процесс непрерывной ротационной стерилизации (см. рис. I).

Установка состоит из ванны (1), валков (2), электродвигателя постоянного тока (3) и соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры. Банка устанавливается на вращающиеся в одну сто-

рону балки и за счет фрикционной связи приобретает определенную частоту вращения вокруг своей геометрической оси. Охлаждение банок производится в этой же ванне либо в проточной холодной воде, либо душеванием из специального насадка (4). На этой установке можно было изучать и влияние низкочастотной вибрации на процесс теплообмена.

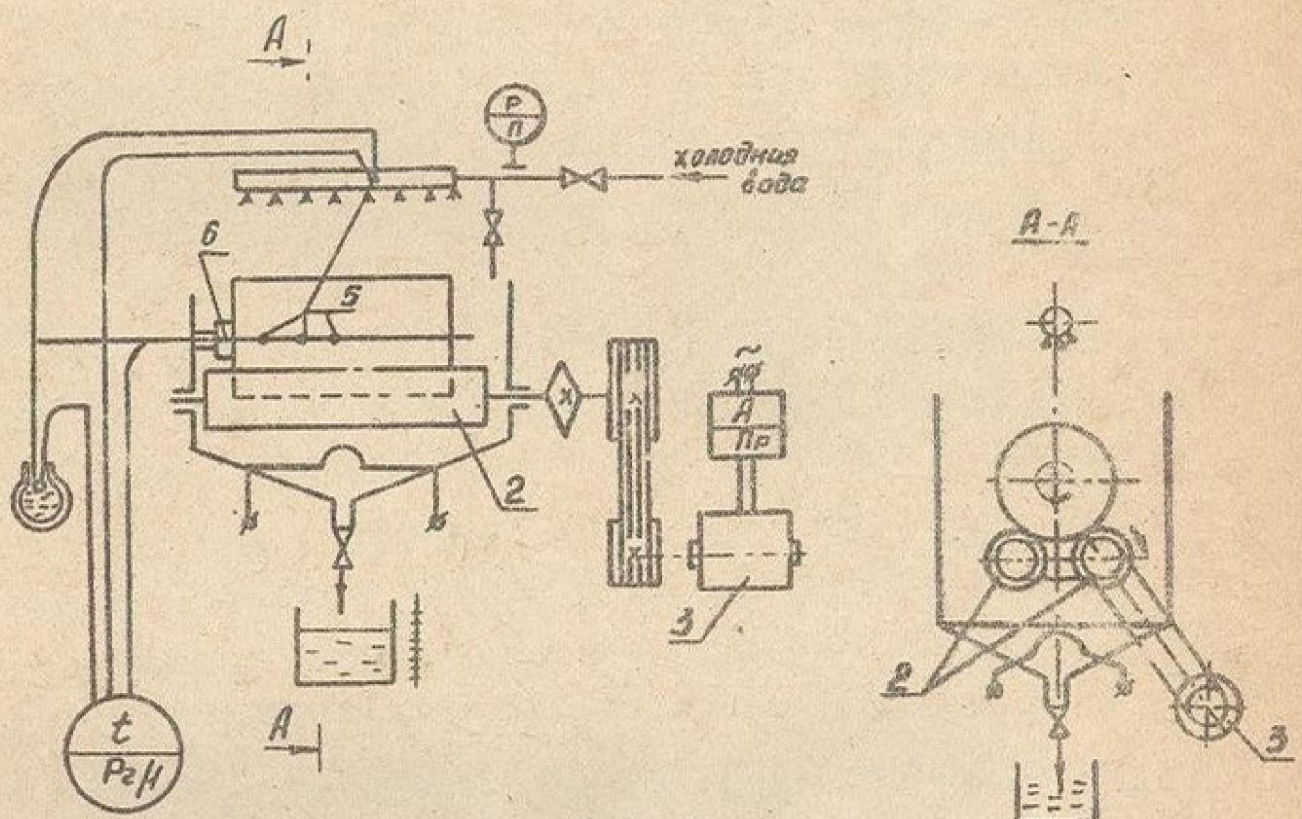


Рис. 1

Стенд для исследования охлаждения банок вращающихся вокруг геометрической оси.

Измерение температуры проводили термоэлектрическим способом медно-константановыми термодарами (5), с помощью потенциометра типа Р 2/1. Специальные приспособления (6) позволяют производить замеры температуры во вращающихся банках не прекращая их движения.

б) Определение оптимальной частоты вращения. Влияние вращения банки на прогреваемость их содержимого устанавливали по методике Л. Терлепской: определяли стерилизующий эффект (А-эффект) для произвольно заданного этапного режима, по которому стерилизовали томатную пасту, изменяя частоту вращения банок от 0 до 40 об/мин через каждые 5 оборотов при вращении банок вокруг их внешней оси и от 0 до 60 об/мин при вращении банок вокруг их продольной оси. При этом исходили из того, что с улучшением условий теплообмена, связанного с увеличением частоты вращения банок, должен расти и стерилизующий эффект, а прекращение нарастания его должно свидетельствовать о достижении оптимальной частоты вращения.

в) Изыскание оптимального способа охлаждения. Для установления наиболее эффективного способа охлаждения томатной пасты, расфасованной в жестяные банки I4 и I5, исследовались следующие способы охлаждения:

1. самопроизвольное охлаждение банок на воздухе;
2. охлаждение неподвижных банок в проточной воде;
3. охлаждение вращающихся банок в проточной воде;
4. охлаждение орошением вращающихся банок.

Третий и четвертый варианты исследовались еще в сочетании с низкочастотной вибрацией.

2.3. Методика математической обработки экспериментальных данных.

Экспериментальные зависимости скорости охлаждения банок аппроксимировались методом наименьших квадратов на ЭЦВМ "Проминь" согласно уравнению (I).

Коэффициенты уравнения (I) определялись по формулам:

$$\beta = \frac{\sum z_i \sum \log \theta_i - N \sum z_i \log \theta_i}{0,4343 [\sum z_i)^2 - N \sum z_i^2]} \quad (3)$$

$$\log \gamma = \frac{1}{N} (\sum \log \theta_i - \beta \log \exp \sum z_i) \quad (4)$$

Оценка приближения осуществлялась по среднеквадратичному отклонению расчетных величин от экспериментальных.

Поскольку при ротационном охлаждении на величину темпа охлаждения оказывают влияние многие факторы, то на основании анализа литературных данных и предварительных экспериментов считаем, что наиболее существенными являются частота вращения банки и расход охлаждающей воды.

Начальная температура продукта 95°C и температура охлаждающей воды 15° наперед заданы требованиями технологии и производственными условиями.

В качестве программы счетов для определения зависимости темпа охлаждения β от частоты n и расхода воды W применили матрицу планирования полного факторного эксперимента ПФЭ 2^2 .

