

## ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ТЕРМОПАР

Б. В. ВОЛЬКЕНАУ

Термопары железо-константан применяются для длительных измерений до 600°C и для кратковременных—до 800°C.

Для современной техники высоких температур такие пределы явно недостаточны и объясняются только неустойчивостью самых термопар. Если искать верхний предел измерений термопарой железо-константан, то таким пределом нужно взять ту точку (температуру), у которой нарушается пропорциональность отсчетов  $\frac{de}{dt} \cong \text{const}$ ; бесконечно малое из-

менение термоэлектродвижущей силы при бесконечно малом изменении температуры постоянно. Такой точкой для железа будет  $A_{c_1} = 910^\circ\text{C}$ . С другой стороны, можно взять верхним пределом часто встречающийся технологический процесс. Таким процессом я взял закалку углеродистой стали с малым содержанием углерода. Закалка такой стали производится при температуре до 850°C. Эта температура и выбрана, как верхний предел для длительных измерений с термопарой железо-константан. При такой температуре энергично растет на железном электроде слой окиси железа. Энергичный рост слоя окиси по Архарову [1] начинается с 570°C и с повышением температуры скорость окисления повышается.

Существуют способы предохранения железа от окисления путем покрытия его разными металлами: хромом и алюминием, а также кремнием. Более стойким металлом покрывают электроды термопар [4; 5].

Покрытия алюминием применяются в технике давно и лучше других разработаны. Мои собственные наблюдения подтверждают эффективность покрытия железа алюминием в тех случаях, когда железные изделия работают при высокой температуре.

Железные горшки для отжига колец шарикоподшипников работают как раз при температуре, немного ниже указанной, в течение 30—40 операций отжига и выходят из строя. Опытный же горшок, покрытый алюминием (опыты проводил инженер П. М. Потапов), выдержал 100 операций и остался цел.

Покрытие алюминием железного электрода должно вызвать изменение термоэлектродвижущей силы, что не желательно. Поэтому выбрана для опытов давно известная и давно забракованная карандашная термопара, показанная на рис. 1. Железным электродом в такой термопаре служит железный чехол и „бобышка“ (внизу слева). Константановый электрод, как обычно,—константановая проволока, приваренная к бобышке. Бобышка в свою очередь приварена к железной трубе, образующей чехол. Головка термопары состоит из двух железных колец с соединительными болтами и резиновой пробки, через которую проходит константановый электрод. Нижнее кольцо приварено к железной трубе—чехлу термопары, верхнее кольцо крепится на нижнем болтами, нажимая резиновую пробку.

Такая конструкция головки при герметичности всего чехла препятствует притоку кислорода к константановому электроду и внутренней поверхности железного электрода—чехла и защищает эти части от образования окислов.

Наружная часть трубки и бобышки покрыта алюминием. Трубка покрыта алюминием на  $\frac{3}{4}$  своей высоты. Для покрытия алюминием применялись два способа: 1) 18 часовое нагревание при  $900^{\circ}\text{C}$  чехла в смеси 50% порошка алюминия, 50% кварцевого песка и 2% хлористого аммония и 2) погружение чехла в сплав алюминия с небольшой добавкой железа (5%). Первый способ дает более чистые покрытия, но требует больше времени, чем второй.

При изготовлении термопары встретились трудности в изготовлении спая бобышки с константовым электродом. Из ряда опытов наилучшим оказался способ, предложенный доц. кандидатом технических наук Н. А. Балакиным, дающий чистый спай, без припоя.

Между медными электродами стыковой сварочной машины зажимается железная бобышка, просверленная сверлом несколько большего диаметра, чем константовый электрод. В отверстие насыпается жженая бура так, чтобы сверху образовалась горка. При замыкании тока меньше, чем через 1 минуту, бобышка нагревается до белого каления, а бура плавится. В это время в отверстие вводится константановая проволока, и ток выключается; константан, имеющий более низкую температуру плавления, чем белое каление, плавится и дает очень чистую сварку с железом бобышки. Потом следует отрихтовать константановую проволоку и приварить бобышку к трубе. Рихтовку следует провести тщательно, чтобы иметь возможность не ставить на константан изоляционных бус. В наших первых опытах бусы ставились, в дальнейшем они оказались излишними. Константановая проволока диаметром 2 мм в  $\frac{1}{2}$ '' газовой

