

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПАСТЕРИЗАЦИИ ИКРЫ

Канд. техн. наук И. М. Маршак и инж. Л. О. Колбиков  
Лаборатория механизации ВНИРО

Необходимость создать регулятор температуры возникла в связи с появлением нового производства — пастеризации икры.

Нашей промышленностью не выпускаются терморегуляторы, которые соответствовали бы точности, чувствительности и другим требованиям, предъявляемым условиями стерилизации пищевых продуктов и, в частности, строгими условиями процесса пастеризации икры.

Поэтому в проекте пастеризационного цеха, разработанном в 1949 г. (Гипрорыба), вопрос о поддержании постоянной температуры в пастеризаторе оставался неразрешенным.

Хотя основные принципы конструирования различных регуляторов разработаны у нас, в СССР, достаточно хорошо, однако выбор для каждого данного случая наилучшего типа регулятора и создания надежной, удобной в эксплуатации и дешевой конструкции — задача нелегкая, так как это зависит от многих факторов как метрологических, так и эксплуатационных. Приходится учитывать не только свойства того или иного типа регулятора, но и характеристику всей регулируемой системы, для которой регулятор предназначается.

В соответствии с этим описанная ниже вкратце работа состояла из двух основных частей.

1. Исследование действия установки (пастеризатора) как регулируемой системы.
2. Разработка и испытание конструкции регулятора температуры для этой системы.

### Краткое описание пастеризационной установки

Пастеризатор предназначен для пастеризации икры, расфасованной в стеклянной таре.

Пастеризатор состоит из следующих основных узлов.

**Корпус** — представляет собой сосуд прямоугольной формы. Дно и боковые стенки корпуса покрыты теплоизоляционным материалом (стеклянная вата). Теплоизоляционный слой закрыт с внешней стороны обшивкой из тонкого листового материала. Со стороны задней стенки корпуса приварен щит, на котором размещается вся остальная часть оборудования пастеризатора: насос, электродвигатель, электронагреватель и пр. В центре крышки имеется отверстие для присоединения водопроводной трубы.

**Насос** — обычного типа, шестеренчатый. Привод насоса осуществляется от электродвигателя через зубчатую передачу.

Электронагреватель — состоит из цельносварного корпуса, включенного в систему трубопровода, и шести нагревательных элементов.

Электронагревательный элемент представляет собой цилиндр из шифера, на котором помещена обмотка сопротивления.

Фильтр — чугунный корпус с сетчатым цилиндром внутри, обернутый тканью (миткаль), — установлен в линии трубопровода под пастеризатором.

Трубопровод — состоящий из системы труб, связанных арматурой, — предназначен для циркуляции воды.

Нижний конец трубопровода через фильтр присоединен ко дну корпуса и заканчивается в полости корпуса коллектором крестообразной формы с отверстиями.

Другой конец трубопровода через насос, электронагреватель и сальниковое устройство подведен к крышке корпуса и заканчивается питателем крестообразной формы с отверстиями, аналогично коллектору.

Контрольный термометр — для измерения температуры воды в пастеризаторе — предусмотрен проектом непосредственно на трубопроводе крышки пастеризатора.

Регулятор температуры — предусмотрен проектом на участке трубопровода перед насосом.

Противни, загрузочная клеть.

### Работа пастеризатора

Для первоначального нагрева воды включают электродвигатель, приводящий в действие насос, обеспечивающий циркуляцию воды. Затем включают электронагреватель с элементами, соединенными параллельно.

При нагревании воды до температуры  $62,0^{\circ}$  элементы электронагревателя переключаются на последовательное включение и включается терморегулятор. Затем загружается клеть с банками и начинается процесс пастеризации.

По истечении времени пастеризации клеть извлекают из пастеризатора и направляют в охладитель. Новую клеть с банками загружают после поднятия температуры в пастеризаторе до  $62,0^{\circ}$ .

Анализ работы пастеризатора как регулируемой системы, который здесь не приводится, показал возможность ограничиться для нашей цели двухпозиционным регулятором непосредственного действия, как наиболее простым и соответствующим свойствам регулируемого объекта и условиям эксплуатации.

### Принципиальная схема регулятора (рис. 1)

Разработанный нами регулятор состоит из трех основных узлов.