После реализации эксперимента по плану ПФЭ 2^2 зависимость $\beta = f(n, W)$ определяли в виде уравнения регрессии

$$\beta = y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (5)$$

где: b_0 — свободный член уравнения регрессии,

b_1, b_2 — коэффициенты уравнения регрессии при каждом факторе,

b_{12} — коэффициент, учитывающий эффект межфакторного взаимодействия.

Статистический анализ значимости коэффициентов регрессии при 5% уровне осуществлялся по критерию Стьюдента. Адекватность уравнения (5) проверялась по F -критерию Р. Фишера.

2.4. Химические исследования

Для определения сравнительных изменений качественных показателей томатной пасты, консервированной способом горячего розлива и обработанной на ролационной установке, исследовались следующие показатели: сухие вещества - по рефрактометру, общая кислотность - титрованием $0,1 N NaOH$ с пересчетом на яблочную кислоту, активная кислотность - электрометрически pH -метром - 340. Измерения цветности выполняли фотометрически путем определения оптической плотности водноспиртовых вытяжек на фотоэлектроколориметре ФЭ-16 по прописи А.Т.Марха и Р.В.Кржевой. Каротиноиды - спектрометрическим определением интенсивности окраски ацетоновой вытяжки на СФ-4А по прописи А.Т.Марха и Р.В.Кржевой. Определение суммарного содержания оксиметилфурфурола, фурфурола и метилфурфурола обозначали как фурфурол. Оксиметилфурфурол определяли по прописи В.Л.Кретовича и Р.Р.Токаревой флюороглюционным методом, а в получавшихся в процессе анализов отгонах фурфурола и метилфурфурола их содержание - колориметрическим методом по взаимодействию с анилином по прописи Г.И.Фертмана и В.Я.Тимошенко.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ИХ ОБОБЩЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Исследование летальности действующих режимов консервирования томатной пасты в жестяных банках I4 и I5

Технологические инструкции по производству томатной пасты в крупной таре как в СССР, так и за рубежом, предусматривают в основном консервирование продукта способом горячего розлива, а для банок I4 также стерилизацией.

Проведенные рядом авторов исследования показали, что способ

горячего разлива отрицательно сказывается на качестве продукта, способствует интенсивному накоплению олова, что в свою очередь часто приводит к химическому бомбажу, а также к заметному потемнению продукта.

Ни в одной из работ не приводятся данные по исследованию летальности процесса самопроизвольного охлаждения томатной пасты, а выводы о параметрах ротационного охлаждения также не обоснованы с этой точки зрения.

Поэтому, приступая к исследованиям, прежде всего необходимо было определить эффективность применяемых в настоящее время способов консервирования томатной пасты в ж/б 14 и 15.

Исследование способа горячего разлива томатной пасты в ж/б 15 проводилось в производственных условиях на Голодном предприятии Одесского производственного объединения консервной промышленности.

Как показал математический анализ данных теплофизических измерений, центральная часть продукта получает большой избыток стерилизующего эффекта ($A_{ц} = 108,6$ усл.мин. т.е. в 10 раз больше, чем необходимо), в то время как периферийные слои, охлаждаясь довольно быстро, избытком летальности не обладают ($A_{пер} = 11,2$ усл.мин). на рис.2-а приведена характеристика процесса самопроизвольного охлаждения томатной пасты в ж/б 15.

Исследования самопроизвольного охлаждения томатной пасты в ж/б 14 проводились в лаборатории института. Характеристика этого процесса представлена на рис.2-б. Центральные слои при самопроизвольном охлаждении ж/б 14 тоже аккумулируют значительный избыток стерилизующего эффекта - $A_{ц} = 65,9$ усл.мин., хотя и несколько в меньшей степени, чем в ж/б 15, а периферийные слои как раз успевают "забрать" лишь нормативное количество стерилизующего