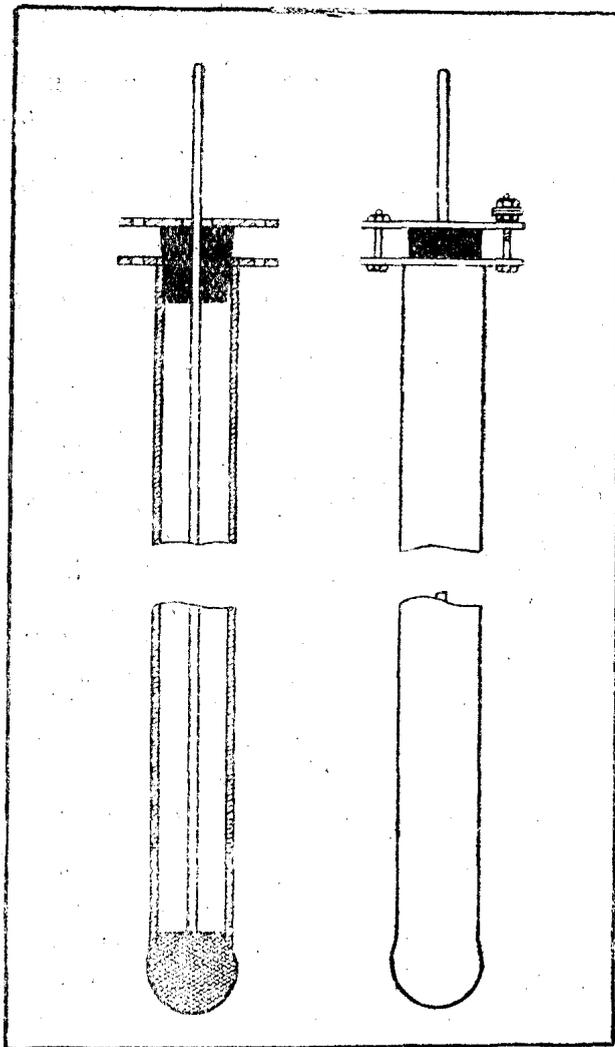


Рис. 1'

трубе длиной 750 мм и 1 м никогда не давала контакта с трубой.

Всего было изготовлено 9 термопар. Четыре из них оказались неудачными или из-за плохого покрытия алюминием или из-за плохой сварки. Железо труб и бобышки имело состав обычного торгового (табл. 1).

Таблица 1

Материал	Углерод %	Марганец %	Кремний %	Сера %	Фосфор %
Трубы . . . . .	0,09	0,27	0,09	0,05	0,04
Бобышки . . . . .	0,08	0,23	0,08	0,05	0,04

Константан, который удалось достать, был далек от стандартного константана (табл. 2).

Таблица 2.

Материал	Никель %	Медь %	Марганец %	Железо %
Стандартный константан [2]	58,8	40	1,2	—
Константан опытов . . . .	39,0	58,0	1,7	1,0

Много пришлось сделать неудачных градуировок, прежде чем удалось получить удовлетворительную, с малым разбросом показаний.

Градуировки с обнаженной (без чехла) хромель-алюминиевой термопарой впритык при введении опытной термопары и образцовой с разных концов печи давали разброс показаний слишком большой. То же получалось и при введении термопар с одной стороны печи и связывании одной с другой. Несколько лучше были результаты с платинородий-платиновой термопарой. Разница показаний в этом случае между разными градуировками была в среднем около  $15^{\circ}\text{C}$ , а в отдельных случаях достигала  $25^{\circ}\text{C}$ .

Лучше получились результаты, когда бобышка была просверлена на глубину 3 мм и в это отверстие был заложен горячий спай платинородий-платиновой термопары. По полученным потом средним (истинным) данным термоэлектродвижущих сил построена диаграмма (рис. 2) максимальных отклонений этих градуировок (сплошные ломаные линии). С эти-

