

Автор ерр.

М 45

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

---

Э. Г. МОЛОДЕЦКИЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ  
И ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ  
С ЦЕЛЮ ЕГО АВТОМАТИЗАЦИИ

(198 - Автоматизация производственных процессов)

Автореферат  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Одесса-1968

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Э. Г. МОЛОДЕЦКИЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ  
И ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ  
С ЦЕЛЬЮ ЕГО АВТОМАТИЗАЦИИ

(198 - Автоматизация производственных процессов)

Автореферат

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

ОНАХТ 13.09.12  
Теоретическое и эксп



v001578

Переучет 1988

Одесса-1968

v. O. B. 1578



Работа выполнена во Всесоюзном проектно-конструкторском и научно-исследовательском институте автоматизации пищевой промышленности "Пищепромавтоматика".

Научный руководитель: Доктор технических наук,  
профессор *М. Я. Дикис.*

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор *А. А. Таль.*
2. Кандидат технических наук, доцент *Б. Ф. Дикий.*

Ведущее предприятие - Центральное Конструкторское бюро  
Министерства рыбного хозяйства СССР,  
г. Калининград.

Автореферат разослан "12" ноября 1968 г.

Защита диссертации состоится "13" января 1968 г.  
на заседании совета Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах присылать по адресу: г. Одесса-39, ул. Свердлова, 112 - Технологический институт имени М.В. Ломоносова.

Ученый секретарь совета

*Л. А. Запорожец*

## В В Е Д Е Н И Е

Директивами XXIII съезда партии предусмотрено увеличение за 1966-1970 годы производства продукции пищевой промышленности в 1,4 раза, а также повышение питательных и вкусовых свойств продуктов, расширение их ассортимента и улучшение внешнего оформления. За пятилетие выпуск консервов должен возрасти с 7 до 13+13,5 млрд. условных банок, т.е. в 1,85+1,93 раза.

Успешное решение этих задач предполагает интенсификацию и автоматизацию технологических процессов. При массовом производстве консервов важнейшим фактором является гарантия качества продукции, исключающая её ревизию и разбраковку - этапы, характеризующие нашу неуверенность в том, как процессы, определяющие качество продукции, справляются со своей задачей. В числе процессов, определяющих качество консервов, особое место занимает тепловая стерилизация - важнейший завершающий этап производства.

Поэтому закономерным является постоянное совершенствование технологии и оборудования для стерилизации. Однако достижения в этих областях в полной мере могут быть реализованы промышленностью при условии совершенствования также управления процессом стерилизации.

Известно, что основной задачей процесса тепловой стерилизации консервов является уничтожение микроорганизмов и подавление активности ферментов (фактор кулинарной готовности может рассматриваться как одно из ограничений).

Увеличение эффекта теплового воздействия на продукт — стерилизующего эффекта — дает повышение гарантии стерильности продукта, однако, при прочих равных условиях, снижает технико-экономические показатели производства: увеличивает расход энергоносителя, уменьшает производительность участка стерилизации, иногда снижает пищевую ценность продукта.

Поэтому естественно стремление выполнить задачу стерилизации достижением минимально допустимой величины стерилизующего эффекта (с учётом необходимого запаса надёжности). Но, поскольку нестационарный тепловой режим продукта в процессе стерилизации характеризуется многими переменными величинами, то минимально допустимый стерилизующий эффект может быть достигнут при различных вариантах сочетания значений этих переменных.

В этих условиях целью управления процессом стерилизации является достижение наиболее выгодного варианта по какому-либо критерию, например, по минимальному расходу энергоносителя, максимальной производительности, минимальным потерям от брака и др.

В общей задаче управления процессом стерилизации объём неавтоматического управления непрерывно уменьшается. Сегодня уже не требует доказательства целесообразность возложения функции контроля и регулирования температуры и давления при стерилизации на автоматические устройства. Неавтоматическое управление процессом при этом заканчивается на стадии разработки программ либо способов программирования температуры и давления. Реализация программ должна выполняться системой автоматического регули-

рования (САР). При этом целью автоматического управления должна быть минимальная ошибка в формировании и реализации этих программ.

В последние годы созданию средств автоматизации процесса стерилизации уделяли большое внимание ряд организаций (Всесоюзный научно-исследовательский институт консервной и овощесушильной промышленности, Белорусский научно-исследовательский институт пищевой промышленности, институт "Пищепромавтоматика", "Оргпроекттехмонтаж", Ленинградский институт пищевой промышленности и др.), а также отдельные изобретатели: А.Н.Бабанков, Н.П.Губанко, П.И.Жилин, П.В.Зеленков, Н.И.Плахов, Р.И.Филиппович и др. Предложены оригинальные конструкции и схемы, которые, однако, решают только частные вопросы автоматического управления процессом стерилизации.

Зарубежные фирмы, опираясь на мощную приборостроительную базу, комплектуют САР процесса стерилизации, представляющие пеструю картину в части использования различных законов регулирования, принципов управления и средств автоматизации.

Общий недостаток этих САР (отечественных и зарубежных) — слабая увязка используемых в них способов программирования температуры и давления, а также законов регулирования температуры и давления с технологическими основами стерилизации и динамическими свойствами стерилизационного оборудования.

Поэтому назрела необходимость более глубокого исследования вопросов автоматического управления процессом стерилизации с использованием достижений в области технологии и оборудования.

Настоящая работа посвящена решению ряда задач управления процессом стерилизации консервов, которые в совокупности являются научной основой для последующей автоматизации процесса.

Ниже перечислены основные задачи исследований.

1. Выбор обобщенной оценки (критерия), характеризующей качество работы САР, и исследование количественной связи между ней и параметрами, характеризующими тепловой режим стерилизации.

Исследование и выбор для определенного ассортимента консервов максимально допустимых отклонений параметров, определяющих тепловой режим стерилизации, от их номинальных значений.

2. Разработка математического описания процесса тепловой стерилизации, устанавливающего зависимость изменения регулируемых параметров (температуры и давления) от возмущающих и управляющих воздействий.

3. Исследования и разработка научно обоснованных способов и устройств для программирования температуры и давления в стерилизационном аппарате.

4. Исследование и обоснование выбора законов регулирования температуры и давления.

Работа выполнена в институте "Пищепромавтоматика". Экспериментальные исследования и производственные испытания проводились на Одесском консервном комбинате, Балтийском рыбоконсервном комбинате в гор. Светлом Калининградской области, рыбоконсервном заводе в гор. Белгород-Днестровский Одесской области.

Работа содержит 220 страниц текста, II таблиц, 72 рисунка и 3 приложения.

## I. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ

Первая глава посвящена сравнительному анализу отечественных и зарубежных систем автоматического регулирования (САР) процесса стерилизации консервов и постановке задачи исследований. Анализ проведен путём рассмотрения основных выполняемых функций САР, что позволяет сравнивать разнотипные системы, независимо от их конструктивного исполнения.

В работе показано, что отечественным и зарубежным САР присущи серьезные недостатки принципиального характера.

Такое положение приводит к тому, что эффективность автоматизации путём применения существующих САР не обеспечивает возрастающих требований интенсификации процесса стерилизации и повышения качества продукции.

Анализ сделан сопоставлением технических данных схем и средств с исследованиями в области технологии процесса отечественных и зарубежных авторов (Б.Л. Флауменбаума, В.З. Жадана, Ф.И. Когана, И.С. Кагана, М.Я. Рабинера, Болла, Риги, Хейса и др.).

В заключение сформулированы задачи исследования.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ  
ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА СТЕРИЛИЗАЦИИ

Во второй главе проведены исследования, позволяющие обоснованно выбрать класс точности приборов, обеспечивающих заданный тепловой режим стерилизационного аппарата.