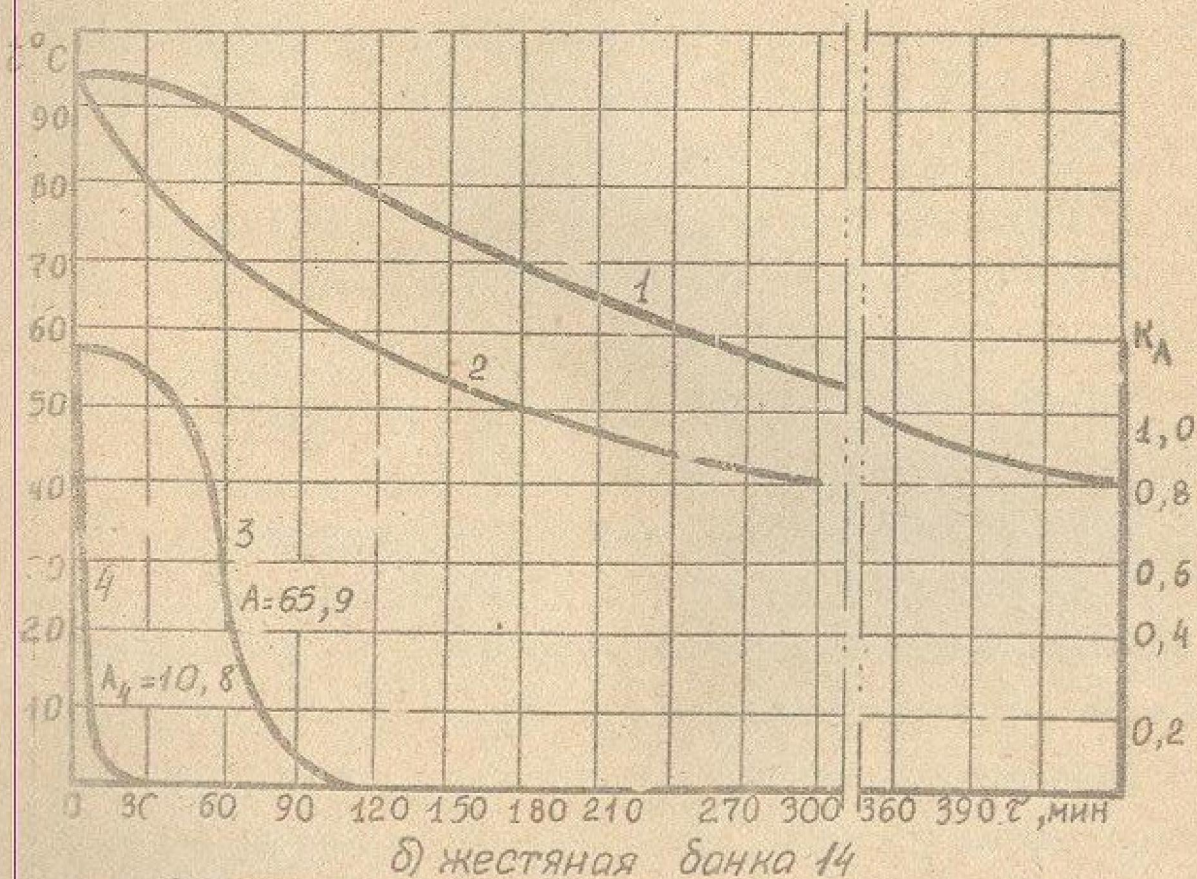
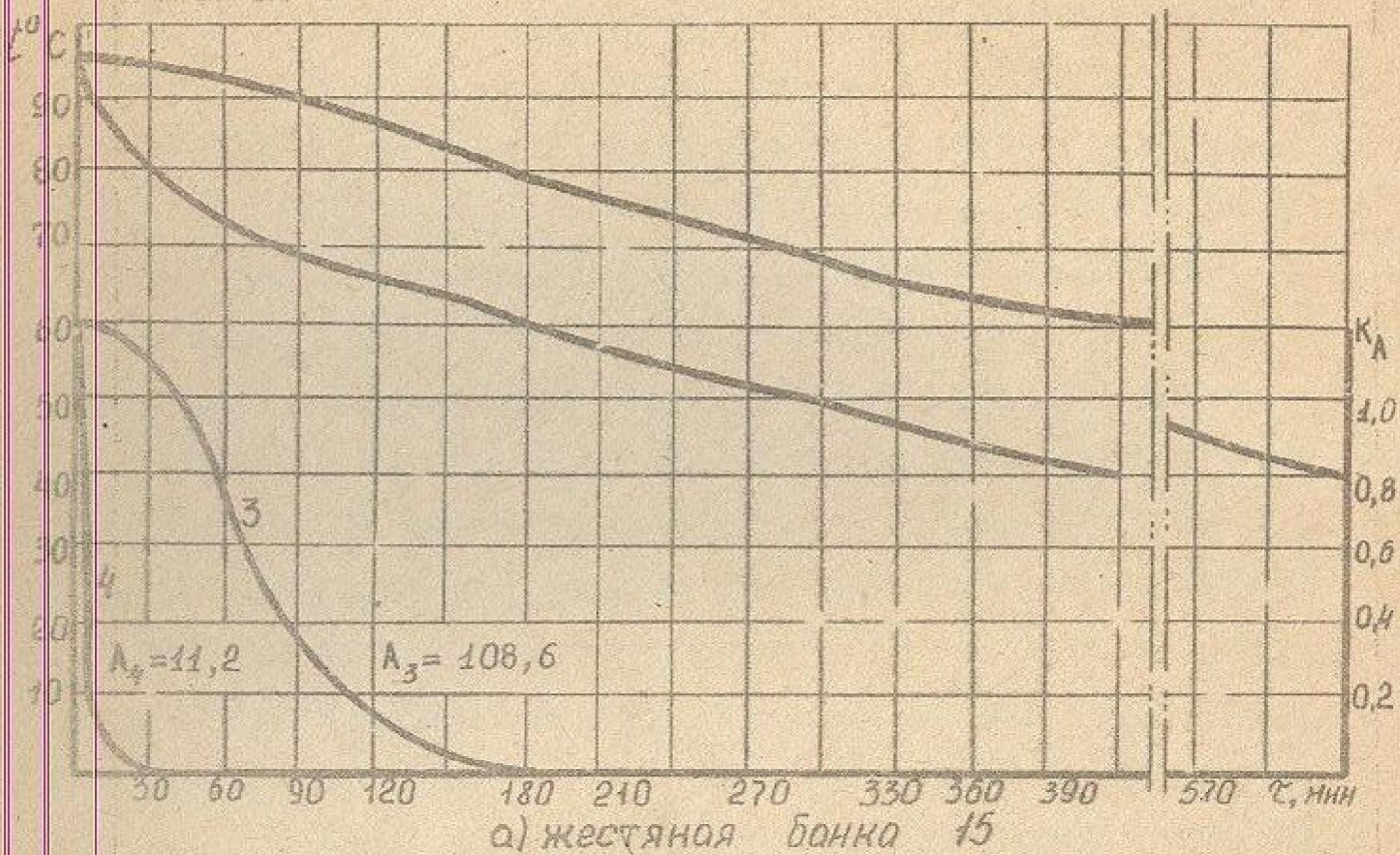


рис. 2. Характеристика процесса самопроизвольного охлаждения томатной пасты
 1 - кривая изменения температуры в центре банки; 2 - кривая изменения температуры в периферийном слое; 3 - кривая А-эффекта центра; 4 - кривая А-эффекта периферийных слоев

эффекта ($A_{пер} = 10,8$ усл.мин.).

Исследования рекомендуемого технологической инструкцией способа стерилизации томатной пасты в ж/б I4 в автоклавах в течение 30 мин. показало, что режим этот, "набирая" 11,6 усл.мин. является наиболее оптимальным.

Однако после выгрузки банок из автоклава, температура продукта в центре-горячая 86°C и с этого момента банки по сути самопроизвольно охлаждаются около трех часов.

Таким образом, исследования рекомендуемой технологической инструкцией способов консервирования томатной пасты в крупной жестяной таре показали, что при горячем розливе процесс охлаждения длится весьма долго 7-10 часов, причем за это время центральные слои продукта получают избыток теплового воздействия в 6 - 10 раз, в то время как периферийные слои при своем естественном охлаждении обеспечиваются лишь теми минимальными значениями летальности ($A = 10,8 - 11,2$ усл.мин), которые гарантируют томатную пасту от порчи.

Поэтому вполне закономерна постановка вопроса по изысканию таких способов тепловой обработки томатной пасты, которые по времени обеспечивали бы равномерность теплового воздействия на весь объем продукта в банках и были бы надежными с микробиологической точки зрения, а также способствовали сохранению витаминов и естественного цвета.

3.2. Изыскание параметров процесса ротационной стерилизации и охлаждения томатной пасты

Определение параметров процесса стерилизации при вращении банок вокруг внешней оси проводилось только для банок I4.

а) Оптимальная частота вращения определялась в лабораторной модели автоклава "Ротомат". Банки с расфасованной при 95°C томатной пастой, вращаясь вокруг внешней оси, охлаждались в проточной воде.

В таблице I приведена характеристика процесса охлаждения

томатной пасты в ж/б I4 при изменении частоты их вращения от 0 до 40 оборотов банки в минуту.

Таблица I

Частота вращения банок, об/мин.	Начальная температура, °C	Конечная температура, °C	Продолжительность охлаждения, мин.	Летальность процесса, А усл. мин. $T_э=93^{\circ}\text{C}$ $\Sigma =8,3^{\circ}\text{C}$
0	95	40	190	45,2
5	95	45	20	11,9
10	95	42	15	8,75
15	95	41	10	5,40
20	95	42,5	6	3,45
25	95	40	6	2,25
30	95	40	8	3,22
40	95	41	10	4,25

Как показали экспериментальные данные, наиболее интенсивно охлаждается томатная паста при частоте вращения банок 25 об/мин: продолжительность охлаждения составляет 6 мин., в то время как при неподвижном охлаждении банки — 190 мин, при 5 об/мин — 20 мин., с увеличением частоты вращения до 25 об/мин. продолжительность охлаждения снижается до 6 минут, а затем, при дальнейшем возрастании частоты вращения, время охлаждения несколько уменьшается и при 30 об/мин составляет 8 минут, а при 40 об/мин увеличивается до 10 минут. Соответственно этим условиям меняются и значения летальности процесса охлаждения при изменении частоты вращения банок, т.е. наиболее оптимальные условия охлаждения приводят к минимальной величине стерилизующего эффекта.