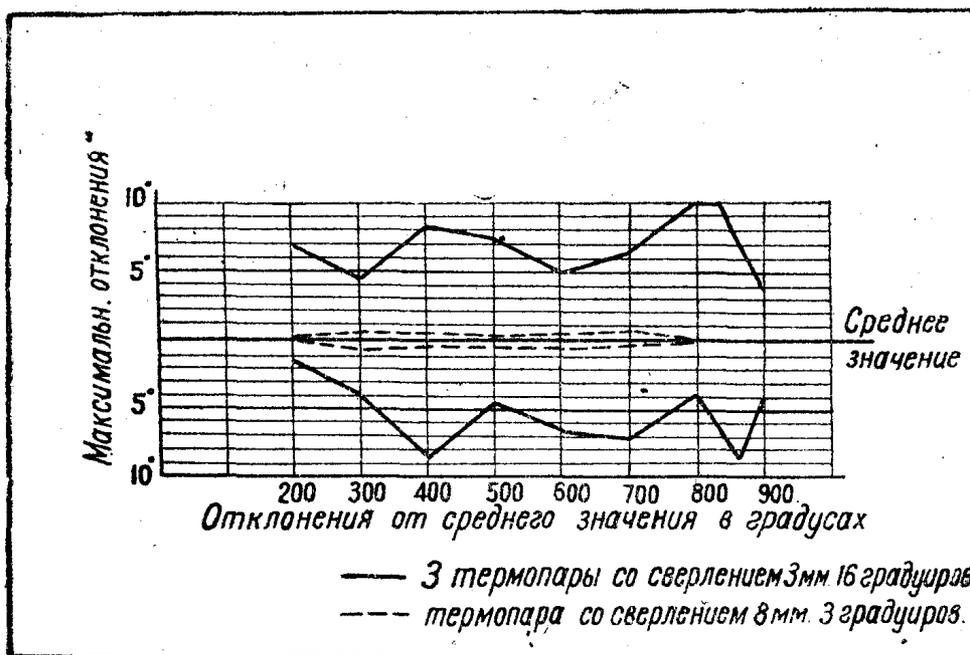


Рис. 2

ми градуировками 3 термопары были поставлены на длительное испытание на заводских печах при температурах  $800-900^{\circ}\text{C}$ . Время, когда печи остывали, разгружались и нагревались, не считалось. После 600 часов испытания градуировка уложилась в пределы, полученные до испытания. Не вполне удовлетворительная градуировка, полученная сплошной ломаной линией, заставила искать лучших результатов. Сверление глубиной 8 мм дало вполне удовлетворительное совпадение градуировок (рис. 2

пунктир). Было сделано 2 градуировки подряд и третья—после выдержки в печи 200 час. Отклонение от средней градуировки максимум 0,8°C, а разброс несколько больше 1° С. Для технических термопар это вполне удовлетворительная точность.

Благодаря тому, что константан в опытах был нестандартный, полученные термоэлектродвижущие силы при разных температурах отличаются от градуировки 538 (табл. 3).

Сравнительная градуировка в милливольтгах

Таблица 3

°C	200	300	400	550	600	700	800	850
Градуировка 538 [3]	10,60	16,25	21,90	27,60	33,35	39,30	45,50	—
Опытная градуировка	9,90	14,80	20,08	25,26	30,54	36,02	41,70	44,70

Сравнивая термоэлектродвижущую силу на 100° С в разных интервалах шкалы, будем иметь табл. 4.

Таблица 4

Термоэлектродвижущая сила на 100°C в милливольтгах

	0 200	200 300	300 400	400 500	500 600	600 700	700 800	800 850
Градуировка 538	5,30	5,65	5,65	5,70	5,75	5,95	6,20	—
Опытная . . . . .	4,95	4,90	5,28	5,18	5,28	5,48	5,68	6,00

В электрической лабораторной муфельной печи 75 × 240 × 375 мм, автоматически регулируемой, была произведена проверка инерционности

