

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИСКЛЮЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЛИЯНИЯ НА МЕРНЫЕ ПРОВОЛОКИ В ПОЛЕВОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ОБСТАНОВКЕ

Г. Н. ГУЩИН

Строительство всех инженерных сооружений требует производства геодезических работ.

Особое место среди этих работ занимают городская и инженерная полигонометрия средней точности (порядка 1 : 100000 — 1 : 200000), необходимая как для крупномасштабных съемок, так и для всевозможных геодезических разбивок при строительстве сооружений. При этом характерным отличием ведомственной (особенно подземной) полигонометрии является требуемая высокая точность при весьма коротких сторонах ходов и неблагоприятных внешних условиях для измерения длин.

В настоящее время требуемую точность линейных измерений в ведомственной полигонометрии возможно осуществить двумя путями:

- 1) с помощью мерных проволок (геометрический способ);
- 2) с помощью свето- и радиодальномеров (волновой способ).

1. Сравнительная характеристика и точность двух основных способов измерения длин — геометрического и волнового.

Последнее время в производство интенсивно внедряются новые способы определения длин линий, разработанные на основе радиоэлектроники. Этому способствует ряд организационных и технических преимуществ волнового метода измерения расстояний по сравнению с геометрическим способом. Этот ряд преимуществ особенно четко вырисовывается при измерении длин линий большой, в несколько десятков километров, протяженности. Из всех волновых дальномеров наибольший интерес представляет «Теллуrometer». Высокая точность и портативность этого дальномера обещают ему массовое применение при построении государственных геодезических сетей.

Использование же «Теллуromетра» и других дальномеров в ведомственной полигонометрии останется весьма ограниченным и в большинстве случаев — невозможным. Этому обстоятельству находится целый ряд причин.

1. Техническое несовершенство аппаратуры современных волновых дальномеров.

2. Высокий предел наиболее короткого расстояния, измеряемого волновыми дальномерами, — порядка 150—200 м для благоприятной местности и внешних условий.

3. Низкая абсолютная и относительная точность измерения коротких расстояний волновыми дальномерами (около ± 10 см).

При измерении коротких расстояний волновой способ сравнительно с геометрическим является менее экономичным ввиду наличия следующих недостатков:

- 1) длительность процесса измерения коротких расстояний;
- 2) сложность и дороговизна аппаратуры волновых дальномеров;
- 3) сравнительная сложность камеральной обработки результатов измерения;
- 4) высокие требования к квалификации обслуживающего персонала.

Из сказанного видно, что условия производства ведомственной полигонометрии не позволяют отказаться от точных методов непосредственного измерения линий мерными проволоками или лентами. Проволока как мерный прибор незаменима в подземной полигонометрии, при сооружении тоннелей, при измерении глубины шахты, при решении специальных задач, где требуется точное измерение коротких длин линий, при откладывании заданных длин и т. п.

Для определения длин линий с точностью, указанной выше, при их измерении проволоками необходимо учитывать ряд поправок и в первую очередь — за наклон линии, температуру и компарирование проволоки.

Перечисленные поправки, исключая температурную, могут быть определены достаточно легко и точно. Учет же температурной поправки остается приближенным в основном из-за грубого измерения температуры проволоки.

Вопрос учета температуры в линейных измерениях всегда был предметом особого внимания геодезистов. Изучением и исследованием его занимались и занимаются многие специалисты.

С появлением базисного прибора Едерина-Гильома наметилось два основных направления в изыскании путей исключения температурного влияния на мерные проволоки:

- а) разработка и усовершенствование способов определения температуры проволок в процессе измерения;
- б) создание и усовершенствование методики изготовления таких проволок, которые почти совершенно не подвергаются линейному изменению под влиянием изменений температуры.

II. Сравнительная характеристика инварных и стальных мерных проволок

В настоящее время при производстве высокоточных линейных измерений во всех странах применяются исключительно инварные проволоки или ленты.

При измерении же длин линий малой и средней точности применяются стальные и инварные мерные приборы. Кроме того, при решении ряда специальных задач, например, измерении глубины шахты и др. применяются исключительно стальные проволоки.

