

ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МЯСА РЫБЫ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ЕЕ ОБРАБОТКИ КОПЧЕНИЕМ И ЗАМОРАЖИВАНИЕМ

И. М. Маршак

A DISTANT ACTION THERMOMETER FOR FISH PRODUCTS

By J. Marshak

Целью этой работы было получение портативного прибора для исследовательских задач, отвечающего следующим условиям.

1. Активная часть (термометр) должна легко проникать в толщу мяса рыбы без предварительного проделывания отверстия другим инструментом (ножом, буравом и т. д.).

2. Прибор должен давать возможность измерять как температуру мороженой и парной рыбы, так и прогрев рыбы во время ее копчения в камере, а также возможность измерять температуру рыбы на расстоянии и одновременно в нескольких точках.

До настоящего времени для вышеуказанных измерений не существовало более или менее удовлетворительного прибора. Для измерения температуры мороженой рыбы обычно употребляют ртутные термометры, погружаемые в пробурованные предварительно отверстия в толще рыбы, реже пользуются так называемыми «термометрами для мяса» — ртутными термометрами в металлической оправе с конической насадкой (рис. 1). Такого рода термометр для мороженой рыбы описан в книге Тухшнайда «Холодильная технология». Американская фирма «Тусос» рекомендует для измерения температуры мяса и рыбы конструкцию, аналогичную описанной у Тухшнайда.

Неудобства этих способов и конструкций очевидны: голые ртутные термометры, помимо частых поломок, дают не вполне точные показания вследствие образования воздушной прослойки вокруг термометра, так как для погружения термометра в рыбу приходится отверстие делать шире, чем диаметр термометра.

Термометры в оправе не устраняют этого недостатка: при интервале необходимых измерений (от -10 до 20°) часть оправы (рис. 2), соответствующая длине шкалы, получается довольно длинной, и при больших усилиях, необходимых для погружения оправы в замороженную рыбу, эта часть оправы получает изгиб и ломает стеклянный термометр. С другой стороны, увеличение прочности оправы за счет утолщения стенок ее делает прибор громоздким и грубым.

Для измерения прогрева рыбы во время копчения обычно употребляют ртутные максимальные термометры, вводимые в рыбу до поступле-

ния ее в камеру; термометры остаются в рыбе до окончания копчения и извлекаются из готового продукта и таким образом дают только максимальную температуру мяса рыбы за весь процесс.

Лабораторией контроля производства ВНИРО в 1935 г. был сконструирован и изготовлен термометр для мороженой и парной рыбы, причем при конструировании мы исходили из необходимости дать прочный, портативный термометр, легко погружаемый в мясо мороженой рыбы и дающий точные показания.

Оправа этого термометра (рис. 3) состоит из:

- 1) собственно оправы — металлической трубки диаметром 10 мм с толщиной стенок 1 мм;
- 2) полый конической насадки длиной 100 мм и толщиной стенок 1 мм;
- 3) верхней крышки с ручкой дугобразной формы. Оправа имеет на обоих концах нарезку, при помощи которой



Рис. 1. Ртутный термометр для мяса

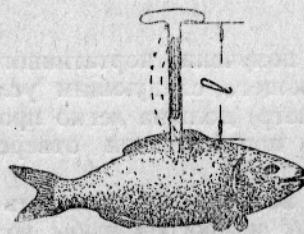


Рис. 2. Термометр, погруженный в рыбу

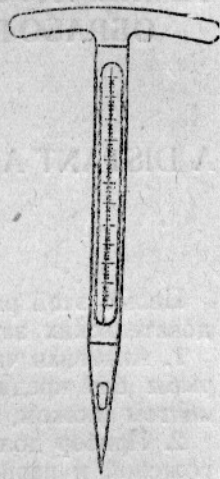


Рис. 3. Термометр для рыбы

она свинчивается наверху с ручкой, внизу — с насадкой.

В передней части оправы имеется прорез для наблюдения шкалы термометра. Термометр — палочный, с длинной ножкой. Коническая насадка имеет с обеих сторон на уровне ртутного резервуара термометра оконца для непосредственного соприкосновения ртутного резервуара с измеряемой средой.

При испытании этого термометра нами было обращено главное внимание на удобство обращения с ним, на прочность оправы и на величину термической инерции.

Основные преимущества этого термометра: отсутствие необходимости предварительного пробурывания отверстия для ввода термометра и легкое вытаскивание термометра за ручку без опасения разбить его.

Погружение термометра на нужную глубину в толщу мяса рыбы, замороженной до -8 — -10° , не требует больших усилий, но при температурах ниже -10° эти усилия достаточно велики (принимая во внимание большое сопротивление плотной массы мороженой рыбы) для того, чтобы оправа вследствие продольного изгиба получила прогиб, ломающий стеклянный термометр. Стрела прогиба, на глаз почти незаметного, при подсчете дает величину 12,5 мм.