Программа изменения температуры, определяющая нестационарный тепловой режим рабочей среды стерилизационного аппарата, задается рядом следующих параметров:

$t_{cm}$  - температура рабочей среды в период собственно стерилизации,

$t_0$  - температура рабочей среды в начале цикла стерилизации,

$t_k$  - температура рабочей среды в конце цикла стерилизации,

$\tau_n$  - время (нагрева) изменения температуры рабочей среды, окружающей банку от  $t_0$  до  $t_{cm}$ , в предположении, что это изменение происходит по линейному во времени закону,

$\tau_0$  - время (охлаждения) изменения температуры рабочей среды, окружающей банку от  $t_{cm}$  до  $t_k$ , в предположении, что это изменение происходит по линейному во времени закону,

$\tau_{cm}$  - время (стерилизации) нахождения банки в среде с температурой  $t_{cm}$ .

Известно, что фактические значения этих параметров могут отличаться от номинальных значений на величину погрешности, присущей данной системе.

Необоснованное снижение погрешности усложняет и удорожает САР, увеличение погрешности снижает эффективность управления

процессом. В основу компромиссного выбора погрешности следует положить критерий, учитывающий, что не каждый в отдельности из перечисленных параметров, а только их совокупность определяет эффект тепловой обработки.

Таким критерием нами выбран стерилизующий эффект  $F$ , получивший в СССР широкое применение и развитие в трудах Б.Л.Флауменбаума.

Величина  $F$ , определяемая формулой

$$F = \int_0^{\tau} k_F(t_n) dt, \quad (1)$$

где  $k_F(t_n)$  - относительная смертельная скорость при температуре продукта  $t_n$ ;

$\tau$  - время,

отражает долю уничтоженных микроорганизмов от их первоначального количества в продукте.

В работе показано, что изменение температуры  $t_n$  в центре реальной банки, где тепло распространяется совокупным влиянием конвекции и теплопроводности, может быть приближенно описано дифференциальным уравнением:

$$\tau_s \frac{dt_n}{dt} + t_n = t_a (\tau - \tau_z), \quad (2)$$

где  $\tau_s$  - постоянная времени банки, сек;

$t_a$  - температура рабочей среды стерилизационного аппарата, °C;

$\tau_z$  - время запаздывания, сек.

$T_5$  и  $\bar{t}_z$  - теплофизические параметры банки с продуктом.

Показано, что все рассмотренные переменные ( $t_{cm}; t_o; t_k;$   
 $\bar{t}_n; \bar{t}_{cm}; \bar{t}_o; T_5; \bar{t}_z; t_{no}$ ) являются независимыми случайными величинами с нормальным законом распределения, математические ожидания которых равны их номинальным значениям.

Выражение, устанавливающее связь между максимальным отклонением стерилизующего эффекта  $\Delta F_{max}$  от заданного значения и составляющими дисперсии стерилизующего эффекта:

$$\left(\frac{\Delta F_{max}}{3}\right)^2 = \sigma^2(CAP) + \sigma^2(b), \quad (3)$$

где  $\sigma^2(CAP)$  - составляющая дисперсии стерилизующего эффекта, обусловленная влиянием переменных группы параметров процесса  $X_{ni}$ , определяемых работой CAP ( $t_{cm}; t_o; t_k; \bar{t}_{cm}; \bar{t}_n; \bar{t}_o$ );  
 $\sigma^2(b)$  - составляющая дисперсии стерилизующего эффекта, обусловленная влиянием переменных группы внутренних возмущений (помех) процесса  $X_{bi}$  ( $T_{5i}; \bar{t}_{zi}; t_{no}$ );

$$\sigma^2(CAP) = \sum_1^6 \left(\frac{\partial F}{\partial X_{ni}}\right)_{ном}^2 \sigma^2(X_{ni}), \quad (4)$$

$$\sigma^2(b) = \sum_1^3 \left(\frac{\partial F}{\partial X_{bi}}\right)_{ном}^2 \sigma^2(X_{bi}), \quad (5)$$

$\sigma^2(X_{ni})$ ,  $\sigma^2(X_{bi})$  - дисперсии переменных групп параметров и возмущений;

$\left(\frac{\partial F}{\partial X_{ni}}\right)_{ном}$ ;  $\left(\frac{\partial F}{\partial X_{bi}}\right)_{ном}$  - частные производные стерилизующего эффекта по переменным группам параметров и возмущений в области номинальных значений этих переменных.

Конечная цель исследований, приведенных во II главе - компромиссный выбор максимальных отклонений параметров, - чтобы при определенных значениях величин  $\sigma^2(b)$  и  $\Delta F_{max}$  удовлетворить условию (3).

Для этого в работе определены:

- Дисперсии переменных группы возмущений ( $T_5, \bar{t}_z, t_{no}$ ),
- Коэффициенты  $g_i = \left(\frac{\partial F}{\partial X}\right)_{ном}$

Величины  $T_5$  и  $\bar{t}_z$  определены путем сопоставления решения уравнения (2) относительно  $t_n$  с экспериментальной зависимостью.

$$t_n = f(\tau) \quad (7)$$

при одинаковых начальных условиях и законе изменения температуры рабочей среды в стерилизационном аппарате.

Выбран следующий ассортимент консервов:

- Зеленый горошек в банке 83-I.
- Перец фаршированный в томатном соусе в банке 83-I.
- Икра баклажанная в банке 83-I и №12.

Температура в центре банки измерялась хромель-копелевыми термопарами (в 5 банках) в период процесса стерилизации в двух-

корзиночном вертикальном автоклаве. Для каждого вида продукта проведено 4 варки, т.е. получено 20 реализаций зависимости

$$t_n = f(\tau).$$

Каждому экспериментальному графику -2 (рис.1) зависимости (7) соответствует теоретический график -3 (решение уравнения (2)). Путем моделирования уравнения (2) на электронной модели типа ЭМУ подбирали такие значения величин  $\tau_\delta$  и  $\tau_z$ , при которых минимизировался критерий близости теоретического и экспериментального графиков:

$$J_{\Delta F} = \int |k_F(t_{n\bar{a}}) - k_F(t_{n\bar{m}})| d\tau, \quad (6)$$

$t_{n\bar{a}}$  и  $t_{n\bar{m}}$  - значения температуры, соответствующие теоретическому и экспериментальному графикам (2 и 3 на рис.1).

В работе приведены номинальные значения (математические ожидания)  $\tau_\delta$  и  $\tau_z$ , а также их дисперсии, полученные в результате статистической обработки результатов эксперимента и моделирования.

Для нахождения коэффициентов  $g_i$  определяли применительно к выбранному ассортименту консервов и режимам стерилизации зависимости

$$F = f(x_i)$$

в области номинального значения  $x_i$  при номинальных значениях ( $n - 1$ ) остальных параметров. Это выполнялось с помощью (рис.2) электронной модели, состоящей из блоков аналоговых

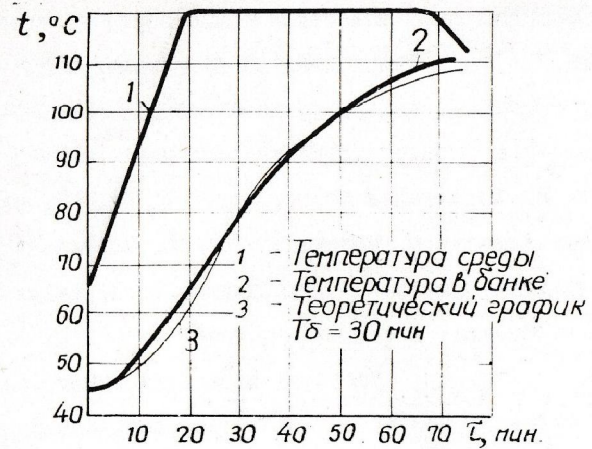


Рис.1. К определению постоянной времени.