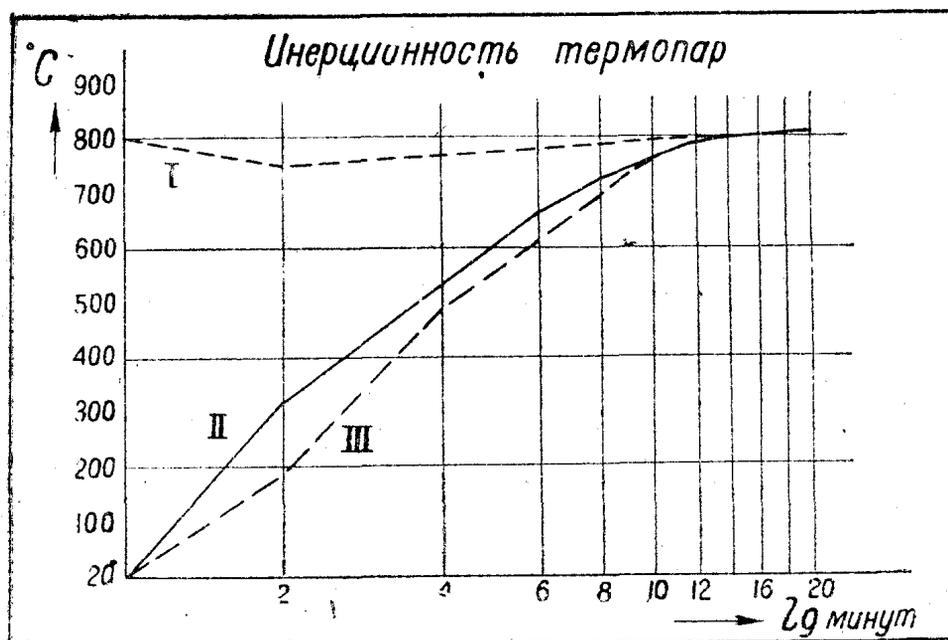


Рис. 3

опытных термопар по сравнению с заводской термопарой. Заводская термопара состояла из 2 электродов с фарфоровой изоляцией, вставленных

в железный чехол. Обе термопары, связанные вместе, вставлялись в печь близко к платинородий-платиновой термопаре, которой измерялась температура печи. Печь предварительно регулировалась на определенную температуру, а связка двух термопар вставлялась в нагретую уже печь.

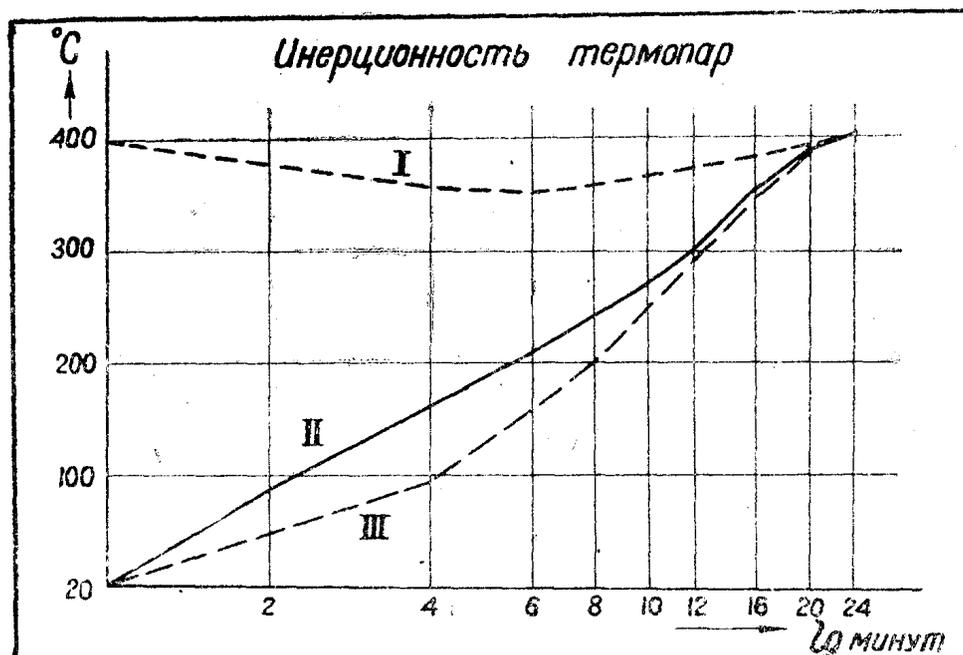


Рис. 4

На трех приложенных диаграммах (рис. 3, 4 и 5) I—температура по показаниям платинородий-платиновой термопары, II—температура по показаниям опытной термопары, III—температура по показаниям заводской термопары.