Устранить этот недостаток можно путем уменьшения длины выступающей части оправы за счет уменьшения шкалы термометра; в таком

случае приходится говорить уже о наборе термометров с разными пределами шкалы.

Для измерения прогрева рыбы во время копчения описанный прибор, как и ему подобные, служить, конечно, не может. Между тем, именно изучение кривых прогрева рыбы во время копчения или кривых замораживания представляет большой интерес как для производства, так и для исследовательских работ, а также и при испытании новых конструкций коптилен. Здесь выгодно обратиться к электрометрическим методам контроля. На самом деле, от электроизмерительных приборов (термопары, термометры сопротивления) можно добиться тщательным изготовлением абсолютной точности; воспринимающий орган (попружаемый в рыбу) можно сделать любой формы и величины; показания можно получить в виде кривой, включив в сеть самописец; имеется возможность, как ниже будет описано, одним прибором измерять температуру в самых широких пределах.

Измерительная схема этого прибора была нами разработана на основе работ 1935—1936 гг. и имеющегося уже у нас опыта применения термометров сопротивления в практике контроля температуры дыма в копильных камерах.

Принцип работы термометров сопротивления, как известно, основан на свойстве металлов менять свое электросопротивление при нагреве; этим свойством и пользуются в целях измерения температуры.

Подробное описание принципа этой схемы, теоретические ее основы и практические соображения нами здесь не даются. В настоящей работе мы даем описание тех существенных изменений, как в конструкции термометров, так и в схеме моста, которые позволили охватить значительно более широкие пределы измерения, увеличить точность показаний и чувствительность всего прибора.

Принципиальная схема этой установки такова.

Термометр в виде катушки сопротивления (рис. 4) включается в мост Уитстона, как одно из плеч его. Известно, что при равенстве потенциалов вершин моста (точек *С* и *Д*) имеет место пропорциональность между соседними плечами (сопротивлениями) цепи:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (1)$$

Для сравнения потенциалов точек *С* и *Д* между ними включается электроуказательный прибор.

Из уравнения (1) можно определить R_t , изменяя сопротивление плеч R_1 , R_2 , R_3 до тех пор, пока стрелка прибора не перестанет давать отклонений.

Если сопротивления R_1 , R_2 , R_3 не изменять в то время, как температура термометра изменяется, то равенство потенциалов в точках *С* и *Д* будет нарушено и через гальванометр пойдет ток. Этот ток, а следовательно, и отклонения стрелки гальванометра будут тем больше, чем сильнее нарушено равновесное состояние моста. Таким образом устанавливается известная связь между отклонениями стрелки гальванометра и температурой термометра: оказывается возможным по отклонениям гальванометра судить о температуре термометра, не прибегая к манипуляциям для изменения сопротивлений.

Сила тока, протекающего через гальванометр неравновесного моста, определяется уравнением:

$$J_r = \frac{V(R_1 R_t - R_2 R_3)}{R_r(R_1 + R_3)(R_2 + R_t) + R_1 R_3(R_2 + R_t) + R_2 R_t(R_1 + R_3)} \quad (2)$$

где V — разность потенциалов на вершинах моста (в точках *С* и *Д*).

Из этого уравнения видно, что показание гальванометра в первом приближении линейно зависит от прироста сопротивления термометра.

Таким образом, шкала гальванометра при малых пределах изменения R_t имеет линейный характер. Если R_t изменяется сильно, то из-за возрастания знаменателя уравнения (2), который также содержит R_t , деления шкалы при широких пределах измерения оказываются сильно

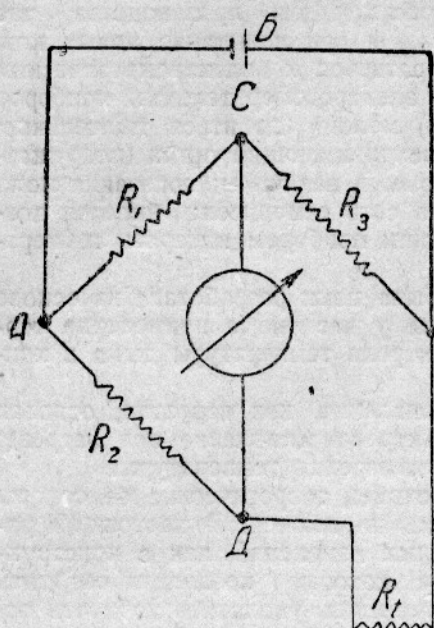


Рис. 4. Принципиальная измерительная схема для термометра сопротивления

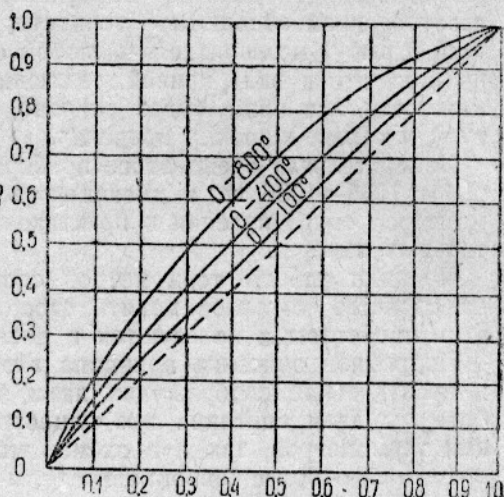


Рис. 5. Кривые зависимости отклонения стрелки гальванометра от температуры термометра