1. Чувствительного элемента А, воспринимающего изменения регулируемой температуры (термобаллон).

2. Сильфона В, преобразующего импульс чувствительного элемента в линейное перемещение.

3. Системы рычагов В, осуществляющей связь между чувствительным элементом и регулирующим органом.

4. Регулирующего органа Г.

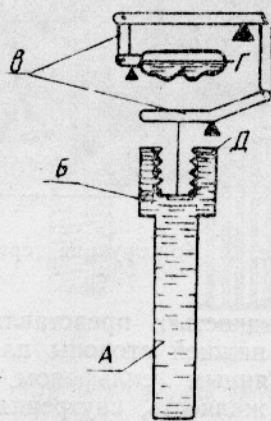


Рис. 1. Принципиальная схема регулятора.

Чувствительный элемент непосредственно реагирует на отклонение температуры от номинального значения. Это выражается в виде расширения объема жидкости, заключающейся в баллоне чувствительного элемента. Это расширение пропорционально величине отклонения температуры.

Расширяясь, жидкость давит на нижнюю свободную площадку сильфона, перемещая ее, а вместе с ней и прикрепленную к ней иглу *Д*, вертикально вверх. Линейное перемещение иглы сильфона усиливается в несколько раз системой рычагов; это усиление имеет целью обеспечить надлежащую величину усилия для приведения в действие ртутного прерывателя. Последний является тем регулирующим органом, который изменяет регулируемый поток энергии (тепло), включая или выключая электрическую цепь нагревательного элемента пастеризатора.

## Конструкция терморегулятора (рис. 2)

Термобаллон выполнен из тонкой латунной трубки, впаянной верхним концом в головку термобаллона. Нижний утолщенный конец трубки имеет отверстие с винтовой нарезкой для заполнения баллона жидкостью.

В отверстие ввинчивается металлическая пробка, плотно прилегающая к свинцовому седлу, напаянному на коническую часть отверстия.

Головка термобаллона представляет собой полый цилиндр, по наружной поверхности которого до середины его высоты имеется винтовая нарезка для свинчивания термобаллона с патроном-держателем. Во внутренней полости головки термобаллона помещен сильфон, припаянный своей верхней неподвижной частью к верхней же кромке цилиндрической поверхности головки термобаллона.

Сильфон — стандартной формы и размеров, обладая тонкими стенками, легко сжимается в осевом направлении под действием небольшого усилия, возникающего при расширении жидкости, и также легко растягивается силой своей упругости при исчезновении этого усилия. Термобаллон, заполненный

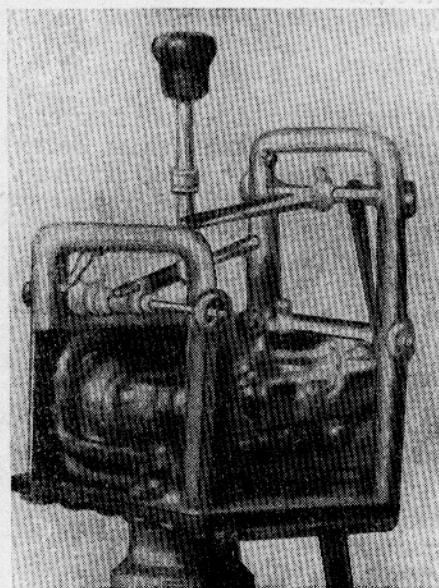


Рис. 2. Конструкция терморегулятора.

жидкостью, представляет собой герметичную систему, ограниченную с нижней стороны плотно привинченной пробкой, а с верхней — припаянным сильфоном. Наружная поверхность сильфона погружена в жидкость, внутренняя полость сильфона свободна от жидкости.

Ко дну сильфона с внутренней его стороны привинчена толстая стальная игла, могущая совершать прямолинейные движения в вертикальном направлении вместе с сильфоном.

Верхний конец иглы проходит в отверстие втулки патрона.

Патрон представляет собой точеную металлическую крышку с наружной цилиндрической поверхностью. Внутренняя поверхность до половины высоты снизу имеет нарезку для свинчивания с головкой термо-



баллона, верхняя часть внутренней поверхности сточена на конус и заканчивается отверстием с втулкой, в которую проходит игла сильфона.