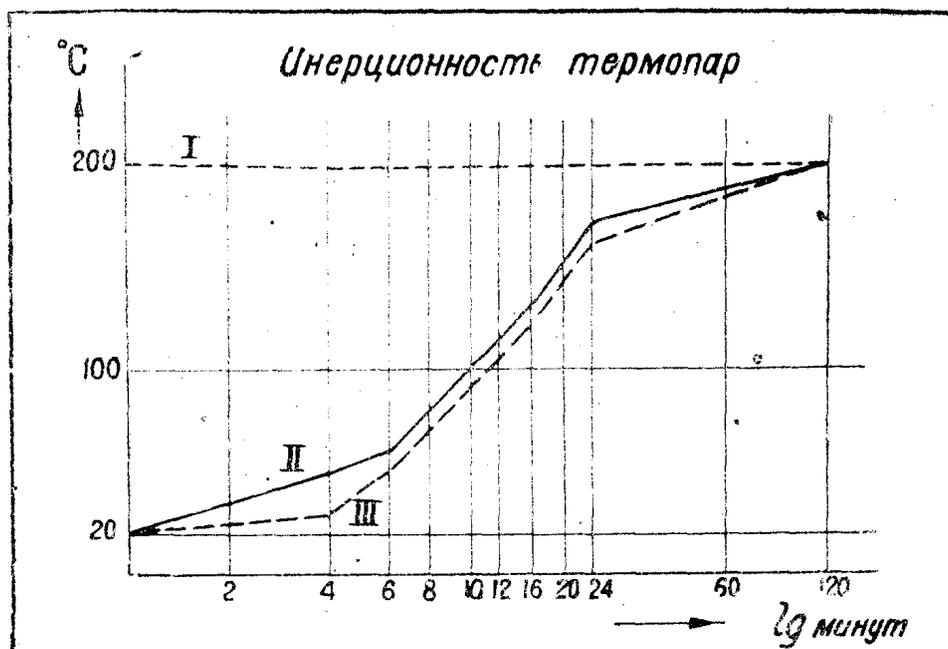


Рис. 5

По оси ординат отложены температуры, по оси абсцисс отложено время в минутах в масштабе логарифмов. Платинородий-платиновая термопара показывает падение температуры после введения связки двух тер-

мопар в чехлах. Передача тепла от печи к термопарам идет по-разному. Сперва более интенсивно прогревается опытная термопара, заводская термопара прогревается медленней, далее обе термопары показывают почти

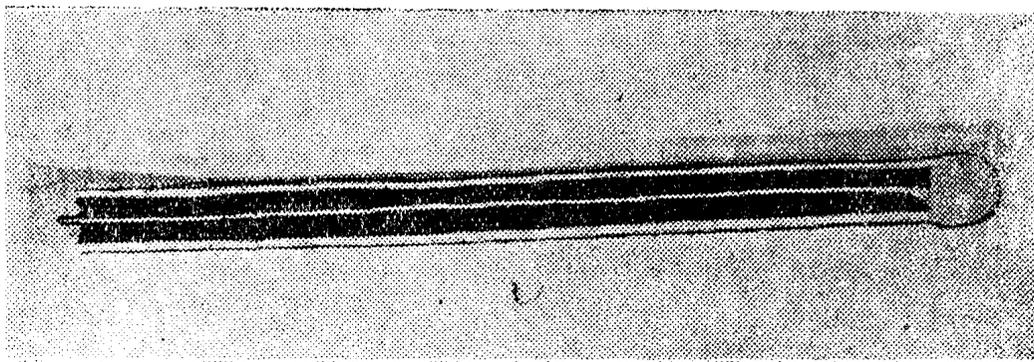


Рис. 6

одинаковую температуру и почти одновременно достигают температуры печи.

При низкой температуре печи (рис. 5) падение показаний платинородий-платиновой термопары ничтожно. Время же достижения температуры печи введенными термопарами значительно—2 часа.

3 термопары были разрезаны по плоскости, проходящей через ось трубы, для определения износа (рис. 6). Все они почти не обнаружили коррозии, кроме места приварки бобышки к трубе.