Таким образом, вращение ж/б I4 с томатной пастой вокруг их внешней оси настолько интенсифицирует процесс охлаждения, что при этом уже не обеспечивается норма летальности процесса, т.е. при данном способе охлаждения невозможно обойтись без дополни-

тельной стерилизации томатной пасты.

б) Определение режимов ротационной пастеризации также осуществлялось в лабораторной модели автоклава "Ротомат". Томатная паста, предварительно подогретая до $60-62^{\circ}$, расфасовывалась в ж/б I4, которые стерилизовались при различной частоте вращения по режиму $\frac{5-30-20}{100^{\circ}\text{C}}$. В таблице 2 приведены значения А-эффекта, полученные в результате проведенного эксперимента.

Таблица 2

Частота вращения об/мин	0	5	10	15	20	25	30	40
А-эффект усл. мин.	0	3,3	29,6	45,7	49,1	51,7	46,7	46,3

Как видно из приведенных данных, при возрастании частоты вращения увеличиваются соответственно и значения стерилизующего эффекта, достигая максимального значения 51,7 усл. мин при частоте вращения банки 25 об/мин. Дальнейшее увеличение частоты вращения банок уже не только не приводит к интенсификации теплообмена, а даже несколько ухудшает его, что снижает летальность процесса стерилизации при 30 об/мин до 47,1 усл. мин, а при 40 об/мин — до 46,3 усл. мин.

Таким образом, наибольшая интенсификация процесса стерилизации достигается при частоте вращения банок 25 об/мин, т.е. эта частота является оптимальной для ротационной стерилизации томатной пасты в ж/б I4.

Определение оптимальной частоты вращения позволило изыскать режим ротационной стерилизации томатной пасты в ж/б I4 применительно к условиям стерилизации ее в аппарате "Ро-томат". Причем, значительная интенсификация теплообмена при вращении банок дала возможность разработать такой режим даже при сравнительно невы-

сокой начальной температуре томатной пасты как $42-45^{\circ}\text{C}$, т.е. для условий, когда продукт поступает на стерилизацию сразу после вакуум-аппарата. Характеристика этого режима представлена на рис.3.

Если использовать этот принцип стерилизации применительно к непрерывно действующему аппарату, в котором банки сразу погружаются в кипящую воду, а затем охлаждаются водопроводной водой, тогда общий цикл стерилизации можно сократить еще больше - до 22 минут (продолжительность стерилизации - 12 мин, а охлаждения - 10 мин). Характеристика этого режима представлена на рис.4.

Способ периодической ротационной стерилизации может быть реализован в аппаратах "Ротомат".

Что касается осуществления этого способа применительно к непрерывно действующим аппаратам, то тут возникает ряд проблем конструктивного характера, связанных с созданием устройств, осуществляющих вращение банок вокруг их внешней оси с частотой 25 об/мин и нагрузками на эти устройства, возникающими при вращении 3-х килограммовых банок.

В связи с тем, что процесс стерилизации таким способом может быть осуществлен только для ж/б I4, необходимо было найти такой способ тепловой обработки томатной пасты, который был бы универсальным как для банок I4, так и для банок I5.

3.3. Определение параметров процесса стерилизации и охлаждения томатной пасты при вращении банок вокруг их продольной оси

а) Банки с расфасованной при 95°C томатной пастой охлаждали в проточной холодной воде, меняя частоту вращения банок в диапазоне 0-60 об/мин. для определения оптимальной скорости.

В таблице 3 приведены результаты исследования влияния вращения банок I4 и I5 на продолжительность их охлаждения.

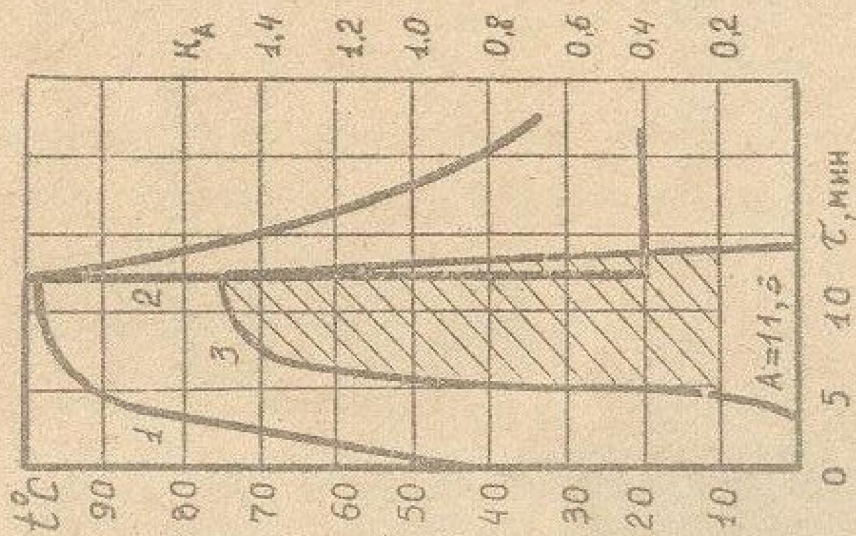


рис. 4. Характеристика режима непрерывной ротационной стерилизации томатной пасты в ж/б 14
 1 - кривая прогрева центра банки; 2 - кривая прогрева аппарата; 3 - кривая А-эффекта.