Термобаллон заполняется чистым толуолом. Толуол предварительно очищается встряхиванием со ртутью и путем перегонки.

Примечание. В качестве наполнителей для термобаллона пользуются различными жидкостями в зависимости от температуры — предпочтительно углеводородами, не действующими разрушающе на металл. В табл. 1 указаны наиболее употребительные в практике наполнители.

Таблица 1

Температура применения (в °С)		Наполнитель	Температура кипения (в °С)	Уд. вес	Уд. теплоемкость (кал/кг °С)	Коэф. теплопровод. (кал/кг °С)	Коэф. объемн. расширения
от -25	до 0°	Пропан	-44,5	2,02	—	—	—
-20	10	Фреон	—	—	—	—	—
0	30	Сернистый Ангидрид	-10,0	1,46	—	—	—
20	65	Хлористый этил	+12,0	0,921	—	—	—
20	60	Бензол	+80,0	0,879	0,44	0,12	0,00125
30	100	Толуол	+110,0	0,866	0,412	0,11	0,00118
30	150	Керосин	От +133,0 до 320,0	0,820	0,50	0,13	0,00092
60	105	Ацетон	+53,0	0,792	—	—	0,0014
140	205	Октан	+125,0	0,703	—	—	—
200	265	Анилин	+184,0	1,022	—	—	—

Основные требования, предъявляемые к жидкости, как наполнителю (чтобы сделать терморегулятор чувствительным к малым колебаниям температуры): большой коэффициент объемного расширения, малая плотность и малая удельная теплоемкость. Для паронаполненных баллонов имеет значение давление насыщенного пара жидкости при максимальной температуре диапазона настройки регулятора.

Нами были испытаны несколько наполнителей: толуол, керосин, хлористый этил и др., из которых наиболее подходящим оказался толуол.

Также испытывались различные конструкции термобаллона: а) трубчатый, б) змеевидный, в) многотрубный, из которых (рис. 3) наилучшим по своим теплопроводящим свойствам, механической прочности и удобству изготовления оказался трубчатый.

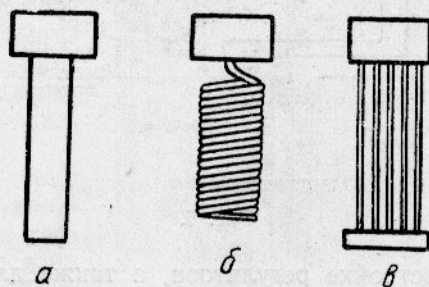


Рис. 3. Различные конструкции термобаллона: а) — трубчатый; б) — змеевидный; в) — многотрубный.

Сильфон. Зависимость между геометрическими размерами, родом материала и жесткостью сильфонов аналитически еще не исследована. Поэтому характеристика сильфона может быть точно определена лишь экспериментально.

Мы испытали несколько имеющихся в нашем распоряжении сильфонов и остановились на одном, к которому близко подходит выпускаемый нашей промышленностью сильфон, однослойный, тип М10-00-15

с наружным диаметром 17 мм, внутренним — 9 мм, длиной 23 мм и числом гофр 12.

**Рычажная передача.** Для расчета механической передачи от иглы к ртутному переключателю необходимо сперва определить величину передвижения иглы сильфона в зависимости от температуры.

Ход иглы сильфона мы проверяли экспериментально при помощи точного микрометра и электрических контактов, он оказался равным  $0,04 \text{ мм}/^\circ\text{C}$ . Далее определяли экспериментально угол поворота стандартного ртутного прерывателя между крайними положениями его при размыкании и замыкании ртути (рис. 4), который оказался равным  $6^\circ$ , что соответствует линейному перемещению тяги, поворачивающей прерыватель, в 2 мм.

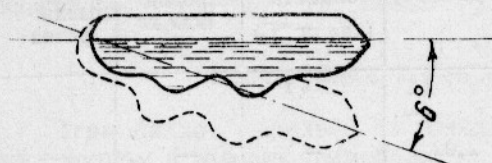


Рис. 4.

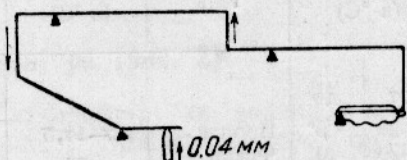


Рис. 5.