сжатыми в области высоких температур, — шкала становится неравномерной. Эта неравномерность шкал при разных пределах измерения особенно заметна для термометров из металла с высоким удельным сопротивлением. На рис. 5 показаны кривые отклонения гальванометра в зависимости от температуры термометра, изготовленного из платиновой проволоки, при разных пределах измерения для равноплечного моста $R_1 = R_2 = R_3$. На оси абсцисс отложены значения температуры термометра в долях от наивысшей температуры для данного предела измерения, а на оси ординат — показания гальванометра в долях от наивысшего показания.

Наряду с возрастанием знаменателя (уравнение 2) на непропорциональность шкалы влияет отклонение увеличения сопротивления с температурой от линейного закона.

Зависимость электросопротивления металла от температуры задается уравнением:

$$R_1 = R_0 [1 + \alpha (T_1 - T_0)], \quad (3)$$

где: R_1 — сопротивление проводника при температуре T_1 ;

R_0 — сопротивление того же проводника при температуре T_0 ,

α — температурный коэффициент сопротивления.

Однако уравнение (3) представляет собой лишь первое приближение к математическому оформлению физического явления, так как ни один проводник не обладает линейной зависимостью сопротивления от температуры.

(На рис. 6 представлены кривые возрастания электросопротивления материалов термометров сопротивления).

Надо подчеркнуть, что описанное обстоятельство несколько вырав-

нивает шкалу в случае железных и никелевых термометров (до 200°) и делает ее более неравномерной в случае платиновых термометров (2).

Последнее имеет важное значение при выборе материала для термометра: неравномерность шкалы затрудняет градуирование шкалы гальванометра, влияя на ее точность; сжатие шкалы затрудняет отсчет по стрелке в области высоких температур (рис. 7).

Исходя из этих соображений, как материал для термометра сопротивления, нами был выбран никель, тем более что при меньшем, чем платина, удельном сопротивлении он обладает (см. табл. 1) большим температурным коэффициентом α , следовательно, лучше реагирует на повышение температуры. Излом кривой (см. рис. 6) никеля лежит вне пределов температур, охватываемых нашим прибором ($-20^{\circ}-+160^{\circ}$) в этих пределах, наоборот, увеличение сопротивления никеля с температурой наиболее приближается к линейному закону.

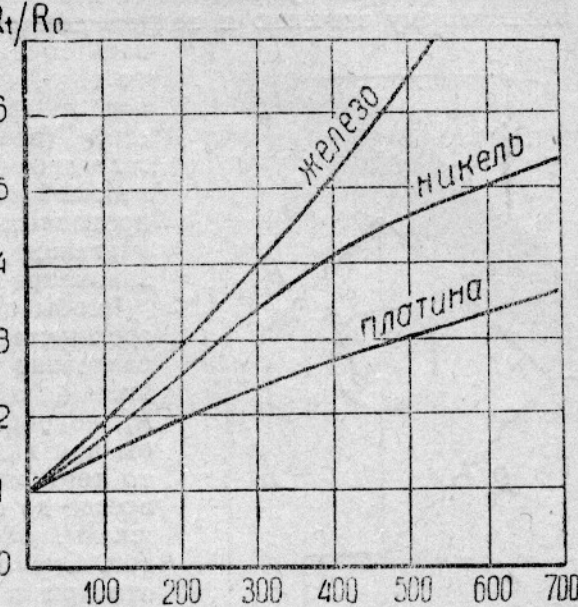


Рис. 6. Кривые зависимости электросопротивления металлов от температуры

Таблица 1
Физические свойства некоторых материалов для термометров сопротивления

Материалы	Удельное сопротивление (в микромах $\times$ см)	Температурн. коэффициент электросопротивления α	t (в $^{\circ}$ C)	t_2 (в $^{\circ}$ C)
Медь	1,56 при 0°С	$4,33 \cdot 10^{-3}$	0	100
Серебро	1,47 " 0°С	$4,10 \cdot 10^{-3}$	0	100
Железо	8,9 " 0°С	$6,57 \cdot 10^{-3}$	0	100
Никель	6,9 " 20°С	$6,66 \cdot 10^{-3}$	0	100
Платина	9,81 " 0°С	$3,92 \cdot 10^{-3}$	0	100

Регулирование напряжения

Из уравнения (2) видно, что показания гальванометра в схеме моста пропорциональны напряжению на вершинах моста. Поэтому для исправной работы схемы моста необходимо поддерживать напряжение