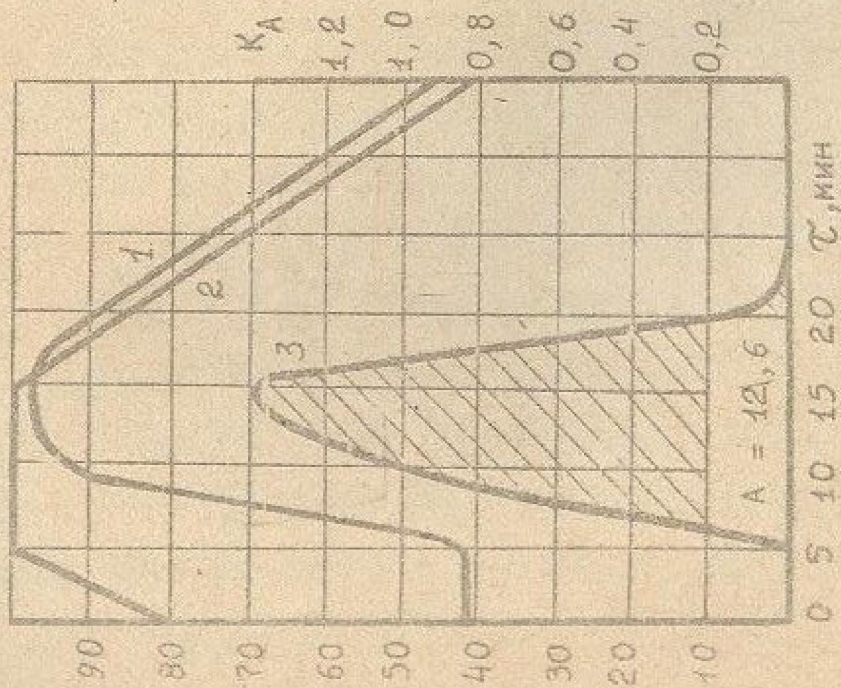


рис. 3. Характеристика режима ротационной стерилизации томатной пасты в ж/б 14
 1 - кривая прогрева центра банки; 2 - кривая прогрева аппарата; 3 - кривая А-эффекта.

Таблица 3

Частота вращения банок, об/мин.	Начальная температура, °C	Конечная температура, °C	Продолжительность охлаждения, мин.	
			ж/б I4	ж/б I5
0	95	41	190	330
5	95	40	175	260
10	95	40	150	235
30	95	41	135	210
40	95	41	120	190
45	95	40	-	175
50	95	41	110	-
55	95	40	100	-
60	95	42	120	200

Как показывают экспериментальные данные, вращение банок значительно интенсифицирует процесс охлаждения томатной пасты. Самое короткое время охлаждения достигается при вращении ж/б I4 с частотой 55 об/мин, а оптимальная частота вращения ж/б I5 составляет 45 об/мин. Особенно заметна степень интенсификации теплообмена, достигаемая при вращении банок в сопоставлении с практикуемым в настоящее время самопроизвольным охлаждением. Так, если продолжительность естественного остывания томатной пасты в ж/б I5 составляет 10-11 часов то благодаря вращению этот процесс сокращается в 3 раза. А томатная паста в ж/б I4 при вращении может быть охлаждена за 1,5 часа, в то время как самопроизвольно эта банка остывает свыше 7 часов.

б) Банки с расфасованной в них при 95°C томатной пастой охлаждались различными способами: самопроизвольно остывали на воздухе, охлаждались в проточной воде в покое и при вращении, исследовалось также влияние на продолжительность охлаждения таких факторов, как опрошение банок в холодной воде и низко-

частотная вибрация.

Как показывают экспериментальные данные, особенно значительная интенсификация теплообмена при охлаждении томатной пасты достигается сочетанием вращения банок и орошения их холодной водой. Совокупность этих стимулирующих факторов дает возможность сократить продолжительность охлаждения продукта в ж/б I4 до 40 минут, а в ж/б I5 — до 30 минут.

Применение низкочастотной вибрации банок в сочетании с их вращением вокруг продольной оси с оптимальной частотой незначительно сказалось на сокращении продолжительности охлаждения. Если ж/б I4, орошаясь холодной водой, охлаждается за 40 минут, то дополнительная вибрация банок с частотой 330 гц и амплитудой 5 мм снижает продолжительность охлаждения томатной пасты до 30 минут, т.е. на 10 минут. Использовать же вибрацию для дополнительной интенсификации процесса охлаждения томатной пасты в ж/б I5 не представилось возможным, так как при этом наблюдалась значительная деформация корпуса банки.

В таблице 4 приведена характеристика различных способов охлаждения томатной пасты в ж/б I4 и I5.

Как показывают экспериментальные данные, в результате практикуемого в настоящее время способа горячего разлива томатной пасты в ж/б I4 и I5, основанного на дальнейшем самопроизвольном охлаждении банок на воздухе, продукт получает большой избыток теплого воздействия, в 6-10 раз превышающий необходимый с микробиологической точки зрения.

Интенсификация охлаждения, достигаемая в результате применения таких стимулирующих этот процесс факторов как орошение банок холодной водой в процессе их вращения вокруг продольной оси, приводит к такому резкому снижению продолжительности процесса, который уже не обеспечивает необходимой летальности

процесса, так как стерилизующий эффект составляет всего 6-7 усл. минут.

Таблица 4

Способ охлаждения	ж/б I4		ж/б I5	
	Продолжительность, мин.	A-эффект, усл. мин.	Продолжительность, мин.	A-эффект, усл. мин.
Самопроизвольное	445	65,8	640	108,6
Охлаждение неподвижной банки в проточной воде	190	45,2	330	94,0
Охлаждение в проточной воде вращающейся с оптимальной частотой вокруг продольной оси банки (ж/б I4 - 55 об/мин, ж/б I5 - 45 об/мин).	100	14,2	175	26,3
Охлаждение орошением банки, вращающейся с оптимальной частотой вокруг продольной оси (ж/б I4 - 55 об/мин, ж/б I5 - 45 об/мин).	40	6,7	30	7,5
Охлаждение орошением банки, вращающейся с оптимальной частотой вокруг продольной оси с одновременной вращением	30	6,0	-	-

Поэтому, применяя интенсификацию процесса охлаждения томатной пасты, необходимо предусматривать дополнительную тепловую обработку, которые в сочетании позволили бы добиться оптимального по летальности режима.

в) Изыскание оптимальных режимов ротационной стерилизации томатной пасты в ж/б I4 и I5. Высокая термическая инерция томатной пасты не дает возможности быстро прогреть или охладить продукт при обычных условиях. Поэтому необходимая летальность при пастеризации томатной пасты проще всего может быть достигну-

та за счет выдержки расфасованного при высокой температуре продукта в течение определенного времени, достаточного для того, чтобы в банке "набрался" нормативный стерилизующий эффект. В этом случае эффективность тепловой обработки составляет:

$$A_T = K_{AT} \cdot \tilde{z} \quad (\text{усл.мин}).$$

Расчеты показали, что $A = 10$ усл.мин. обеспечивается при следующем сочетании температуры расфасовки томатной пасты и продолжительности тепловой выдержки:

t расф. = 90°C	$K_A = 0,4635$	$\tilde{z} = 25$ мин.
t расф. = 92°C	$K_A = 0,7586$	$\tilde{z} = 15$ мин.
t расф. = 93°C	$K_A = 1,0000$	$\tilde{z} = 10$ мин.
t расф. = 95°C	$K_A = 1,1738$	$\tilde{z} = 9$ мин.

В результате аппроксимации опытных данных получены значения коэффициентов γ и β уравнения (1). Допущение, что $\gamma = T_{\text{нач.}} - T_{\text{с}}$ (где $T_{\text{нач.}}$ - температура продукта перед охлаждением, $T_{\text{с}}$ - температура охлаждающей воды) не приведет к большой погрешности в расчетах. Отношение расчетных данных от экспериментальных не превышает 5%. Коэффициент $\beta = f(W, n)$.