Имея в виду осуществить включение и выключение контакта при максимальном отклонении температуры от номинала  $\pm 0,5^\circ \text{C}$ , т. е. в интервале  $1^\circ$ , имеем: ход иглы при изменении температуры на  $1^\circ \text{C}$  —  $0,04 \text{ мм}$ ; ход тяги, поворачивающей выключатель, — 2 мм, передаточное число —  $0,04 : 2 \text{ мм} = 1 : 50$ .

Передача осуществлена при помощи системы, состоящей из четырех рычагов и трех тяг (рис. 5), смонтированной на двух П-образных круглого сечения стойках, укрепленных винтами на общей горизонтальной платформе регулятора.

В качестве регулирующего органа используется стандартный ртутный прерыватель на 10 а.

Прерыватель крепится к оси вращения при помощи скобы, затянутой винтом, что позволяет легко и быстро осуществить смену прерывателя.

В прерыватель впаяны две проволоки, при помощи которых он включается в электрическую цепь нагревательного элемента пастеризационной установки (рис. 6).

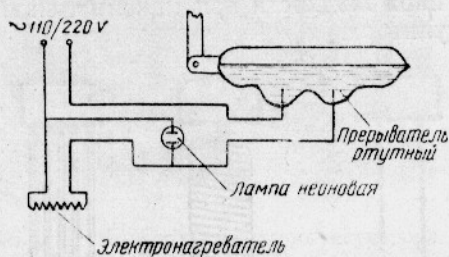


Рис. 6.

Параллельно ртутному прерывателю в ту же электрическую цепь включена миниатюрная сигнальная неоновая лампочка.

Неоновая лампочка служит для фиксирования положения стрелки регулировочного винта при точной

настройке регулятора, а также для сигнализации о том, что регулятор находится в действии.

Сигнальная лампочка вставляется в патрон, закрепленный на панели. Панель крепится при помощи угольника к платформе механизма регулятора в вертикальном положении.

Термобаллон крепится к верхней площадке с механизмом регулятора при помощи фланца головки термобаллона четырьмя винтами.

**Н а с т р о й к а.** Первоначальная установка регулятора на требуемую температуру регулирования осуществляется при помощи контргайечного кольца (рис. 7), который изменяет глубину ввертывания головки термо-

баллона в патрон, тем самым устанавливая соответствующий зазор между концом иглы сильфона и первым рычагом. Необходимый зазор фиксируется вертикальной и горизонтальной рисками, нанесенными на головке термобаллона и контргайечном кольце; риски имеют обозначения в градусах температуры.

Последующая, более точная настройка производится при помощи специального регулировочного микрометрического винта (рис. 8), нижний конец которого ввинчивается в пло-

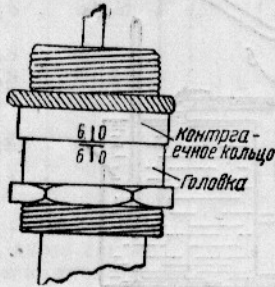


Рис. 7.

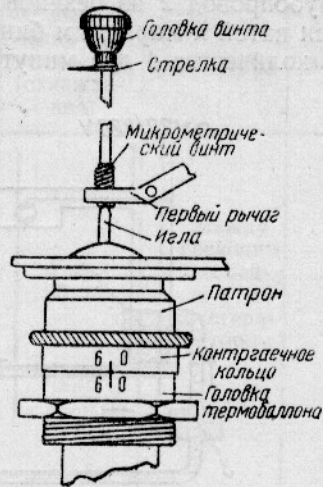


Рис. 8.

щадку первого рычага, а верхний конец выходит через отверстие защитного кожуха регулятора наружу и заканчивается головкой из пластмассы со стрелкой. Вращая рукой головку винта в ту или другую сторону, уточняют зазор между иглой и рычагом. Угол поворота винта фиксируется стрелкой головки винта по шкале в момент включения неоновой лампочки.

### Внешнее оформление

Весь механизм регулятора заключен в металлический штампованный кожух прямоугольной формы. Собранный на платформе, регулятор вводится в кожух с задней открытой стороны, для чего в дне кожуха имеется вырез шириной, равной диаметру патрона термобаллона. Платформа механизма крепится снаружи к дну кожуха двумя винтами. Кожух закрывается сзади крышкой на винтах.