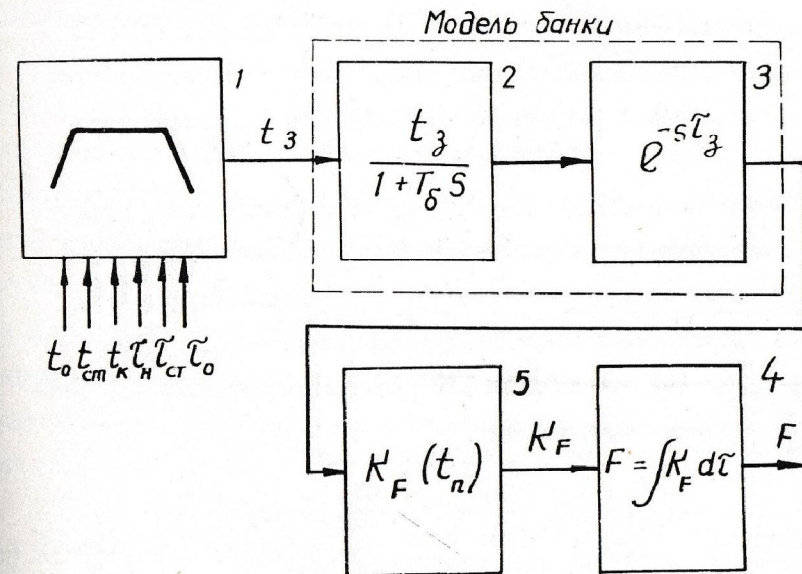


Рис.2. Электронная модель для определения коэффициентов  $g_i$ .

машин МНБ-1 и ЭМУ-3. Программа изменения температуры в стерилизационном аппарате  $t_3(t)$  формировалась программирующим устройством I в соответствии с заданным режимом стерилизации. Температура в банке  $t_{nm}(t)$  формировалась инерционным звеном 2 и блоком запаздывания 3. Переменный коэффициент  $K_F(t_n)$  вырабатывался блоком нелинейностей 4. Величина  $F$  вырабатывалась интегратором 5; значения  $T_8$  и  $T_z$ , найденные экспериментально, устанавливались на звеньях 2 и 3.

Зависимость  $F = f(x_i)$  получали вариацией одного из параметров  $x_i$  в области его номинальных значений. Коэффициенты  $q_i$  определяли графическим дифференцированием зависимости

$$F = f(x_i).$$

На базе результатов исследований по пунктам а) и б) в работе проведен сравнительный анализ влияния отклонений различных параметров и возмущений на отклонение стерилизующего эффекта.

Среднее квадратическое отклонение стерилизующего эффекта  $\sigma(\ell)$ , обусловленное вариацией теплофизических свойств продукта (главным образом величиной  $T_8$ ), составляет 9%. Если задаться допустимым максимальным отклонением стерилизующего эффекта  $\Delta F = 50\%$ , то на долю САР приходится согласно (3) среднее квадратическое отклонение

$$\sigma(\text{САР}) \leq \sqrt{\left(\frac{\Delta F_{\max}}{3}\right)^2 - \sigma^2(\ell)} \leq 14\%. \quad (7)$$

Исходя из технических данных общепромышленных средств автоматизации, в работе проведен выбор значений средних квадра-

тических отклонений переменных группы параметров режима стерилизации таким образом, чтобы удовлетворить условие (3).

Выбранное значение  $\sigma(\text{САР})$  составляет 8%. Результирующее максимальное отклонение стерилизующего эффекта с учётом приведенных выше значений  $\sigma(\text{САР})$ ,  $\sigma(\ell)$ , а также статической ошибки и ошибки по заданию ( $0,5^\circ\text{C}$ ) составляет 36%. При этом в идеальной САР максимальное отклонение стерилизующего эффекта составит  $3\sigma(\ell) = 27\%$ , что обусловлено только вариацией теплофизических параметров продукта.

### III. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СТЕРИЛИЗАЦИОННОГО АППАРАТА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Третья глава посвящена вопросам математического описания (М.О.), устанавливающего зависимость изменения температуры и давления от управляющих и возмущающих воздействий в стационарном и нестационарном режиме работы стерилизационного аппарата (в статике и динамике). На базе теоретических и экспериментальных зависимостей, входящих в математическое описание, приведен анализ стерилизационного аппарата как объекта автоматического регулирования. В основу м.о. положены уравнения теплового баланса в дифференциальной форме в соответствии с первым началом термодинамики, уравнение материального баланса среды, входящей и выходящей из аппарата, уравнение состояния газа и закон Дальтона для смеси газов.

Сделан ряд основных допущений:

- а) коэффициенты теплоотдачи, коэффициенты теплопроводности тел, удельная теплоёмкость, удельный вес тел не меняются в рабочем диапазоне изменения их температуры;

б) банка с продуктом, рабочая среда, в которой находятся банки, стальной корпус аппарата являются тепловыми звеньями с сосредоточенными параметрами. Это значит, что во всех точках этих тел либо конечных участков их объёма температура в каждый момент времени одинакова. Только в режиме охлаждения подачи воды в нижнюю часть аппарата рабочая среда является звеном с распределенными параметрами;

в) давление во всех точках объёма аппарата либо его секции в каждый момент времени одинаково;

г) при составлении м.о. учтены также особенности конструкции современных тепловых стерилизационных аппаратов, в соответствии с которыми можно пренебречь работой внешних сил, действующих над единицей объёма рабочей среды.

Для аппарата периодического действия с наиболее распространённым подогревателем смешения - барботёром уравнение теплового баланса для режимов нагрева и собственно стерилизации принимает вид:

$$C_i \frac{d}{dt} M_i t_i = \sum m_i J_i + \sum Q_{np} - \sum Q_{cm}, \quad (8)$$

где  $M_i$  - масса тела (в том числе и рабочей среды), кг с температурой  $t_i$ , °C;

$C_i$  - удельная массовая теплоёмкость, Дж/кг.град;

$m_i$  - массовый расход энергоносителя, кг/сек с удельной энтальпией  $J$ , Дж/кг;

$Q_{np}$ ;  $Q_{cm}$  - тепловые потоки притока и стока, Вт.

Применительно к различным тепловым звеньям, находящимся в аппарате, на базе выражения (8) получены уравнения для случая паровой и водяной рабочих сред (см. таблицу I).

27 Oct 1959

Таблица I

№ уравнений	Тепловое звено		Рабочая среда	
	Паровая	Водяная	Паровая	Водяная
1	Банка с продуктом		$T_b \frac{dt_b}{dt} + t_s = t_n$	$T_b \frac{dt_b}{dt} + t_s = t_b$
2	Стальной корпус аппарата		$T_c \frac{dt_c}{dt} + t_c = Ct_n + Dt_k + Et_{oc}$	$T_c \frac{dt_c}{dt} + t_c = Ct_b + Dt_{nb} + Et_{oc}$
3	Паровая рабочая среда		$T_n \frac{dt_n}{dt} + t_n = J \int (m_1 - m_3) G t_s + K t_k$	—
4	Водяная рабочая среда		—	$T_b \frac{dt_b}{dt} + t_b = P(m_1 + m_2) C t_2 - m_3 C t_b + m_4 C t_4 - m_{nb} J_{nb} + X t_{nb} + Y t_c + Z t_s$
5	Конденсат		$T_k \frac{dt_k}{dt} + t_k = A t_n + B t_c$	—
6	Первоздушная среда		—	$T_{nb} \frac{dt_{nb}}{dt} + t_{nb} = Z t_b + M t_c$

✓ 0.0.1578

Обозначения, принятые в таблице I.