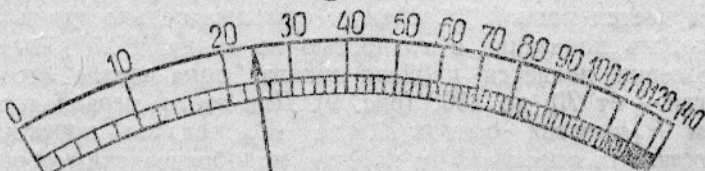


Рис. 7. Шкала платинового термометра сопротивления ВТИ

на его вершинах постоянным. Это достигается включением в схему последовательно с аккумулятором регулировочного реостата R_p (рис. 8), с помощью которого напряжение на вершинах моста C и D приводится к надлежащему значению и поддерживается так, заставляя схему давать точные показания, независимо от того, что аккумулятор «садится», или от других побочных погрешностей (возрастание сопротивления гальванометра от повышения окружающей температуры, изменение сопротивления плеч моста от старения манганина, ослабление магнита гальванометра и пр.).

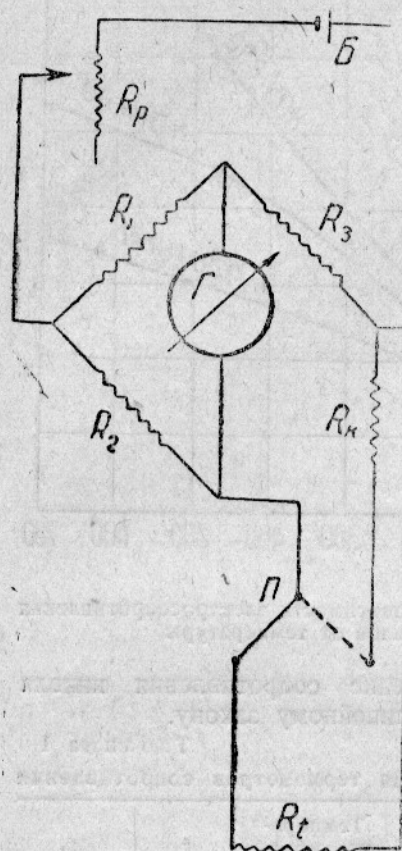


Рис. 8. Приспособление к схеме моста для регулирования напряжения на его вершинах: R_1 , R_2 , R_3 —постоянные плечи моста; R_t —термометр сопротивления; B —батарея; R_p —регулируемый реостат; G —гальванометр; R_k —контрольное сопротивление; P —переключатель, которым можно включить по желанию то R_t , то R_k .

Чтобы судить о наличии этих погрешностей, в схему включается параллельно термометру сопротивление R_k , подобранное таким образом, чтобы при включении его в цепь вместо термометра стрелка отклонялась всегда до одного и того же деления шкалы, обозначенного красной чертой. Очевидно, это будет иметь место при надлежащем напряжении на вершинах моста, в противном случае стрелка или не дойдет до красной черты или перейдет за нее,—тогда регулировочным реостатом приводят стрелку на красную черту, устраняя тем самым причины возникших погрешностей.

Шкала прибора

Перед нами была поставлена задача охватить одним прибором возможно более широкие пределы температур, при которых происходит обработка рыбы: область низких температур—для мороженой рыбы, средних—для парной и высоких—для рыбы при горячем копчении. Таким образом, получаем пределы от -20° до $+160^\circ$, принимая во внимание, что

прогрев рыбы при копчении (обычно не выше $70-80^\circ$) интересно исследовать параллельно с температурой в самой камере, которая в некоторых системах печей может доходить до 160° . Такой широкий интервал температур не представляется возможным уложить в длину одной шкалы без того, чтобы ее не сжать настолько, что цена деления получается равной 2° . Между тем желательно иметь возможность наблюдать показания с точностью не менее $\pm 0,5^\circ$. Выходом из этого положения является двойная шкала: одна шкала от -20 до $+70^\circ$, другая—от 70 до 160° (рис. 9). Для этого параллельно с сопротивлением R_2 имеется сопротивление R'_2 , которое переключателем P можно включить вместо R_2 и которое подобрано таким образом, что при включении его вместо R_2 в мост последний находится в равновесии при температуре термометра 70° . Тогда стрелка гальванометра, дойдя

до деления 70° по верхней шкале, при переключении на сопротивление R'_2 возвращается на начальное деление, и отсчет производится по нижней шкале.

Уравнительная катушка

Чтобы схема моста работала на различных расстояниях от измеряемых точек, предусмотрены так называемые уравнительные катушки сопротивлением в 3Ω , включенные последовательно с термометрами.