Инварные проволоки обладают рядом прекрасных метрологических свойств: почти не окисляются, имеют большой модуль упругости и очень малый температурный коэффициент линейного расширения α . Вместе с тем инвар как сплав имеет ряд отрицательных свойств. Основным недостатком инварных проволок является малая их стабильность, возникающая из-за неустойчивости микроструктуры инвара. Выражается это прежде всего в том, что:

- а) инварная проволока с течением времени непрерывно и закономерно удлиняется;

б) температурные коэффициенты α и β инварных проволок не являются величинами постоянными; их нужно определять для каждой проволоки в отдельности и через известные промежутки времени;

в) технология изготовления инварных проволок является сложной, длительной и дорогостоящей.

Учитывая отмеченные недостатки инварных проволок, было бы экономически выгоднее измерение линий со средней точностью производить стальными проволоками подобно тому, как, например, измерение углов теодолитных ходов обычной точности производят обычными, а не прецизионными теодолитами. Кроме того, стальные проволоки в отличие от инварных имеют большую молекулярную устойчивость и потому значительно лучше сохраняют свою длину в процессе измерения. Наконец, и это самое главное, стальные проволоки имеют устойчивый и близкий к справочному коэффициент температурного расширения α .

Величина α для марок стали, употребляемых при изготовлении мерных приборов, колеблется от 0,0000115 до 0,0000125 град⁻¹[8]. В табл. 1 приведены допустимые предельные ошибки определения коэффициента α в зависимости от точности измерения длин и разности температур компарирования проволоки и измерения ею.

Таблица 1

Разности температур ($t - t_x$)	Допустимые ошибки определения коэфф. α , выраженные в 10^{-7} град ⁻¹ , при точности измерения длин						
	1:10000	1:20000	1:40000	1:50000	1:80000	1:100000	1:200000
5,0°C	200	100	50	40	25	20	10
10,0	100	50	25	20	12	10	5
15,0	67	34	17	13	8	1	3
20,0	50	25	12	10	6	5	2

Изучение табл. 1 показывает, что при измерении линий стальными проволоками в большинстве случаев ведомственной полигонометрии коэффициент α можно брать непосредственно из справочника. Очень незначительная часть указанных в табл. 1 ошибок превышает 10 единиц седьмого знака, т. е. значения, в пределах которого различаются между собой справочные величины коэффициента α . Это обстоятельство значительно упрощает и удешевляет производство линейных измерений стальными проволоками. Далее совершенно ясно, что если мы будем в паспорте мерной проволоки указывать марку стали, из которой она изготовлена, то, выбирая коэффициент α непосредственно из справочника для указанной марки стали, мы тем самым получаем возможность вообще отказаться от специальных или же повторных исследований по определению α . Результаты компарирования значительного числа стальных проволок на компараторе МИИГА и К подтверждают это положение.

Но стальные мерные проволоки, имея большую величину коэффициента α , подвержены значительному температурному влиянию. Например, изменение температуры 24-метровой стальной проволоки на $\pm 1,0^\circ\text{C}$ вызывает изменение ее длины на $\pm 0,3$ мм.

Таким образом, разработка способов точного определения температуры стальных мерных проволок с использованием для этого современного состояния теплоизмерительной техники имеет важное значение. Вопрос повышения точности учета температуры измерительного прибора имеет практическое значение и в работах, проводимых инварными

проводами, например, при решении специальных задач, когда требуется получить очень высокую точность линейных измерений.

III. Причины трудности определения температуры мерных проволок

Температура является параметром состояния тела и характеризует степень его нагретости. В общем случае температура t в данной точке M тела выражается некоторой функцией координат x, y, z точки M и момента времени τ :

$$t = F(x, y, z, \tau). \quad (1)$$

Мерную проволоку, имеющую 24-метровую длину и ничтожно малую в сравнении с длиной площадь поперечного сечения, равную $3,14 \times 10^{-6}$ кв. м., можно принять за нить. Учитывая еще то обстоятельство, что мерная проволока имеет большую поверхность соприкосновения с окружающей средой, равную 0,15072 кв. м, мы имеем полное основание считать ее температуру t_{np} функцией расстояния x вдоль проволоки и момента времени τ :

$$t_{np} = f(x, \tau), \quad (2)$$

где вид функции f зависит от теплопроводности металла, из которого изготовлена проволока.