$T_{\delta}; T_c; T_n; T_e; T_k; T_{nc}$  - постоянные времени звеньев, сек(мин);  
 $t_{\delta}; t; t_n; t_e; t_k; t_{nc}$  - температуры, соответствующие звеньям

$t_2$  - температура охлаждающей воды, °C;

$t_{oc}$  - температура окружающей (аппарат) среды, °C;

$t_4$  - температура газа (воздуха), подаваемого в аппарат;

$m_1; m_2; m_4; m_3; m_{nc}$  - удельные массовые расходы соответственно: пара, воды, газа (воздуха) в аппарат; воды, паровоздушной среды из аппарата, кг/сек;

$C_1, C_2$  - удельная массовая теплоёмкость соответственно: воды и газа (воздуха), Дж/кг, град.;

A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M - коэффициенты, зависящие от коэффициентов теплоотдачи, геометрических размеров аппарата и других параметров.

Большая часть постоянных времени и коэффициентов, входящих в уравнения таблицы I, - величины переменные, зависящие от температуры рабочей среды, уровня заполнения аппарата и других параметров процесса.

Для практического использования вышеприведенных уравнений необходимо располагать численными значениями постоянных времени и коэффициентов A, B, C...M.

Для этого экспериментальным и расчётным путем определены входящие в них коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Эксперименты проводились в производственных условиях на промышленном двухкорзиночном автоклаве.

Значение  $\alpha_{co}$  определено в стационарном режиме работы аппарата, когда все тепло, подведенное паром, расходуется на покрытие потерь в окружающую среду. При этом измеряем массовый расход насыщенного пара.

В итоге получено значение  $\alpha_{co} \approx (10 + 13) \text{ вт/м}^2 \text{ град.}$

Аналогично определено значение  $\alpha_{nc}$ . Разность температур  $(t_n - t_c)$  измерялась дифференциальной хромель-копелевой термопарой.

$\alpha_{nc} \approx 10000 \text{ вт/м}^2 \text{ град.}$

Определение постоянных времени банок разного размера с различными видами продукта приведено путем сопоставления экспериментальных зависимостей изменения температуры водяной рабочей среды аппарата от времени с теоретическими, являющимися решением дифференциального уравнения типа (8) для определенных начальных условий. В качестве оптимальной постоянной времени принимали такое её значение, при котором минимизировался критерий близости теоретических  $t_m(\tau)$  и экспериментальных  $t_2(\tau)$  зависимостей:

$$J_{\Delta u} = \int_0^{\tau} |t_m(\tau) - t_2(\tau)| d\tau. \quad (9)$$

Этот критерий представляет собой абсолютное значение разности количеств тепла, которое поглотилось рабочей средой аппарата:

- а) при загрузке аппарата реальными банками;  
 б) при загрузке аппарата банками с постоянной времени  $T_{\delta i}$ .

Давление в стерилизационном аппарате  $P$  равно сумме парциального давления насыщенного водяного пара  $p(t_n)$  при температуре  $t_n$  и парциального давления газа (воздуха) при температуре  $t_e$ .

Для значения  $P_e$  получена следующая зависимость в дифференциальной форме:

$$\frac{R}{P_e} \left( t_e \frac{dG}{dt} + G_e \frac{dt_e}{dt} - \frac{G_e t_e}{P_e} \cdot \frac{dP_e}{dt} \right) = \sum m_i \frac{1}{P_e} \quad (10)$$

в интегральной форме:

$$P_e = \frac{1,41 \cdot 10^{-4} \int (m_4 - m_{3II}) dt + G_0}{V_0 - 3,16 \cdot 10^{-3} \frac{1}{P_e} \int (m_1 + m_2 - m_{3I}) dt} R_e t_e, \quad (11)$$

где  $R_e$  - газовая постоянная, дж/кг, град.,  
 $G_e; G_0$  - масса воздуха в аппарате - текущее и начальное значение, кг,

$V_0$  - начальный незаполненный водой и банками объем аппарата, м<sup>3</sup>,

$\rho_e$  - удельный вес воды, кг/м<sup>3</sup>,

$m_1; m_2; m_3$  - массовые расходы, кг/сек,

$m_{3II}, m_4$  } пара, охлаждающей воды в аппарат,  
 воды из аппарата,

воздуха из аппарата, воздуха в аппарат,

$$m_1 = 1,41 \cdot 10^{-4} \xi_1 C_1 \sqrt{P_1 - P} \leq 1,41 \cdot 10^{-4} \xi_1 C_1 \sqrt{0,52 P_1}, \text{ кг/сек,}$$

$$m_2 = 3,16 \cdot 10^{-3} \xi_2 C_2 \sqrt{P_2 - P}, \text{ кг/сек,}$$

$$m_{3I} = 3,16 \cdot 10^{-3} \xi_3 C_3 \sqrt{P - 10^5}, \text{ кг/сек,}$$

$$m_{3II} = 1,41 \cdot 10^{-4} \xi_3 C_3 \sqrt{P - 10^5}, \text{ кг/сек,}$$

$$m_4 = 1,41 \cdot 10^{-4} \xi_4 C_4 \sqrt{P_4 - P}, \text{ кг/сек,}$$

$C_1; C_2; C_3; C_4$  - пропускные способности регулирующих органов,

$\xi_1; \xi_2; \xi_3; \xi_4$  - степени открытия регулирующих органов.

Составляющая давления  $p_n(t_n)$  безынерционно следует за изменениями температуры в паровоздушном пространстве аппарата.

При подаче холодной воды в нижнюю часть аппарата конденсация паров происходит в результате соприкосновения с её поверхностью  $S_e$  при температуре  $t_e$ .

В работе показано, что скорость снижения давления может быть определена по формуле:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{J_1 V K(P_n)} \left( \frac{dU}{dt} - \frac{U}{V} \frac{dV}{dt} - \frac{U}{K(P_n)} \cdot \frac{dK(P_n)}{dt} \right), \quad (12)$$

где

$$K(P_n) = \frac{P_n}{P_n}; \quad \frac{dU}{dt} = \alpha_{ne} (t_n - t_e) S_e, \quad (13)$$

$P_n$  - удельный вес пара кг/м<sup>3</sup>,

$U$  - энергия, заключенная в объеме

парового пространства аппарата, дж.

$J_1$  - удельная энтальпия пара, дж/кг.

В работе проведен теоретический анализ способов подачи воды в нижнюю и верхнюю часть аппарата, с точки зрения экономии расходования воды при охлаждении.

Показано, что способ подачи воды снизу экономичнее.

При подаче холодной воды в верхнюю часть аппарата ( в целях снижения неравномерности охлаждения нижних и верхних слоев банок) через разбрызгивающее устройство конденсация паров происходит на многочисленных струях. Скорость снижения давления при этом определена только экспериментально для различных значений расхода воды  $m_2$  (рис.3).

С помощью полученных теоретических и экспериментальных зависимостей определены коэффициенты передачи - частные производные температуры и давления по различным управляющим и возмущающим воздействиям. Они характеризуют относительное влияние каждого из воздействий на регулируемые параметры.

На базе математического описания определены пропускные способности регулирующих органов, исходя из требований обеспечения максимальной скорости изменения температуры в режиме нагрева и охлаждения.

Показано, что пропускные способности сливного ( $C_3^1$ ) и водного ( $C_2^1$ ) клапанов связаны зависимостью

$$C_3 = C_2 \sqrt{\frac{P_k - P_2}{0,9810^5 - P_k}}, \quad (I4)$$

где  $P_k$  - давление в аппарате при полном открытии указанных клапанов ( в конце режима охлаждения).