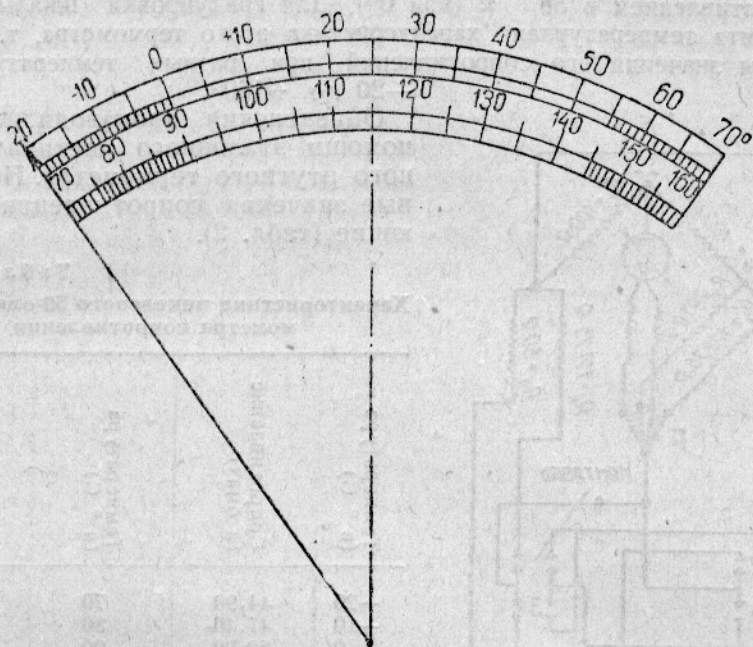


Рис. 9. Двойная шкала прибора ВНИРО

При включении на месте работы термометров при помощи соединительных проводов той или другой длины с уравнительных катушек сматывается соответствующее количество проволоки, сопротивление которой равно сопротивлению соединительных проводов.

Окончательная схема

Таким образом окончательная измерительная схема прибора принимает вид, изображенный на рис. 10, где:

R_1, R_3 — постоянные сопротивления моста;

R_2, R'_2 — постоянные сопротивления моста, которые при помощи переключателя шкалы Π могут попеременно включаться: R_2 — для верхней шкалы от -20 до $+70^\circ$, R'_2 — для нижней шкалы от 70 до 160° .

Четвертым плечом моста являются термометры T_1, T_2, T_3 , включаемые в мост попеременно при помощи контактов 1, 2 и 3.

Четвертый контакт, обозначенный словом «контроль», включает вместо термометра контрольное сопротивление R_k для контроля напряжения (см. раздел «Регулирование напряжения»).

Последовательно с каждым термометром включены уравнительные сопротивления R_u для уравнивания соединительных проводов.

B — источник постоянного тока; последовательно с B включен регулировочный реостат R_p для регулирования напряжения на вершинах моста.

Γ — указывающий прибор.

Примечание. Сопротивление термометров T_1, T_2, T_3 составлены из переменного сопротивления 50 Ω (собственно термометр) и постоянного сопротивления $\approx 50 \Omega$, включенного последовательно к последнему; итого 100 ом.

Такой прием значительно выравнивает шкалу, определяя момент, когда увеличение знаменателя (уравнение 2) идет быстрее увеличения числителя, о чем нами было сказано выше.

Характеристика никелевого термометра

Активная часть нашего термометра выполнена из никелевой проволоки сопротивлением в 50 Ω (при 0°). Для градуировки - шкалы нами была снята температурная характеристика этого термометра, т. е. определены значения его сопротивлений при разных температурах от -20 до $+160^\circ$.

Определения производились при помощи эталонного мостика и точного ртутного термометра. Полученные значения сопротивления следующие (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика никелевого 50-омного термометра сопротивления

Температура (в °C)	Сопротивление (в омах)	Температура (в °C)	Сопротивление (в омах)
-20	44,90	70	69,75
-10	47,40	80	72,85
0	50,00	90	76,05
10	52,60	100	79,30
20	55,30	110	82,65
30	58,05	120	88,10
40	60,60	130	89,60
50	63,80	140	93,15
60	67,75	150	96,75
—	—	160	98,35

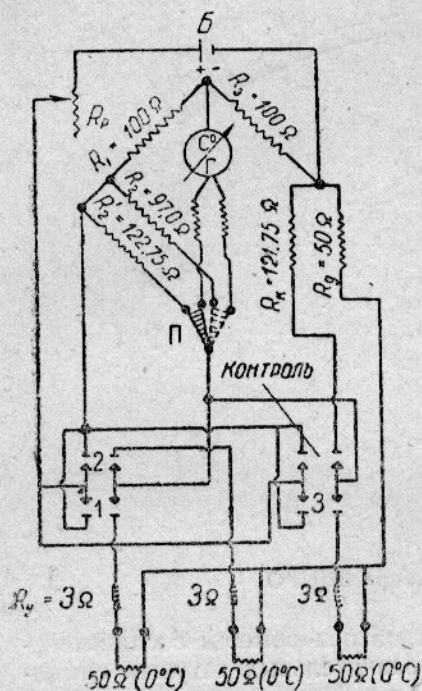


Рис. 10. Полная схема прибора ВНИРО

1. Выбор сопротивлений моста

Сопротивления плеч моста:

а) Постоянные плечи моста $R_1 R_3$ выбраны по 100 ом.