Микрометрический регулировочный винт ввинчивается в первый рычаг через свободное отверстие в потолке кожуха после сборки терморегулятора. Головка винта, выступающая из кожуха, закрывается крышкой и может быть запломбирована, во избежание нарушения настройки регулятора случайными прикосновениями или посторонними лицами. На рис. 9 показан общий вид регулятора.

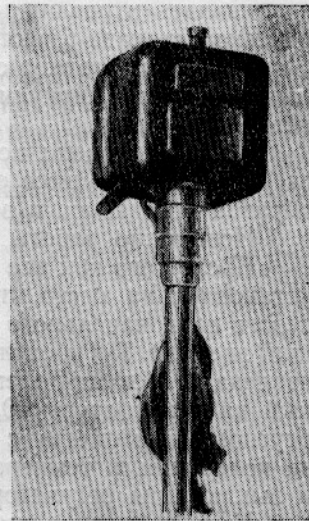


Рис. 9.

### Испытание регулятора

Испытание работы терморегулятора производилось на уменьшенной модели пастеризационной установки, собранной нами в лабораторных



условиях. Схема этой установки представлена на рис. 10 и в виду ее наглядности не требует пояснений.

Модель пастеризатора 1 выполнена из оцинкованной жести с деревянной обшивкой и слоем стеклянной ваты между жестью и деревом.

Трубопровод 2 из резинового шланга, изолированный на всем протяжении ватой и марлевым бинтом. Насос 3 — шестеренчатый, подающий воду в количестве 4 л в минуту.

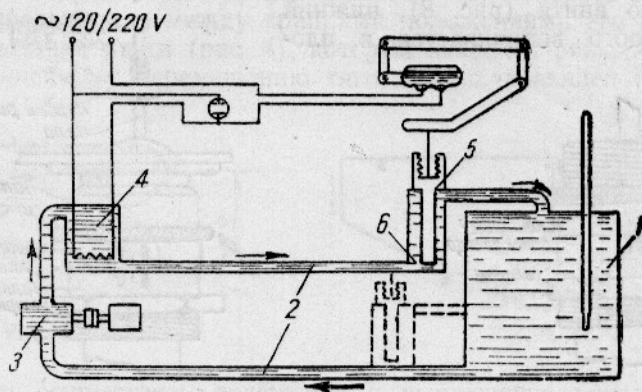


Рис. 10. Общий вид регулятора.

Электронагревательный элемент 4 — обмотка сопротивления в корпусе из жести, запаянном со всех сторон и включенном в систему трубопровода; мощность нагревательного элемента при напряжении 120/220 в — 330/360 вт. Чувствительная часть 5 терморегулятора устанавливалась в различных участках трубопровода в специальном металлическом стакане 6, включенном в систему трубопровода.

Модель позволяет осуществить необходимое быстрое и равномерное перемешивание циркулирующей воды так, как это предусмотрено в проекте Гипрорыбы.

На этой модели испытывались отдельные экспериментальные узлы регулятора в процессе его конструирования, а также и работа опытного образца регулятора и всей системы в целом.

Испытание работы регулятора производилось следующим образом.

После того как все соединения установки были сделаны и регулятор установлен на место, пастеризатор наполнялся водой. В воду для быстрого первоначального нагрева ее опускался посторонний мощный греющий элемент. По достижении температуры в пастеризаторе  $60,2^{\circ}$ , из него извлекали греющий элемент и включали терморегулятор, отрегулированный на температуру  $60,0^{\circ}$ . После этого велись наблюдения по точному ртутному термометру с делениями в  $0,1^{\circ}$  и по секундной стрелке часов за колебаниями температуры в пастеризаторе и временем включения и выключения регулятора (табл. 2).

Испытания при указанных в таблице условиях повторялись многократно с теми же результатами. Были отмечены лишь колебания времени нагрева (промежутки от включения до выключения регулятора) в обратной зависимости от мощности нагревательного элемента и колебания времени охлаждения в прямой зависимости от температуры окружающего воздуха, т. е. потерь тепла в окружающую среду.