#### IV. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Четвертая глава посвящена вопросам обоснования целесообразных способов формирования законов изменения давления и температуры в стерилизационном аппарате, а также устройств для их реализации.

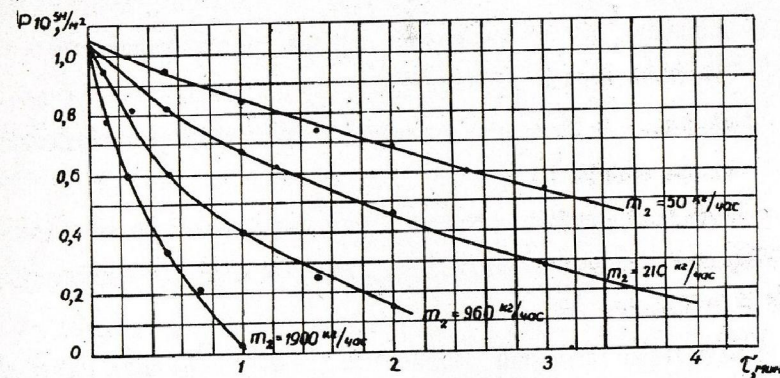


Рис. 3. Изменение давления в автоклаве при охлаждении подаетей воды сверху.

"Идеальная" программа изменения давления предусматривает в каждый момент времени равенство давлений в аппарате и банке, что особенно важно для стеклянной тары, где прочность соединения крышки с банкой значительно меньше, чем в жестяной таре. Однако, в аппарате одновременно стерилизуется несколько сот или тысяч банок и развивающиеся в них значения давления могут отличаться между собой из-за влияния многочисленных факторов - степени наполнения, начальной температуры продукта и др. Поэтому задачу программирования давления можно решить только компромиссно - так, чтобы вектор перепада давлений в банке и аппарате не превышал допустимой величины.

В работе показано, что оптимальная программа изменения давления  $P$  в аппарате может быть представлена решением уравнения:

$$T_{\delta p} \frac{dP}{dt} + P = K (t - t_0), \quad (I5)$$

где  $T_{\delta p}$  - постоянная времени банки по давлению;

$P_{cm}$  - давление в установившемся режиме стерилизации при установившейся температуре;

$$K = \frac{P_{cm}}{t_{cm} - t_0} \quad (16)$$

$t; t_0$  - текущее и начальное значение температуры в стерилизационном аппарате.

Постоянный коэффициент "К" может быть вычислен по данным существующих режимов стерилизации, где указаны все параметры, входящие в выражение (16).

Определение значений постоянных времени  $T_{\delta p}$  для различных видов консервов выполнено путем сопоставления экспериментальной зависимости  $P_{\delta \partial} = f(t)$ , изменения давления в банке при стерилизации с решением уравнения  $P_{\delta m} = f(t)$  для определенного значения  $T_{\delta p}$ .

В качестве критерия близости теоретических и экспериментальных зависимостей принят критерий минимума интегральной квадратичной ошибки

$$J_p = \int (P_{\delta m} - P_{\delta \partial})^2 dt, \quad (17)$$

а также условие:

$$\Delta P_n < |P_{\delta m} - P_{\delta \partial}| < \Delta P_e. \quad (18)$$

т.е. перепад давления по теоретической и экспериментальной зависимости не должен выходить из определенных пределов - верхнего -  $\Delta P_e$  и нижнего -  $\Delta P_n$ .

$$\Delta P_n = -0,2 \times 10^5, \text{ н/м}^2;$$

$$\Delta P_e = 0,4 \times 10^5, \text{ н/м}^2;$$

$\Delta P_e$  - величина доверительного интервала среднего критического давления срыва крышки.

Использованные нами экспериментальные зависимости  $P_{\delta \partial} = f(t)$  получены в Украинском научно-исследовательском институте консервной промышленности. Подбор значений оптимальных постоянных времени  $T_{\delta p}$  по критерию (17) и условию (18) проведен нами с использованием электронной модели (рис. 4).

Модель банки, согласно уравнению (15), собрана на базе интегрирующего блока 3, на выходе которого действует напряжение  $U_p$ , представляющее в определенном масштабе величину давления  $P_{\delta m}(t)$ . Программа изменения температуры  $k(t-t_0)$  вырабатывается блоком 2 и подается на вход интегрирующего блока 3. Координата времени вырабатывается интегратором I в виде линейно растущего напряжения  $U_n$  и подается на вход блоков 2 и 5. Окончание программы реализуется с помощью реле отключения P0 при достижении величины напряжения на выходе интегратора I, равного напряжению нулевых условий. Команда на срабатывание P0 выдается блоком сравнения 4. На блоке 5 набрана экспериментальная зависимость  $P_{\delta \partial} = f(t)$ . Сумматор 6, квадратор 7 и интегратор 8 производят вычисление критерия  $J_p$ , согласно выражению (17).

Найденные и приведенные ниже в табл.2 оптимальные значения  $T_{\delta p}$  соответствуют режиму нагрева и собственно стерилизации. Для режима охлаждения значение постоянной времени всех видов консервов близко к нулю, т.е. при охлаждении давление в банке практически безынерционно следует за изменениями температуры рабочей среды. Если выбрать одно компромиссное значение постоянной времени  $T_k = \frac{1}{2} T_{\delta p}$  для всех периодов цикла стерилизации, то величина  $\Delta P_e$  увеличится до значения  $0,7 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ .

Преимуществом предложенного способа формирования программы изменения давления является то, что в основе его лежит связь давления в аппарате с температурой рабочей среды.

Таблица 2

№ пп:	В и д к о н с е р в о в	$T_{\delta p}$ , мин
1.	Тушенка говяжья в банке СКО-83-1	12
2.	Перец фаршированный в банке СКО 83-1	12
3.	Икра кабачковая в банке СКО 83-1	12
4.	Борщевая заправка в банке СКО 83-2	12
5.	Томаты консервированные в банке СКО 83-2	10
6.	Острый соус в банке 83-2	6

Все отклонения фактической температуры от своей программы вызывают соответствующие изменения в программе давления, что особенно важно для режима охлаждения.

Для выяснения возможности практического применения указанного способа определено количественное влияние отклонения  $\Delta T$  постоянной времени  $T_{\delta p}$  от её оптимального значения на перепад давления

$$\Delta P = P_1(T_1) - P_2(T_2),$$

Для этого определили в общем виде решения относительно уравнения (15), правая часть которого представлена трапецидальным графиком изменения температуры. Определили частную производную  $\frac{\partial P}{\partial T}$ , а затем умножением на отклонение  $\Delta T$  нашли отклоне-

ние  $\Delta P$ . Исследуя это выражение на экстремум, определили значение времени  $\tau^*$ , которому соответствует максимальное отклонение  $\Delta P_{\max}$

$$\tau = \frac{\tau_n}{1 - \exp\left(-\frac{\tau_n}{T_{\delta p}}\right)}. \quad (19)$$

Для рабочего диапазона значений  $\tau_n$  и  $T_{\delta p}$

$$\tau^* \approx \tau_n,$$

т.е. максимальный перепад давлений наступает к концу времени нагрева.

Максимальное относительное значение перепада давления связано с относительным отклонением постоянной времени  $\varepsilon_T$  выражением

$$\varepsilon_{P_{\max}} = \varepsilon_T \frac{(T_{\delta p} + \tau) \exp\left(-\frac{\tau_n}{T_{\delta p}} + T_{\delta p}\right)}{\tau_n}, \quad (20)$$

где  $\varepsilon_P = \frac{\Delta P}{P}$ ;  $\varepsilon_T = \frac{\Delta T}{T}$ .