б) Плечо термометра R_t составлено из сопротивлений:

- 1) собственно термометр — переменное сопротивление 50 ом (при 0°);
- 2) добавочное постоянное сопротивление 50 ом
- 3) уравнивающее сопротивление R_y 3 ома

Итого

103 ома

в) Сопротивление четвертого плеча моста R_2 получается из следующего простого расчета: мост находится в равновесии при пропорциональности его плеч, т. е. когда

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_t} \quad \text{в этом случае в}$$

гальванометре тока не будет, и стрелка будет стоять на начальном делении шкалы, т. е. на -20° . При температуре -20° общее сопротивление термометра R_t будет:

$$44,9 \text{ (по табл. 2)} + 50 \pm 3 = 97,9 \text{ ом.}$$

Таким образом, и R_2 для верхней шкалы (от -20 до 70°) должно быть 97,9 ом.

Для нижней шкалы (от 70 до 160°) стрелка должна быть возвращена на начальное деление при температуре термометра 70° , т. е. равновесие моста должно установиться, когда термометр примет температуру 70° .

При температуре 70° общее сопротивление R_1 будет:

$$69,75 \text{ (согласно табл. 2)} + 50 + 3 = 122,75 \text{ ом.}$$

Следовательно, и R'_2 для нижней шкалы должно быть равно 122,75 ом.

Итак, имеем: $R_1 = 100$ ом; $R_2 = 97,9$ ом; $R'_2 = 122,75$ ом; $R_3 = 100$ ом; $R_4 = 50$ (при 0°) ом; $R_{\text{доб.}} = 50$ ом; $R_y = 3$ ома

2. Сопротивление контрольной катушки

Контрольная катушка включается поворотом правого джека на отметку «контроль» при контроле напряжения на вершинах моста. В этом положении джека включается в схему вместо термометра постоянное сопротивление R_k выбираемое таким образом, что оно равно сопротивлению термометра, которое бы он имел при температуре, близкой к чаще всего измеряемой. В нашем случае это температура, близкая к 70° . Берем температуру 65° . Сопротивление термометра при 65° равно:

$$68,75 \text{ (согласно табл. 2)} + 50 + 3 = 121,75 \text{ ом.}$$

Итак, $R_k = 121,75$ ом.

При включении в цепь вместо термометра сопротивления R_k стрелка должна стать на деление $+65^\circ$, обозначенное на шкале красной чертой, как было указано выше.

При включении переключателем Π (рис. 10) той или другой шкалы одновременно включается соответственно то или другое добавочное, последовательное с гальванометром, сопротивление, которое регулирует предельное отклонение стрелки гальванометра.

Конструктивное оформление прибора

При внешнем оформлении мы исходили из необходимости иметь портативный прибор, поскольку его назначение — контроль температуры рыбы при разных процессах, территориально не связанных между собой. Хотя схема прибора, позволяет присоединить к нему сколько угодно точек замера и на любом расстоянии, однако во избежание лишнего расхода электропровода удобно сделать его переносного типа.

Общий вид прибора представлен на рис. 11.

Все измерительное устройство и управление смонтированы на эбонитовой панели, помещенной в прямоугольном ящике размером $45 \times 25 \times 10$ см.

На внутренней стороне панели смонтирована измерительная схема (рис. 12). На левой стороне видны четыре пары клемм; три пары для присоединения трех термометров, одна пара — для присоединения батареи. В середине панели наверху регулировочный реостат, в середине два джека (переключатели), внизу переключатель шкалы. Вокруг джеков — катушки моста, контрольная катушка и пр. На правой стороне панели: наверху окно для шкалы гальванометра, внизу корректор и арретир.

На верхней стороне панели (рис. 13) мы видим, справа четыре пары клемм для трех термометров и батареи, в середине: наверху регулировочный реостат, под ним два джека (в вертикальном положении), могущие переключаться попеременно вверх и вниз, включая таким образом 1-й, 2-й или 3-й термометры или контрольную катушку («контроль»). Под ними — кнопочный переключатель шкалы, который может нахо-

даться в выдвинутом положении, тогда он включает плечо R_2 для верхней шкалы или может быть опущен нажатием пальца вниз; тогда он включает плечо R'_2 для нижней шкалы.