Реализация плана ПФЭ 2^2 позволила несколькими сериями опытов при различных уровнях факторов " X_1 " и " X_2 " определить околооптимальную область значений n и W . При этом для банки 15 центральный эксперимент был поставлен со значениями

$$X_1 = n = 45 \text{ об/мин.}, \quad X_2 = W = 14 \text{ л/мин.}$$

Уравнение регрессии для оптимального плана.

$$y = -0,022 - 0,0015 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Коэффициенты регрессии при X_1 и X_2 с 95% вероятностью в доверительном интервале $t = 0,00130$ незначимо отличаются от нуля.

Для банки I4 аналогичным образом получены оптимальные параметры процесса ротационного охлаждения:

$$n = 55 \text{ об/мин} \quad \omega = 3,5 \text{ л/мин.}$$

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать следующее:

1. охлаждение проводить опрыскиванием,
2. вращать банки с оптимальной частотой вращения вокруг собственной оси.

Исходя из приведенного, интенсификация завершающих операций при консервировании томатной пасты может быть достигнута следующим образом.

Томатная паста после выгрузки из вакуум-аппарата подогревается до температуры 93–95⁰С, расфасовывается в банки, которые после закатки поступают в камеру-выдерживатель, где обдуваются в течение 10 мин горячим воздухом, нагретым до той же температуры, что и продукт при расфасовке. Далее банки за 30–40 минут охлаждаются путем душевания холодной водой, вращаясь при этом вокруг своей продольной оси с частотой: для банки I5 – 45 об/мин, для банки I4 – 55 об/мин. Характеристика такого способа обработки томатной пасты, расфасованной в ж/б I4 и I5, представлена на рис. 5, 5.

Достоинство этого способа заключается в том, что тепловая часть установки в конструкторском отношении проще. Кроме того, время выдержки в пастеризационной части совершенно не зависит от размеров тары и, следовательно, в равной мере может относиться как к банке I4, так и к банке I5, т.е. предложенный способ является универсальным. Недостаток этого варианта связан с необходимостью подогревать уваренную при невысоких температурах в отсутствие воздуха томатную пасту до относительно высокой температуры при атмосферном давлении.

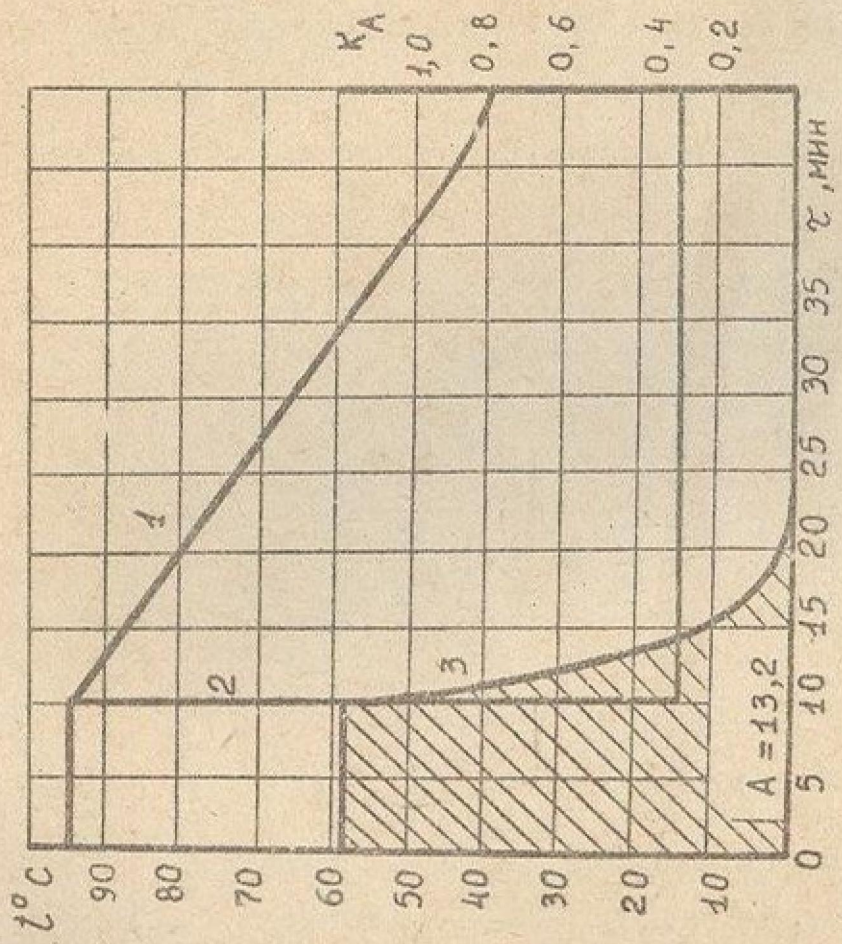


Рис. 5 Характеристика процесса непрерывной стерилизации томатной пасты в ж/б 14

1 - изменение температуры в центре банки; 2 - температура в аппарате; 3 - кривая А-эффекта