Колебания эти находятся в пределах между 2 и 3 минутами при колебаниях мощности от 660 до 330 вт (при нагреве) и между 4 и 6 минутами при колебаниях температуры окружающего воздуха от  $12-13^{\circ}$  до  $26-28^{\circ}$  (при охлаждении). Однако время выключения и включения





прерыватель выключается (прекращает подачу тепла) при достижении поднимающейся температуры значений, отвечающих линии  $M$ , а включается (начинает подавать тепло) при достижении падающей температуры значений, отвечающих линии  $N$ .

Интервал температур между линиями  $M$  и  $N$  здесь является зоной регулирования.

Рассмотрим цикл  $mn$ : когда понижающаяся температура достигает точки  $m$ , ртутный прерыватель переходит в положение «включен». Здесь температура начинает повышаться, достигая через некоторое время точки  $O$ . В этот момент ртутный прерыватель переходит в положение «выключен», и температура в пастеризаторе начинает падать, достигая через некоторое время точки  $n$ , где начинается новый цикл.

Характер перегибов кривой температуры у точки  $O$  и точки  $n$  зависит от тепловой емкости нагревательного элемента, причем если мощность нагревательного элемента слишком велика (в нашем случае больше 500 Вт), то вследствие накопленной в нагревателе энергии температура в пастеризаторе после достижения точки  $O$  продолжает повышаться, достигая максимума, в некоторой точке  $O_1$  (см. пунктир), несмотря на то, что ток выключен.

Таблица 3

Температура		Отклонения от номинала	Время		Место установки регулятора	Мощность нагрева- тельного элемента (Вт)
включен. (в °С)	выключен. (в °С)		от включе- ния до выключения (нагрев)	от выключе- ния до включения (охлажд.)		
60,0	60,5	±0,5	40 мин. 45 сек.	8 мин. 30 сек.	После пастериза- тора	400
59,5	60,5					
59,5	60,5					
59,6	60,4					
59,5	60,5					
59,5	60,5					
59,5	60,5					
59,5	60,5					
59,5	60,5					
59,5	60,5					

Если же мощность нагревательного элемента слишком мала (в нашем случае меньше 400 Вт), то вследствие необходимости затраты некоторой энергии для повышения температуры нагревателя регулируемая температура после достижения точки  $n$  повышается не сразу, а, наоборот, продолжает некоторое время понижаться до точки  $n_1$ , после чего только начинает повышаться.

Большая тепловая емкость воды в модели пастеризатора способствует уменьшению выхода точек  $O_1$  и  $n_1$  за линии  $MN$ . При применении нагревательного элемента соответствующей мощности (в нашем случае 400—500 Вт) изменение температуры в пастеризаторе происходит внутри интервала  $MN$ .

Можно с уверенностью сказать, что еще большая емкость пастеризатора, для которого предназначен регулятор, создаст еще более благоприятные условия в этом отношении.

Что касается мощности греющего элемента во время пастеризации, то она должна быть минимальной, но несколько выше мощности, соответствующей компенсации потери тепла пастеризатором в окружающую среду.

Продолжим рассмотрение кривых характеристики регулятора. На рис. 11 сплошной линией нанесена кривая  $C$  изменения температуры

в месте установки регулятора (между греющим элементом и пастеризатором). Рассмотрим тот же цикл *тп*.

Падающая температура у регулятора, достигшая точки *т*, после включения ртутного прерывателя начинает резко возрастать и остается в дальнейшем выше температуры в пастеризаторе. Достигнув максимума в точке *O<sub>2</sub>*, соответствующей моменту выключения тока, температура начинает снижаться, вначале также резко, а затем с меньшей скоростью до точки *P*, где она достигает температуры в пастеризаторе, и далее до конца цикла поддерживается на равном с ней уровне.

Фактором, определяющим момент выключения ртутного прерывателя, является температура вокруг термобаллона, которая достигает точки *O<sub>2</sub>*, соответствующей моменту выключения, до того, как температура в пастеризаторе выходит за линию *M*.

Иная картина получается при установке термобаллона не до, а после пастеризатора (табл. 3 и рис. 12).