Для консервов с малой постоянной времени (в пределах 5 минут) при времени нагрева выше 15 минут

$$\varepsilon_{P_{\max}} \approx \varepsilon_T \frac{T_{\delta p}}{\tau_n},$$

т.е. относительное отклонение давления во столько раз меньше относительного отклонения постоянной времени, во сколько раз время нагрева больше постоянной времени.

При существующих режимах стерилизации и не очень густых продуктах ( $T_{\delta p} = 5 + 12$  мин) в среднем на 3 процента отклонения постоянной времени происходит отклонение максимального перепада давления на один процент. Это свидетельствует о хорошей помехоустойчивости предложенного способа программирования давления при его практическом использовании.

В работе показано, что наиболее простым устройством для формирования программы давления является пневматическое инерционное звено с глухой камерой  $V$ , процесс изменения давления в которой описывается дифференциальным уравнением:

$$T_n \frac{dP_{\text{вых}}}{dt} + P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}}, \quad (21)$$

где  $T_n$  — постоянная времени инерционного звена.

Если на вход звена подать сигнал  $K(t-t_0)$ , то давление  $P_{\text{вых}}$  будет решением уравнения (21), т.е. программой изменения давления.

В работе проведен анализ влияния на точность формирования программы температуры окружающей среды и нелинейности дросселя инерционного звена. Применительно к существующим режимам стабилизации и диапазону нормированного пневматического сигнала Государственной системы приборов ( $0,2 - 1,0$  кгс/см<sup>2</sup>) максимальная ошибка программы, вызванная нелинейностью уравнения (21), не превысит 6,5%, а с учетом влияния температуры — 7,5%. Для режима стерилизации с максимальным давлением  $2,5 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup> это составит всего  $0,18 \cdot 10^5$  н/м<sup>2</sup>, что несущественно. На предложенный способ формирования программы давления и устройство для его реализации (инерционное звено) нами получено авторское свидетельство №175812.

При разработке устройства для программирования температуры мы стремились к тому, чтобы с его помощью было бы возможно реализовать оптимальные по минимуму времени цикла программы, т.е. такие законы изменения температуры в аппарате, которые бы обеспечили достижение заданного стерилизующего эффекта за минимальное время цикла стерилизации.

В работе показано, что для консервов с конвективным теплообменом оптимальная по минимуму времени цикла программа может быть представлена кусочно-линейными функциями времени с разрывами непрерывности первого рода (см.рис.5)

Выделенной линией изображена оптимальная программа изменения температуры рабочей среды в аппарате  $t_a$ , пунктиром — температура в банке  $t_g$ . Максимально-допустимые перепады температуры при нагреве  $\Delta t_{(max)н}$  и при охлаждении  $\Delta t_{(max)о}$  обуславливаются допустимой термостойкостью стеклянной тары.

Известные ступенчатые режимы стерилизации также состоят из комбинации линейных функций времени. Следовательно, при разработке нового устройства для программирования температуры целесообразно ориентироваться на программы, представляющие комбинацию линейных функций времени. При этом имеется возможность реализовать существующие неоптимальные (трапецеидальные) режимы стерилизации, в том числе ступенчатые; в будущем, при синтезе и внедрении в производство оптимальных программ, возможно будет реализовать по крайней мере программы для продуктов с конвективным теплообменом.

В основу нового устройства положена известная схема для получения линейно изменяющегося во времени давления воздуха (рис.6). К повторителю со сдвигом  $I$  подводится давление воздуха  $P_{\text{пим}}$  таким обра-

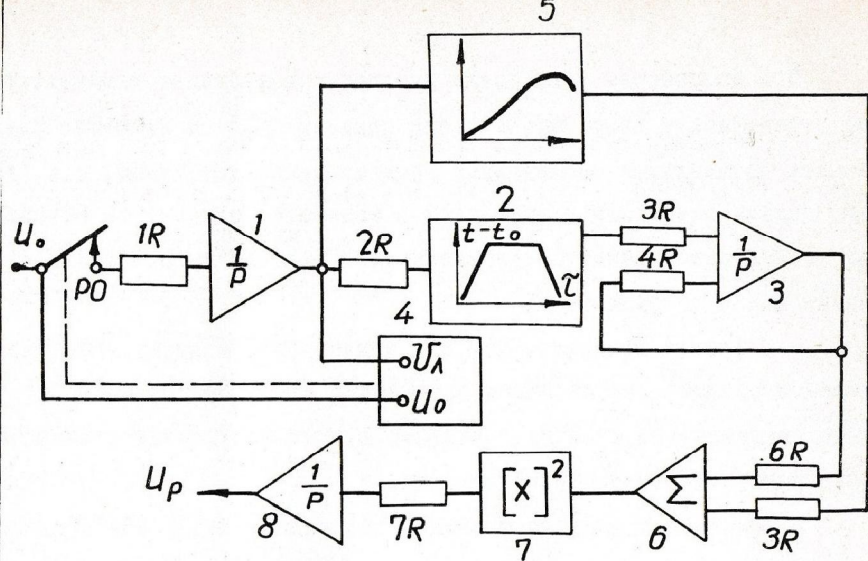


Рис.4. Электронная модель для определения постоянных времени по давлению.

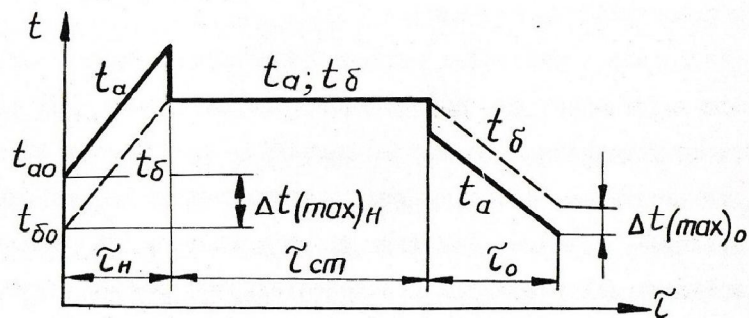


Рис.5. Графики изменения температуры в аппарате ( $t_a$ ) и танке ( $t_δ$ ) при оптимальной программе.

зом, что оно попадает непосредственно от источника в глухую камеру А, а в проточную камеру Б - через дроссель 2. Если установить на повторителе отрицательный сдвиг ( $-C$ ), то в проточной камере устанавливается давление ( $P_{\text{нпм}} - C$ ). Следовательно, перепад давления  $\Delta P$  на дросселе составит

$$\Delta P = C_v$$

Это обеспечивает постоянство расхода, поступающего в ёмкость 3. Поэтому давление в ёмкости будет расти по линейному (во времени) закону. В работе приведено описание и анализ программирующего устройства, на которое нами получено авторское свидетельство №191236.

#### У. СИНТЕЗ САР ПРОЦЕССА СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ В АППАРАТАХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Пятая глава посвящена вопросам синтеза управляющей части САР процесса стерилизации консервов в промышленном аппарате периодического действия.

Проведен анализ возмущающих и управляющих воздействий. Возмущающие воздействия изучены в условиях действующих предприятий. Для синтеза выбраны априорно неблагоприятные управляющие воздействия.

В качестве основного критерия качества работы САР принято условие минимума интегральной ошибки  $J_{\Delta F}$ . В операторной форме

$$Y_{\Delta F}(s) = \frac{1}{s} \left[ K_F \left( \frac{t_a}{1+T_f s} \right) - K_F \left( \frac{t_{np}}{1+T_f s} \right) \right], \quad (22)$$

где  $t_a$  - фактическая температура в аппарате;

$t_{np}$  - текущее значение программы изменения температуры.