Для определения проникновения алюминия путем диффузии к месту сая бобышки с константовым электродом и определения изменения

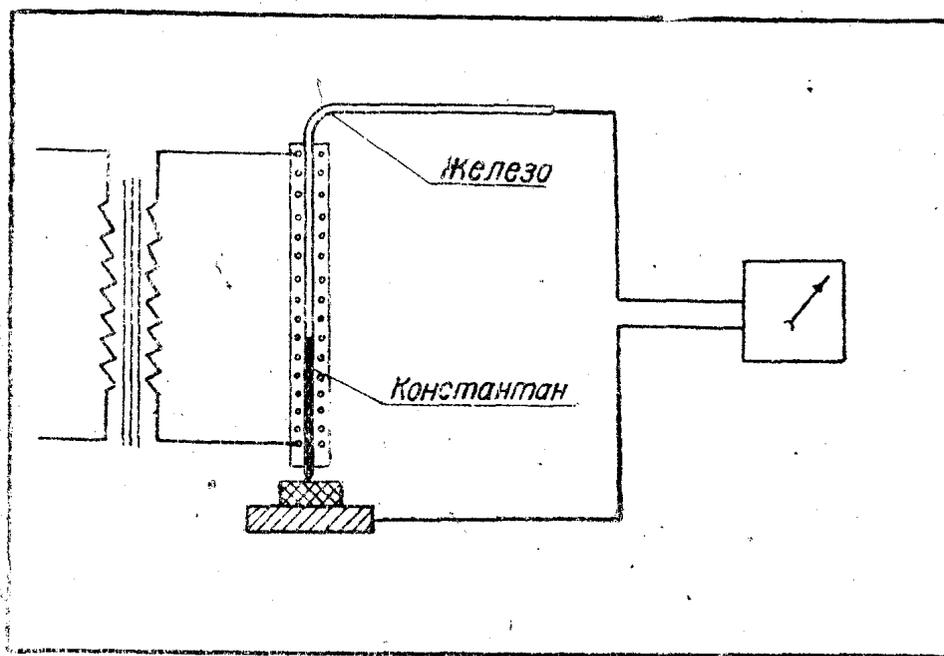


Рис. 7

состава железа был применен способ термоанализа с помощью прибора, сконструированного инженером В. К. Добер (рис. 7). На рис. дана принципиальная схема. Прибор состоит из понизительного трансформатора (слева), питающего нагреватель. Нагреватель имеет снаружи хорошую тепловую изоляцию, не показанную на схеме. Нагреватель сконструирован в виде электрического паяльника. При касании наконечником к изделию (штриховка накрест), лежащему на железной подставке (штриховка

косая), получается различная термоэлектродвижущая сила в зависимости от материала изделия. Пред началом испытания нагреватель должен быть нагрет до определенной температуры. Температура эта определяется по термоэлектродвижущей силе, возникающей при соприкосновении наконечника и подставки.

Опыт исследования изменения состава железа бобышки и трубы (чехла) был поставлен так. Разрезанный чехол (рис. 6) был тщательно зачищен по плоскости разреза и по части боковой поверхности цилиндра. Зачищенной частью цилиндра разрезанный чехол был положен на подставку термоанализатора. При касании наконечника в различных точках разрезанного чехла (рис. 8) от поверхности цилиндра (точка 7) и далее к оси термодпары (точка 1) получалась различная термоэлектродвижущая сила. Значения термоэлектродвижущей силы в различных точках, соответственно точкам рис. 8, нанесены на рис. 9.

Учитывая, что в опытах была взята труба  $1\frac{1}{2}$ " , а следовательно, расстояние от поверхности цилиндра до оси термодпары = 11 мм., не трудно видеть, что изменение состава железа распространяется весьма неглубоко от поверхности, всего на 2,5 мм. Какие это изменения—термоанализатор не показывает, да для нас это и не важно. Важно, что они