Уравнение (1) может служить также для выражения температурного поля среды, окружающей проволоку. Обозначая температуру этой среды t_{cp} , будем иметь:

$$t_{cp} = \varphi(x, y, z, \tau). \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) показывают, что при определении температуры проволоки, находящейся в производственной обстановке, мы имеем дело с одномерным нестационарным температурным полем мерной проволоки и трехмерным нестационарным температурным полем окружающей ее среды.

Трудность определения температуры проволоки t_{np} объясняется рядом причин.

Прежде всего сказывается то обстоятельство, что измерение температуры проволоки производится при непрерывном изменении состояния окружающего ее воздуха: в пасмурную, переменную, солнечную, тихую и ветренную погоду.

Далее, точность измерения температуры проволоки зависит от вида температурного датчика и способа его применения. Здесь наиболее существенным является следующий момент: на каком бы принципе термометр не был основан, он показывает свою собственную температуру. Поэтому необходимо прежде всего осуществить такой способ его применения, который обеспечил бы равенство температур проволоки и теплочувствительной части (датчика) термометра. При этом очень важно исключить воздействие окружающей среды (солнечных лучей, ветра) непосредственно на теплочувствительную часть термометра. Исключением служит только тот случай, когда датчиком является сама мерная проволока (например, способ Берлеева).

IV. Различные методы исключения температурного влияния на мерные проволоки

В 1884 году Едерин предложил измерение длин линий производить мерными проволоками. При этом для определения температуры проволок он использует идею металлического термометра Бесселя, но в новой форме.

Около 1898 года специально поставленными работами в Международном бюро мер и весов в Бретейле под руководством вначале Бенуа, а потом Гильома удалось получить инвар.

Усовершенствованный прибор Едерина с инварными проволоками впервые испытывался в 1898 году во время шведско-русской экспедиции на о. Шпицберген. Позднее русские геодезисты применили прибор Едерина-Гильома в 1903—1904 гг. при измерении Термезского и Самаркандского базисов. Руководителем работ был военный геодезист Д. Д. Геденов. В 1907 году под руководством того же Д. Д. Геденова измеряется Казалинский базис. В дальнейшем применении и усовершенствовании этого прибора занимались до 1917 г. русские военные геодезисты Осипов, Селиверстов, Павлов, О. Г. Дитц. После 1921 г. до 1935 г. этими вопросами занимается Главное геодезическое управление. С 1935 г. освоением и исследованием мерных проволок и лент из советского инвара, а также разработкой термоэлектрического метода определения коэффициента расширения лент и проволок занимается группа сотрудников кафедры геодезии МИИГА и К и ЦНИИГА и К. Общим руководителем этой работы был профессор А. С. Чеботарев. Наиболее активное участие в работе принимали профессор А. С. Юркевич, доценты Д. С. Шейн и Е. Н. Красоткин. Проведенная ими работа явилась значительным этапом в развитии службы геодезической метрологии страны. В результате этой работы к 1940 году советские геодезисты получили инварные проволоки отечественного производства, не уступающие по основным физическим и метрологическим показателям заграничным.

Определение температуры мерного прибора непосредственно в момент измерения выполнялось следующими способами.

Так, в 1929 г. Ф. Павлов [6] температуру проволоки определяет прашевым термометром со шкалой, имеющей цену деления в $0,2^{\circ}\text{C}$.

В 1937 г. Б. Шейтлес в своей работе [9] предлагает одеть на рабочий прашевой термометр оправу из спирали, сделанную из той же проволоки, что и мерный прибор.

В 1936 году Г. Н. Лиодт впервые предложил использовать для измерения температур мерного прибора термопару [2].

В 1944 году задача определения температуры мерного прибора была одной из центральных, обсуждаемых в ЦНИИГА и К на метрологической конференции [12].

В последующем, до настоящего времени, к разработке и усовершенствованию методов определения температуры мерных проволок было приковано внимание ряда других авторов. Так, в 1948 г. В. К. Митюрёв выполнил исследование на тему «Определение температуры стальных лент и проволок термоэлектрическим методом» [3]. Несколько позднее, в 1950—1951 гг. научные сотрудники метрологической лаборатории ЦНИИГА и К М. В. Шабат и М. Е. Красоткин [10] для определения температуры инварных проволок использовали «комбинированный прибор», который состоял из термометра сопротивления и дифференциальных термопар. При этом по термометру сопротивления отсчитывалась температура воздуха, а по термопарам — разность температур воздуха и проволоки.