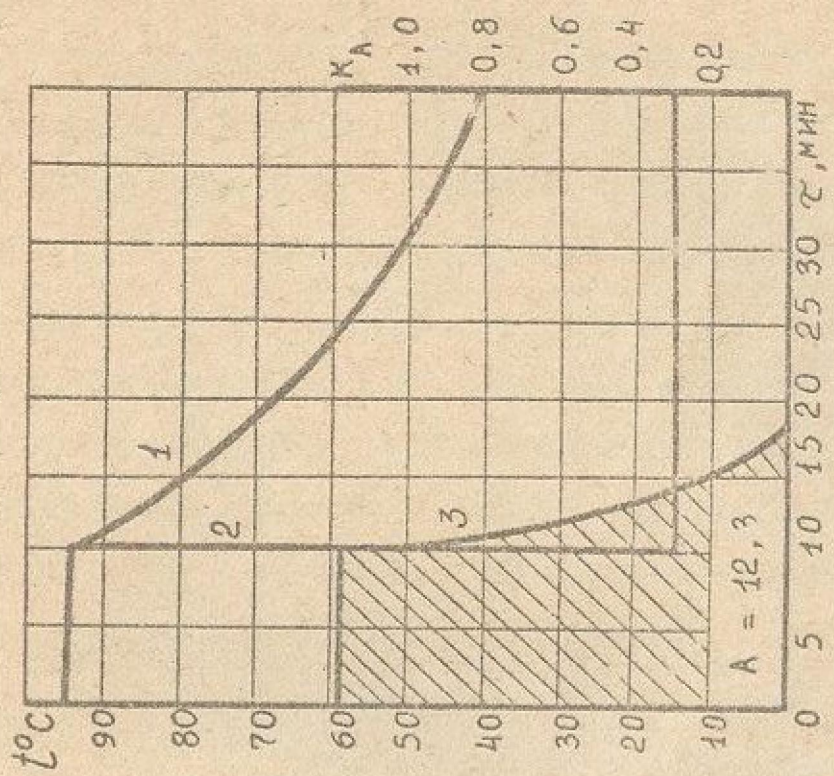


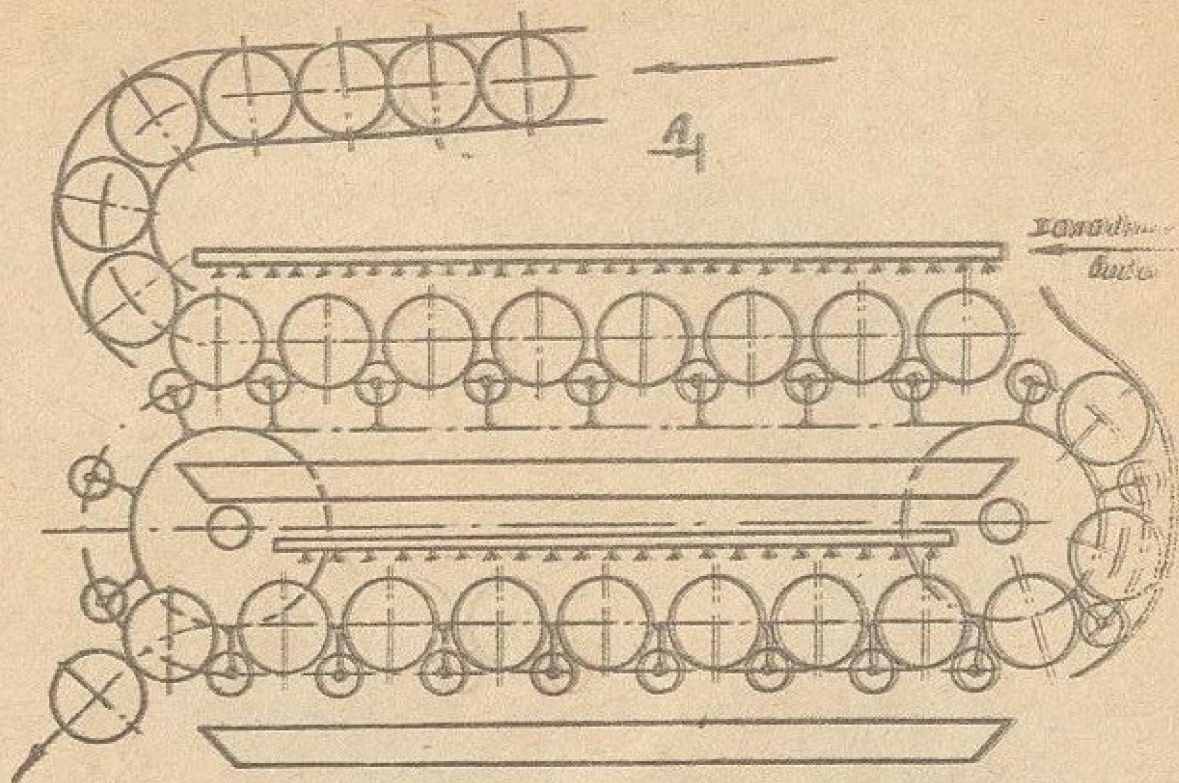
Рис. 6 Характеристика процесса непрерывной стерилизации томатной пасты в ж/б 15

1 - изменение температуры в центре банки; 2 - изменение температуры в аппарате; 3 - кривая А-эффекта

Используя принцип ротации не только для охлаждения, но и для стерилизации, можно предложить еще один способ консервирования томатной пасты, который заключается в том, что продукт расфасовывается в банки сразу после выгрузки из вакуум-аппарата, т.е. температура его после закатки не превышает $40-45^{\circ}\text{C}$. В этом случае необходимо прежде всего обеспечить быстрый подогрев томатной пасты с целью ее стерилизации, что можно осуществить лишь в тепловом аппарате ротационного типа, а затем ее интенсивное охлаждение. Поэтому укупоренные банки обрабатываются последовательно в двух секциях аппарата. В первой вращаясь они орошаются горячей водой при температуре $95-96^{\circ}\text{C}$, а во второй, вращаясь с той же частотой, охлаждаются орошением холодной водой в течение 40 мин до 40°C .

Достоинство второго способа заключается в том, что отпадает необходимость в использовании промежуточного теплового устройства между вакуум-аппаратом и пастеризатором, а процесс подогрева осуществляется в закрытой таре без доступа воздуха. Однако конструкция пастеризатора в этом случае усложняется и этот способ может быть реализован только для ж/б I4.

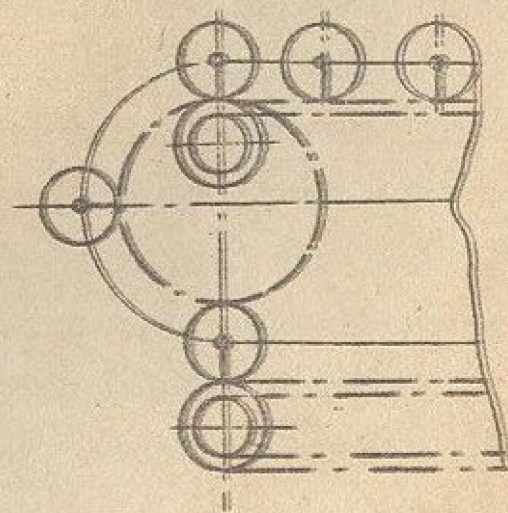
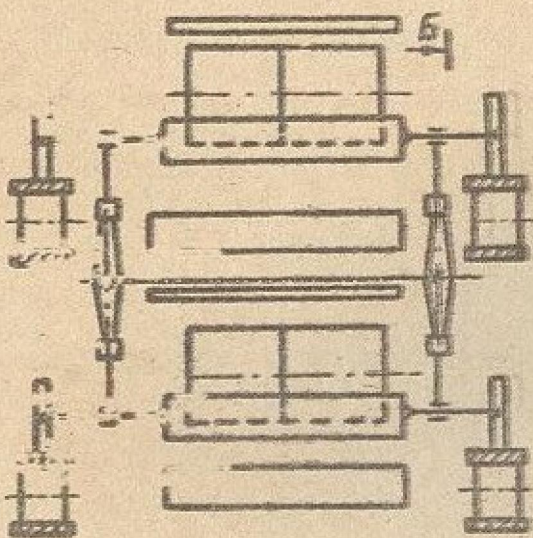
Учитывая изложенное, нами рекомендован первый способ и для его реализации разработана схема аппарата.



A₁

B-5

A-A



B₁

Рис № 7

Схема стерилизатора-охлаждителя
непрерывного действия.

На рисунке 7 представлена принципиальная схема стерилизатора-охладителя непрерывного действия обрабатывающего банки с томатной пастой по предложенному способу. Использование холостой ветви цепного транспортера носителя позволяет сократить длину аппарата.