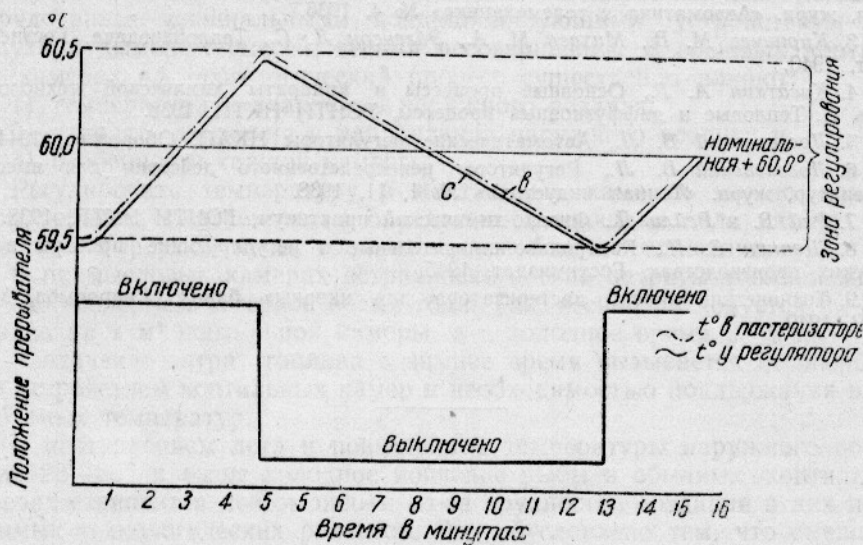


Рис. 12. Характеристика регулятора при установке за пастеризатором.

График температуры в пастеризаторе имеет такой же характер, как и в случае установки регулятора до пастеризатора; график же температуры у термобаллона совершенно отличен от графика температуры в случае установки термобаллона до пастеризатора.

Как видно на рис. 12, температура у термобаллона все время следует за температурой в пастеризаторе, отставая от нее лишь на  $0,025^\circ$ , что соответствует потере тепла в окружающий воздух на участке от пастеризатора до термобаллона.

В этом случае регулятор, установленный в непосредственной близости от пастеризатора, лишается благоприятного для регулирования фактора опережения температуры. Момент выключения ртутного прерывателя наступает при достижении температуры у регулятора значения, соответствующего точке *O*, почти одновременно с моментом достижения температуры в пастеризаторе того же значения.

Вследствие этого зона регулирования расширяется и вместо  $\pm 0,2^\circ$  в первом случае составляет  $\pm 0,5^\circ$ . Следовательно, терморегулятор необходимо монтировать не за пастеризатором, как это предусмотрено в проекте Гипрорыбы, а между греющим элементом и пастеризатором.

## Заключение

Разработанный нами терморегулятор имеет несложную конструкцию. Испытания показали, что он является вполне надежным, точным, удобным аппаратом в эксплуатации, обеспечивающим ведение процесса пастеризации икры в заданных условиях. Оборудование этими регуляторами пастеризационных цехов будет способствовать поднятию технической культуры производства и выпуску доброкачественной продукции.

Для изготовления некоторых узлов терморегулятора могут быть использованы стандартные детали, а остальные узлы могут быть изготовлены без особого труда в небольшой механической мастерской.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гонек Н. Ф., Основные характеристики объектов регулирования, журн. «Точная индустрия» № 12, 1938.
2. Корнилов Ю. Г., Теоретические основы исследования системы авторегулирования, журн. «Автоматика и телемеханика» № 4, 1936.
3. Кирпичев М. В., Михеев М. А., Эйгенсон Л. С., Теплопередача, Госэнергоиздат, 1940.
4. Касаткин А. Г., Основные процессы и аппараты химической технологии. Часть II. Тепловые и диффузионные процессы, ГСНТИ НКТП, 1938.
5. Лоссиевский В. Л., Автоматические регуляторы НКАП, Оборонгиз, 1944.
6. Лоссиевский В. Л., Регуляторы непосредственного действия для высоких температур, журн. «Точная индустрия» № 1, 11, 1938.
7. Рей В. и Рейли Д., Физико-химический практикум, ГОНТИ НКТП, 1938.
8. Щепкин С. И., Контрольно-измерительные и регулирующие приборы в химических производствах, Госхимиздат, 1945.
9. Технический проект пастеризатора для икорных банок, Гипрорыба, МРП СССР, 1949.