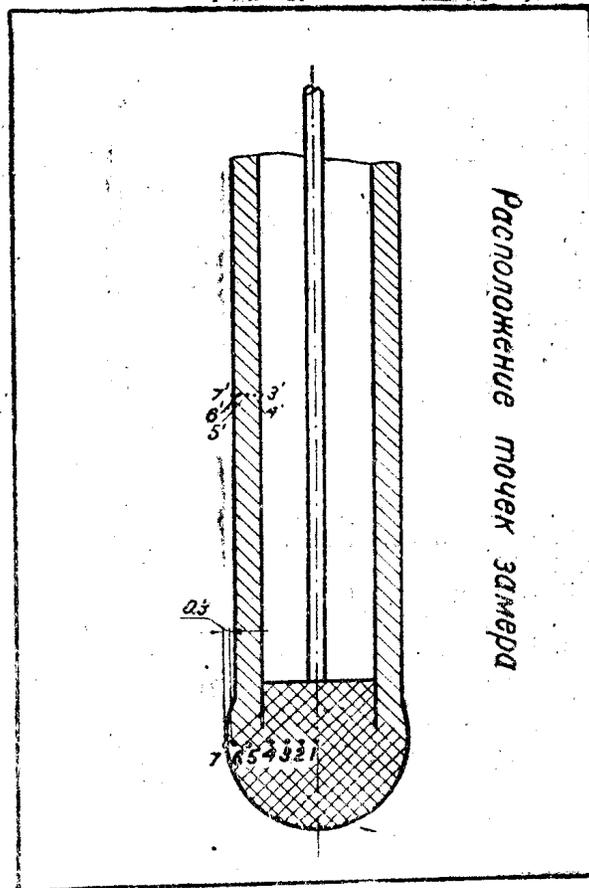


Рис. 8

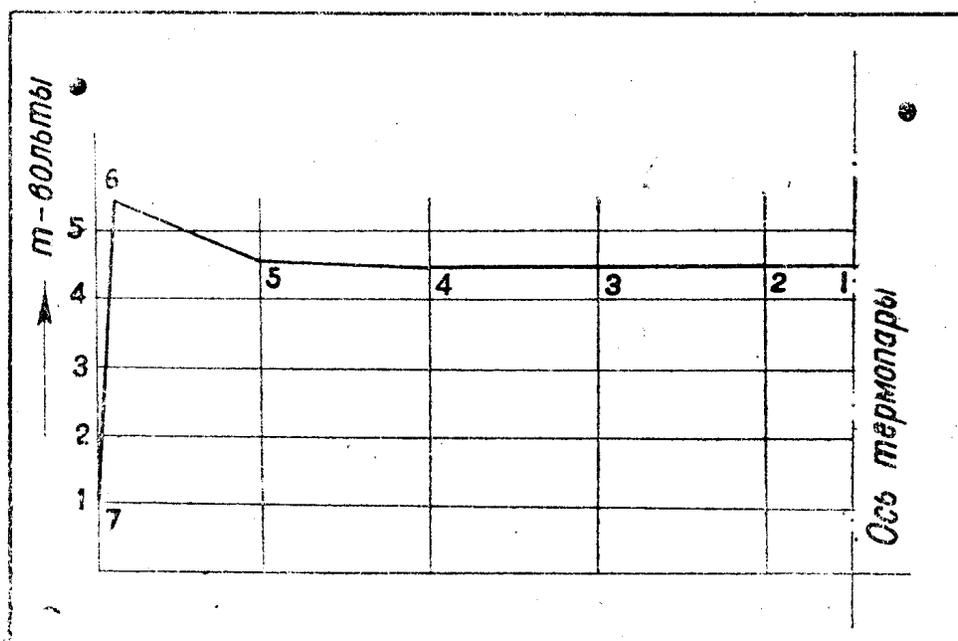


Рис. 9

не распространяются глубоко. Очевидно, что чехол и вся термопара может служить сверх проработанных 600 часов еще значительное время.

## Выводы

1. Предложенная термопара проще применяемых термопар железо-константановых. В ней один электрод и нет фарфоровой изоляции.
2. Предложенная термопара может быть с достаточной для технических целей точностью градуирована.
3. Срок службы предложенной термопары значительно выше 600 часов без изменения градуировки.
4. Предложенная термопара быстрее реагирует на изменение температуры, чем обычная, но время, нужное на нагрев предложенной и обычной термопары до температуры печи, одинаково.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архаров В. Н.—Окисление металлов, 1945.
2. Берковский И. Я. и Колоколова А. Г.—Никелевые сплавы, *Металлургиздат*, 1941.
3. Инструкция для поверки технических термоэлектрических пирометров и градуировки рабочих и образцовых термопар, 25—40, Москва, 1941.
4. Кинкулькин Б.—*Сталь*, № 8, 1933.
5. Held. S. S. *Mesure des temperatures par les couples thermoelectriques. Chaleur et Industrie*, 1939, № 230.
6. Roeser and Wensel. Reference tables for iron constantan and copper constantan thermocouples. *Journal of research of N. B. of Standards*, 1938, vol. 20.