Использование в тепловой зоне в качестве теплоносителя горячего воздуха в условиях Судана является целесообразным, так как снижает расход деионизированной воды.

На основании проведенных исследований выданы рекомендации, составлено задание на проектирование непрерывно действующего стерилизатора-охладителя и произведены предварительные технико-экономические расчеты, обосновывающие эффективность проектирования нового аппарата.

д) Сравнительная характеристика качества томатной пасты в к/б 15, стерилизованной горячим розливом и ротационным способом. Для химических исследований качества продукта, консервированного горячим розливом (контроль) и по предлагаемому способу (опыт) были одновременно заготовлены 4 банки томатной пасты, две из которых после десятиминутной выдержки при 95°C были подвергнуты интенсивному охлаждению на вальцовой установке, а две другие, установленные в общий штабель, охлаждались самопроизвольно.

Сравнительная характеристика качества этих образцов после 3-х месячного хранения приведена в таблице 5.

Как показали анализы, качество опытных образцов томатной пасты по всем показателям пищевой ценности значительно выше контрольных образцов, полученных при самопроизвольном охлаждении. Так, содержание витамина С в опытных образцах на 30% выше, чем в контрольных, которые уступают опытным

Таблица 5

Показатели качества	Единицы измерения	Контроль	Опыт
Сухие вещества	%	30	30
pH		5,05	4,95
Кислотность (в пересчете на яблочную кислоту)	%	1,98	2,00
Сахар	%	24,35	26,98
Витамин С	мг %	49,10	61,40
Каротин	мг %	1,04	1,15
Ликотин	мг %	20,16	20,16
Цветность на ФЭК (оптическая плотность) при $\lambda = 529$ нм		0,84	0,62
Оксиметилфурфурол	мг %	25,5	11,9

образцам по цветности и содержанию сахара. Интенсивность накопления оксиметилфурфурола в образцах томатной пасты, охлажденной самопроизвольно, почти в 2,5 раза выше, чем в опытных.

ВЫВОДЫ

1. Широко используемое на практике консервирование томатной пасты в крупной жестяной таре емкостью 3 и 9 кг так называемым методом "горячего розлива" характеризуется чрезвычайно длительным самопроизвольным остыванием закатанных банок на воздухе, длительность которого достигает 12-15 часов. Длительное термическое воздействие ухудшает качество продукции.

2. С микробиологических позиций стерилизация методом горячего розлива не является научно обоснованной, ибо стерилизующий эффект, "набираемый" в глубине продукта в таре (100,8 усл. мин), примерно в 10 раз превышает норму летальности ($\Lambda=10$ усл. мин,

$X = 8,3^{\circ}\text{C}$ ($T_0 = 93^{\circ}\text{C}$), в то время как периферийные слои характеризуются значением A близким к норме. Поэтому, несмотря на то, что значительная часть продукта подвергается излишней тепловой обработке, приступить к интенсификации процесса охлаждения томатной пасты в крупной жестяной таре сразу же после герметизации банок, нельзя. Необходимо в первую очередь после закатки произвести тепловую обработку до получения нужного значения стерилизующего эффекта, а затем приступать к интенсивному охлаждению.

3. Научные основы процесса стерилизации и охлаждения консервов указывают на два варианта интенсификации процесса консервирования томатной пасты в крупных жестяных банках.

По одному способу продукт, полученный путем уваривания в вакуум-аппарате при $45-50^{\circ}\text{C}$, следует подогревать перед расфасовкой до $93-95^{\circ}\text{C}$, выдержать при этой температуре в течение 10 минут, а затем стимулировать одним из известных в технике способов процесс охлаждения.

По второму варианту томатную пасту можно расфасовать и закатать при той умеренной температуре, с которой она выгружается из вакуум-аппарата, а затем, применив интенсифицирующий прием подогрева, поднять температуру в таре до 93°C , выдержать при этой температуре 10 мин, после чего быстро охладить.

Этот способ несколько сложнее первого, так как требует принять меры по интенсификации не только охлаждения, но и подогрева продукта в таре, но зато позволяет отказаться от подогрева томатной пасты в открытых условиях до высокой температуры.

4. Ротация является одним из известных в технике технологических приемов понижения термической инерции пищевых продуктов и стимулирования теплообмена. Применяя в процессе тепловой обра-

ботки томатной пасты в 3-х килограммовой жестяной банке вращение тары вокруг внешней оси с частотой 25 об/мин, можно резко интенсифицировать теплообмен, обеспечив нужную норму летальности всего лишь за 12 мин при 100°C. Тот же результат можно получить и при осевом вращении банки с частотой 55 об/мин за 20 мин.

5. Используя ротацию 3-х килограммовой жестяной банки вокруг внешней оси при оросительном охлаждении холодной водой можно резко сократить длительность этого процесса сведя его к 10 мин. Тот же результат достигается за 40 минут при осевом вращении банок с частотой 55 об/мин.

6. При консервировании томатной пасты по первому варианту, т.е. применяя прием интенсификации только к процессу охлаждения, можно довести его продолжительность до 30-40 мин, вращая банки вокруг продольной оси с частотой 45-55 об/мин. При этом процессу охлаждения должна предшествовать 10-минутная выдержка продукта, расфасованного при 93°C.

7. Качество томатной пасты в 9-ти килограммовой жестяной таре, консервированной по интенсифицированному режиму $\frac{10}{95^{\circ}\text{C}} \cdot \frac{30}{15^{\circ}\text{C}}$ заметно лучше, чем качество образцов, консервированных по существующей длительной технологии "горячего розлива".

Применение ротации в процессе охлаждения, резко снижая продолжительность теплового воздействия, позволяет получить продукт более яркой окраски с большим содержанием витамина С, чем это имеет место в томатной пасте, подвергавшейся длительному самопроизвольному остыванию на воздухе.

8. Предложена схема стерилизатора-охладителя непрерывного действия реализующего для условий Судана первый вариант по пункту 3. Доказана экономическая эффективность проектирования аппарата.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах в соавторстве:

1. Механизированная линия стерилизации и охлаждения томатной пасты в крупной таре. ЦНИИТЭИПищепром. Реферативный сборник, Консервная промышленность, выпуск 7, 1973, г. Москва.
2. Смягчение тепловой обработки при консервировании томат-пасты с помощью ротационной стерилизации. "Консервная и овощесушильная промышленность", 1974, № 2.
3. Интенсификация охлаждения томат-пасты. "Харчова промисловість", 1974, № 4.
4. Интенсификация стерилизации и охлаждения томатной пасты "Известия вузов СССР, Пищевая технология", 1974, № 5.

Подписано к печати 27.05.75 г. Формат 1/16.
Объем 2,0 п.л. Уч.изд.2,0 п.л. Бумага газетная № 2. Заказ № 144. Тир. 200 экз.

Лаборатория фотомеханической печати ОТИШ
им.М.В.Ломоносова, г.Одесса, Свердлова,112.