Физически критерий  $J_{\Delta F}$  здесь представляет собой разность стерилизующих эффектов, полученных реальной банкой с текущей температурой

$$t_{\delta p}(s) = \frac{t_a}{1 + T_s s},$$

и некоторой идеальной банкой с температурой

$$t_{\delta n} = \frac{t_{np}}{1 + T_s s},$$

причем реальная банка находится в рабочей среде с температурой  $t_a$ , а идеальная - в среде, температура которой безошибочно повторяет программу.

Дополнительные условия включают в себя ограничения величины статической ошибки по температуре 0,5 град., давлению  $0,15 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ , величины динамической ошибки по температуре 5 град, давлению -  $0,15 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ .

Обязательным условием является устойчивость САР по каналу регулирования температуры и давлению.

Блок-схема САР (рис. 7) состоит из объекта I и четырех основных регулирующих органов

1Р0 - на магистрали пара

2Р0 - на магистрали воды

3Р0 - на магистрали слива и продувки

4Р0 - на напорной магистрали.

Температура в аппарате измеряется датчиком 2, свойства которого соответствуют инерционному звену с постоянной времени  $T_t$ .

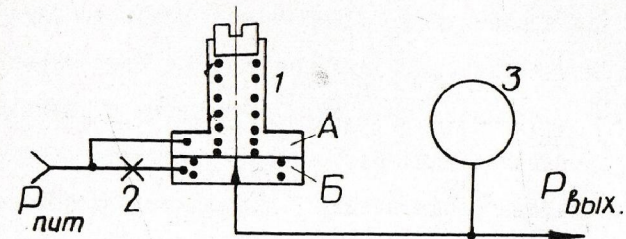


Рис. 6. Схема формирования линейно изменяющегося во времени давления.

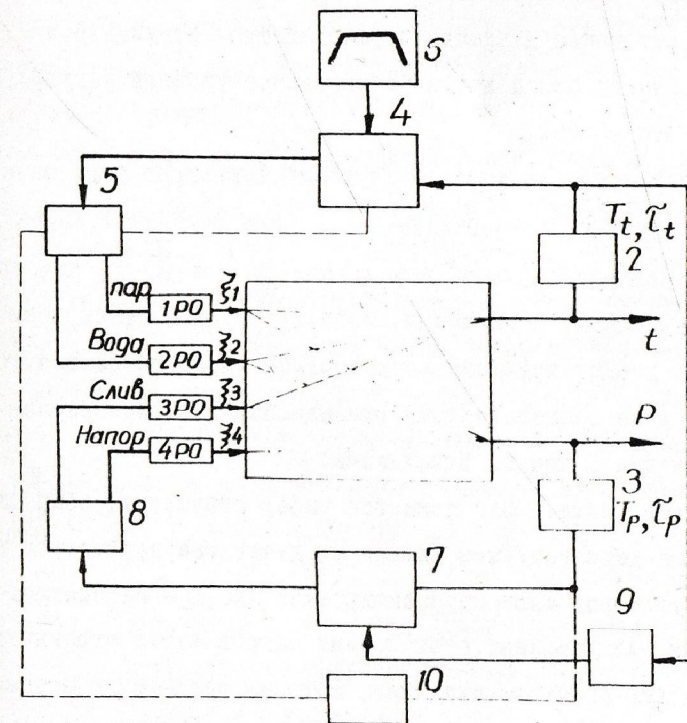


Рис. 7. Блок-схема САР.

и звену с запаздыванием  $\tau_t$ . Давление в аппарате измеряется датчиком 3, динамические свойства которого соответствуют инерционному звену с постоянной времени  $T_p$  и звену с запаздыванием  $\tau_p$ . Регулирование температуры осуществляется регулятором 4, который при помощи блока логики 5 управляет работой регулирующих органов IPO и ZPO. Задание по температуре (программа) формируется программирующим устройством 6 в функции времени. В общем случае структура регулятора может быть переменной и изменяется по сигналам блока логики 5.

Регулирование давления осуществляется регулятором 7, который при помощи блока логики 8 управляет работой регулирующих органов ZPO и 4PO.

Задание по давлению формируется функциональным блоком 9 в зависимости от температуры  $t_t$ . Для объекта I характерна взаимосвязь регулируемых параметров  $p$  и  $t$ , что следует из математического описания. Поэтому предусмотрена возможность введения корректирующего воздействия, вырабатываемого устройством IO, уменьшающего подачу охлаждающей воды при резком падении давления в начале охлаждения.

Целью синтеза САР является выбор структуры, законов регулирования температуры и давления, диапазона параметров настроек регуляторов, выбор корректирующих цепей и параметров их настроек. Для решения этой задачи выбран метод ограниченного синтеза САР на аналоговых ЭВМ, который сводится к математическому моделированию на ЭВМ конечного числа вариантов САР.

Блок-схема электронной модели, приведенная в работе в окончательном варианте, составлена на базе уравнений

математического описания, а также динамических свойств датчиков температуры и давления и регулирующих органов. В схеме учтены основные нелинейности, взаимосвязь каналов, ограничения, изменения динамических свойств объекта и другие особенности объекта при стерилизации в паровой и водяной рабочей среде.

В результате моделирования выбран закон пропорционального регулирования температуры и давления при стерилизации в паровой и водяной среде, а также рабочий диапазон коэффициентов усиления.

По каналу регулирования температуры регулятор имеет переменную структуру, что достигается дискретным изменением величины коэффициента усиления при переходе с режима нагрева на режим собственно стерилизации.

При этом величина  $J_{\Delta F}$  составляет всего 4%. ПИ- и ПИД-регуляторы с переменной структурой не позволяли достичь такого малого значения  $J_{\Delta F}$ .

В САР процесса стерилизации в паровой среде введена коррекция в канал регулирования температуры по перепаду давления (задания и параметра). В начальный период охлаждения водяной регулирующий орган будет открываться медленно, так, чтобы перепад давления не превысил заданного максимального значения.

#### VI. РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ НОВЫХ СХЕМ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ.

Шестая глава посвящена практическому применению результатов исследований - автоматизации стерилизационных аппаратов

периодического действия. Работы в этом направлении завершились в 1964г. созданием (совместно с лабораторией пневмо-гидроавтоматики Института автоматики и телемеханики АН СССР) программного регулятора ПРП-2У для автоматического управления процессом стерилизации консервов в водяной рабочей среде.

В результате междуведомственных испытаний, проведенных с участием технологических, приборостроительных и проектных организаций (институты "УКРНИИКП", "МОЛДНИИП", "ОТИЦХП", ИАТ(ТК), "НИИТЕПЛОПРИБОР", "СЕВКАВГИПРОПИЩПРОМ" и др.), а также представителей промышленности, программный регулятор ПРП-2У был рекомендован к промышленному производству взамен ранее выпускавшегося программного регулятора ПРП-2.

По сравнению с последним, программный регулятор ПРП-2У обладает рядом эксплуатационных преимуществ:

- а) ПРП-2У построен на базе элементов унифицированной системы промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА), что позволило повысить эксплуатационную надёжность программного регулятора за счёт исключения из схемы электрических и электронных узлов;
- б) для комплектации ПРП-2У разработаны специальные малогабаритные запорно-регулирующие клапаны с ручным управлением, что позволяет монтировать их вместо ручных вентилей на стерилизационном аппарате;
- в) по сравнению с прототипом, габаритные размеры ПРП-2У значительно уменьшены, что облегчает их монтаж в производственном помещении.