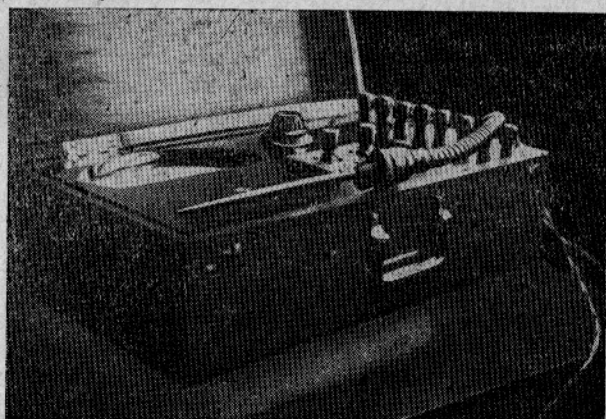


Рис. 11. Общий вид прибора

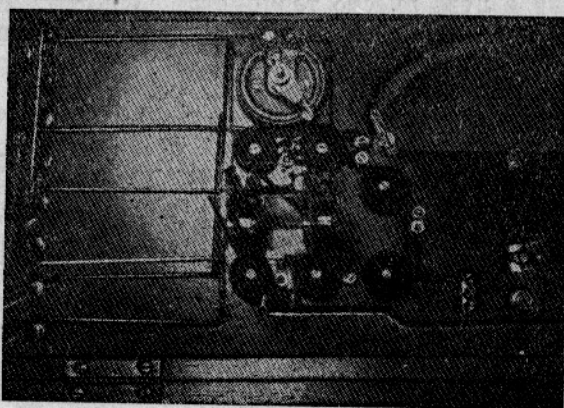


Рис. 12. Внутренняя сторона панели прибора

На левой стороне панели, в левом углу, шкала гальванометра: верхняя от -20 до $+70$ и нижняя от $+70$ до $+160^\circ$.

На делении 65° видна контрольная (жирная) красная черта.

Под гальванометром — винт корректора для установки стрелки на начальное деление, а под ним арретир для запираания стрелки во время переноски прибора.

Конструкция термометра

Никелевая проволока термометра намотана на слюдяную пластинку, вставленную в защитную никелевую трубку диаметра $= 7$ мм длиной, 200 мм с остроконечной насадкой (рис. 14).

Защитная трубка в верхней части примыкает к контактной головке термометра с двумя клеммами, к которым выведены и припаяны оба конца проволоки термометра. Головка имеет газовую нарезку, на которую навинчивается крышка головки. Крышка имеет отверстие, куда вводятся и закрепляются на клеммах концы соединительных проводов.