Последующие работы проводились в направлении создания программного регулятора ПРП-3 для управления процессом стерили-

зации в паровой рабочей среде. Затем была выполнена конструктивная унификация программных регуляторов ПРП-2У и ПРП-3 путём введения модульного принципа их компоновки. В 1967г. проведены междуведомственные испытания ПРП-3, который рекомендован к промышленному производству.

Комплект программного регулятора состоит из двух групп приборов. Одна из них - датчики температуры, давления и регулирующие органы у стерилизационного аппарата. Другая группа конструктивно оформлена в виде программного регулятора ПРП-2У или ПРП-3, которые отличаются между собой схемой внешних соединений 4-х унифицированных модулей.

- I - модуль регуляторов температуры и давления,
- II - модуль программирования давления,
- III - модуль программирования температуры,
- IV - модуль сигнализации и блокировок.

Согласно результатам междуведомственных испытаний ПРП-3, на Балтийском рыбоконсервном комбинате экономический эффект от его применения составляет 2,8 тыс.руб.

Помимо рассмотренных схем и средств, разработано, также изготовлено и испытано в производственных условиях устройство для непрерывного измерения стерилизующего эффекта в банке при стерилизации в промышленном аппарате. Устройство позволяет осуществить новый, предложенный нами способ управления процессом по стерилизующему эффекту (авторское свидетельство №163064).

В отличие от существующих способов, основанных на изменении и регулировании температуры среды, окружающей банку, новый способ основан на измерении параметра процесса, протекающего в банке, т.е. на измерении величины стерилизующего эффекта.

Новый способ управления процессом стерилизации открывает возможность поддерживать оптимальное время процесса в широком диапазоне параметров теплового режима стерилизационного аппарата. Это время может быть минимально необходимым при данных условиях. Следовательно, качество консервов при таком способе может быть лучше, а производительность аппарата выше, чем при существующем способе.

Устройство для измерения стерилизующего эффекта состоит из приспособления для измерения температуры в центра банки и прибора для вычисления величины стерилизующего эффекта, который содержит следующие узлы:

- а) узел преобразования сигнала датчика температуры;
- б) функциональный блок для формирования зависимости;
- в) интегратор.

В работе приведены схема, конструкция и материалы испытаний устройства для измерения стерилизующего эффекта.

Прибор для измерения стерилизующего эффекта  $F$ -метр испытывался в производственных условиях Одесского консервного комбината. За время испытаний проведено свыше 60 измерений стерилизующего эффекта (за цикл стерилизации). Каждое измерение сравнивалось со значением, полученным расчетным путем, при этом максимальное относительное отклонение составляло 4%.  $F$ -метр может быть использован в качестве датчика САР (по новому способу управления), для ручного управления процессом стерилизации, а также для контроля и коррекции режимов стерилизации при их разработке.

#### Основные выводы

1. Исследовано влияние отклонений параметров теплового режима стерилизации от номинальных значений на отклонение величины стерилизующего эффекта. Это позволяет обосновывать выбор класса точности приборов при проектировании САР процесса стерилизации консервов.
2. Выполнено математическое описание процесса стерилизации, устанавливающее зависимость изменения температуры и давления в стерилизационном аппарате от возмущающих и управляющих воздействий.
3. Определены численные значения основных теплофизических параметров, входящие в математическое описание в рабочем диапазоне температуры и давления промышленного стерилизационного аппарата.
4. С помощью математического описания определены коэффициенты передачи, характеризующие количественное влияние возмущающих и регулирующих воздействий на регулируемые параметры и на скорость их изменения; определены величины пропускных способностей регулирующих органов в соответствии с особенностями нестационарного режима изменения температуры и давления.
5. Предложен и исследован новый способ программирования давления в стерилизационном аппарате (авторское свидетельство №175812), согласно которому оптимальная программа изменения давления описывается линейным дифференциальным уравнением первого порядка. Способ обеспечивает минимальный перепад давления в аппарате и банке при стерилизации консервов в стеклянной таре.
6. Исследована и доказана возможность применения пневматического и гидравлического инерционного звеньев для формирования оптимальной программы изменения давления в стерилизационном аппарате.

7. Предложено новое устройство для формирования программы изменения температуры в стерилизационном аппарате (авторское свидетельство №191236); показано, что оно может формировать, по крайней мере, один вид оптимальной (по минимуму времени цикла стерилизации) программы изменения температуры.

8. На базе математического описания разработана электронная модель САР.

9. Выбраны и обоснованы критерии качества регулирования температуры и давления.

10. В результате моделирования САР определены законы регулирования, параметры настройки регуляторов и корректирующей цепи; показано, что наилучшие результаты достигаются применением пропорционального регулятора с переменной структурой.

11. На базе исследовательских работ созданы опытно-промышленные образцы САР стерилизации консервов в водяной и паровой рабочей среде.

12. Созданы специальные малогабаритные запорно-регулирующие клапаны с ручным бессальниковым управлением.

13. Предложен новый перспективный способ управления процессом стерилизации по стерилизующему эффекту (авторское свидетельство №163064); разработан и испытан в производственных условиях прибор для измерения стерилизующего эффекта.

В настоящее время проводятся исследования по новому способу с целью его промышленного применения.

14. Испытания разработанной САР подтвердили соответствие их технических данных технологическим требованиям процесса стерилизации консервов, а также экономическую эффективность их внедрения в промышленность.

Разработанные САР (в том числе программные регуляторы и запорно-регулирующие клапаны) приняты межведомственной комиссией и рекомендованы к промышленному изготовлению.

Экономическая эффективность автоматизации составляет 2,8 тыс.руб. в год на один двухкорзиночный автоклав. Экономический потенциал при объеме внедрения 1000 шт. составит 2,8 млн.руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Молодецкий Э.Г. Математическое описание программы изменения давления при автоматическом управлении стерилизацией консервов. "Известия ВУЗов, пищевая технология", №6, 1964.
2. Молодецкий Э.Г. Автоматизация процесса стерилизации консервов. "ЦИНТИПИЩЕПРОМ", М., 1965.
3. Молодецкий Э.Г., Гуревич А.А., Флауменбаум Б.Л. Авторское свидетельство №163064 на изобретение "Способ автоматического регулирования процесса стерилизации консервов".
4. Молодецкий Э.Г., Литинский И.Д., Зрильский Г.Г., Коган Ф.И. Авторское свидетельство №175812 на изобретение "Способ автоматического управления установкой для стерилизации консервов".

5. Молодецкий Э.Г., Берендс Т.К. Авторское свидетельство №191236 на изобретение "Программирующее устройство для управления параметрами технологических процессов".
6. Молодецкий Э.Г. Автоматизация процесса тепловой стерилизации консервов. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по автоматизации рыбной промышленности, Рига, "Запрыба", 1967.
7. Молодецкий Э.Г. Исследование влияния возмущения процесса стерилизации на регулируемые параметры в связи с выбором максимально допустимых отклонений параметров. Труды и рефераты института "Пищепромавтоматика", выпуск 3, Одесса, 1968.
8. Молодецкий Э.Г., Берендс Т.К. Устройство для автоматического программного управления процессом стерилизации консервов в автоклаве. Сборник трудов УП Всесоюзного совещания по пневмоавтоматике. М., "Наука", 1968 (в печати).

По вопросам, рассматриваемым в диссертации, автором сделаны доклады:

1. На Всесоюзном совещании по научно-техническим проблемам механизации, автоматизации и технологии производства овощных закусок консервов в г.Одессе, май, 1962г.
2. На Всесоюзном совещании по пневмоавтоматике в г.Ереване, ноябрь, 1964г.

3. На Всесоюзной конференции по автоматизации рыбной промышленности в г.Калининграде, апрель, 1967г.
4. На семинаре по кибернетике и автоматическому управлению в г.Одессе, июнь, 1968 г.

— // —