Чтобы придать термометру герметичность с целью возможности по-

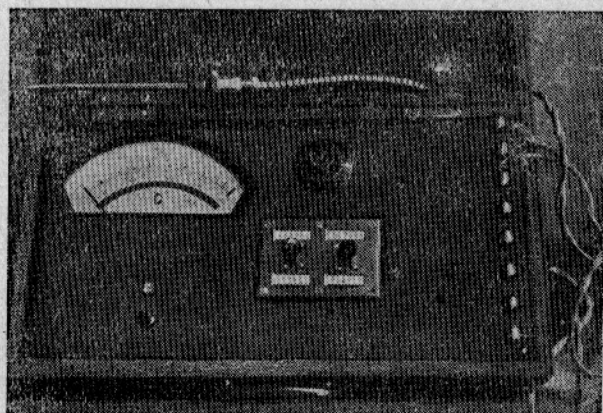


Рис. 13. Наружная сторона панели прибора

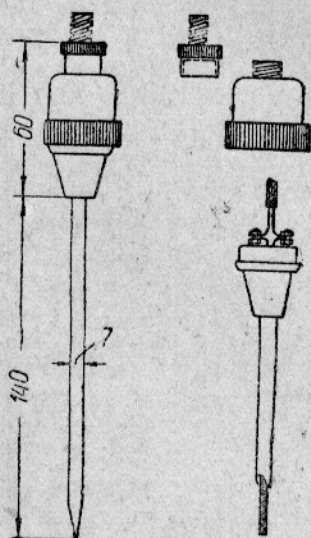


Рис. 14. Конструкция игло-видного термометра сопротивления

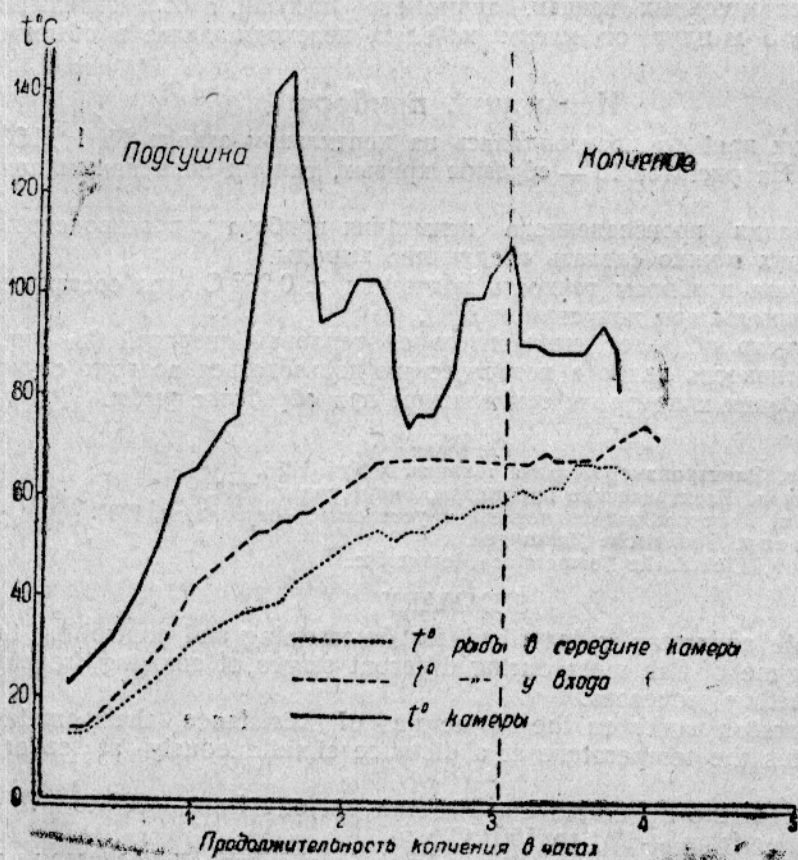


Рис. 15. Температурный режим копчения трески на московском рыбокопильном заводе № 1 (25/III 1937 г.)

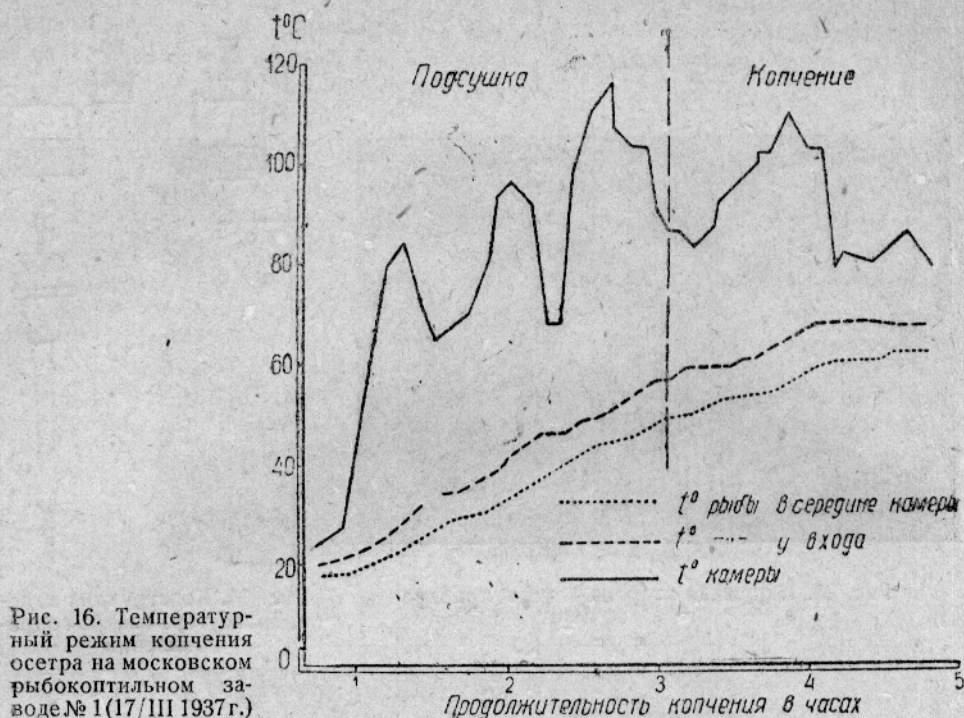


Рис. 16. Температурный режим копчения осетра на московском рыбокопильном заводе № 1 (17/III 1937 г.)

гружения его в жидкие среды, например при измерении температуры рыбы в дефростационных ваннах, термометр пропаая, а соединительные провода на 3 м идут от клемм кабелем, переходя далее в обычный шнур.

Испытание прибора

Испытания прибора производились на копильном заводе № 1 МОК Рыбсбыта. На рис. 15, 16 — образцы кривых, снятых испытанным прибором.

На основании произведенного испытания прибора в производственных условиях можно сделать следующие выводы.

1. Даваемая прибором точность показания $\pm 0,25^\circ \text{C}$ (что составляет 0,55% от шкалы при допустимом 1%).
2. Термометр обладает незначительной тепловой инерцией ($1/2$ мин.)
3. Портативность прибора позволяет им пользоваться во всех случаях исследования и контроля температуры при обработке рыбы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кейнат, Электроизмерительная техника, Кубуч, 1936.
2. Кульбуш, Электрические пирометры, Энергоиздат, 1932.
3. Темкин, Контроль работы котельных установок, Энергоиздат, 1934.
4. Gramberg, Technische Messungen.
5. Keinath, Elektrische Temperatur-Messgeräte.

SUMMARY

A portable apparatus is described for determining and controlling the thermal regime of fish meat during different stages of smoking, freezing and defrosting processes.

The apparatus works on the principle of resistance thermometers and indicates the temperature at a distance simultaneously at several points.

The scale of the apparatus has two ranges, one from -20° to $+70^\circ \text{C}$ and the other from $+70^\circ$ to 160°C .

The apparatus has an insignificant heat inertia and an accuracy of $\pm 0,25^\circ \text{C}$.