В 1954 г. профессор А. С. Юркевич вновь выступает со статьей об учете температурного фактора в точных линейных измерениях [13].

В 1956 г. Г. И. Берлеев предлагает для определения температуры мерного прибора измерять изменение электрического сопротивления самого мерного прибора в зависимости от изменения его температуры. При этом сопротивление прибора измеряется дифференциальным методом постоянного тока, сконструированным Г. И. Берлеевым [1].

В 1956 году М. В. Постников предложил для измерения температуры проволок использовать полупроводниковое микротермосопротивление (термистор). По его заказу в г. Новосибирске был изготовлен термистор первой модели [4]. В 1957 г. на кафедре физики ТИСИ была изготовлена вторая модель термистора [5].

В 1959 году автор настоящей работы предложил термистор третьей модели, который был изготовлен на кафедре физики ТИСИ [14].

V. Классификация методов исключения температурного влияния на мерные проволоки

На основании изучения конструкций отечественных и зарубежных термометов и способов определения температуры мерных проволок автором разработана классификация методов исключения температурного влияния на мерные проволоки, которая подводит некоторый итог вековой работы специалистов в создании этих методов.

В основу предлагаемой классификации положены:

1. Принцип действия применяемого термометра.
2. Термометрическая основа, используемая для учета температуры мерной проволоки.
3. Способ контактирования температурного датчика с исследуемой проволокой.
4. Способ ослабления линейного изменения проволоки под влиянием изменений температуры.

В своем историческом развитии способы исключения температурного влияния на мерные проволоки по первому признаку классификации выделились в следующие методы:

- а) биметаллизма, регистрирующий температуру проволок металлическим термометром;
- б) терможидкостный, объединяющий все способы измерения температуры мерного прибора ртутными термометрами;
- в) термоэлектрический, при котором температура проволоки измеряется термопарой;
- г) термочувствительных сопротивлений, основанный на зависимости электросопротивления датчика от его температуры.

По термометрической основе, используемой для фиксирования температуры проволок в момент определения ими длины линии, рассматриваемые методы создаются на измерении:

- а) термического относительного удлинения проволок;
- б) теплового удлинения ртути;
- в) термоэлектродвижущей силы термопары;
- г) электросопротивления температурного датчика.

По третьему признаку, взятому в основу классификации, способы определения температуры проволок можно представить как

- а) метод непосредственного контакта и
- б) метод посредственного контакта.

Наконец, в целях ослабления температурного влияния на длину проволок имеем два метода:

- а) ночные измерения длин линий и
- б) создание термостойких сплавов, используемых для изготовления мерных проволок.

Предлагаемая классификация методов исключения температурного влияния на подвесные мерные проволоки может быть представлена в виде схемы.

VI. Оценка различных методов определения температуры мерных проволок в полевых условиях

Рассмотрев известные способы определения температуры мерных проволок, мы видим, что для ее измерения в полевых условиях различными авторами рекомендовались четыре вида термометров: металлический, ртутный, термоэлектрический и термометр сопротивления.

Для сравнения указанных способов определения температуры проволок нами были проведены многочисленные специальные исследования. Такие исследования производились на геодезических полигонах ТПИ и ТИСИ под руководством доцента Б. Ф. Крутого. Для определения температуры в этих опытах применялись: прачевые термометры во всех вариантах их применения; ртутные термометры, подвешенные на уровне мерной проволоки, — открытый и затененный; медь-константановая термопара и термисторы второй и третьей моделей.

Результаты наших исследований и исследований, опубликованных другими авторами, позволяют провести оценку различных способов определения температуры мерных проволок в полевых условиях.

А. Металлические термометры

Способ определения температуры проволоки, предложенный Едериным и основанный на принципе биметаллизма, не нашел практического применения ввиду наличия существенных недостатков:

1. Сравнительно высокие значения коэффициентов термического удлинения стальной и латунной проволок могут привести к неточному учету температуры, если не принять во внимание даже малых колебаний ее, особенно в момент смены проволок.

2. Данный метод основан на утверждении, что в каждый отдельно взятый момент времени температуры стальной и латунной проволок совершенно равны между собой. В действительности же скорость восприятия проволокой температуры во время полевых измерений зависит от удельной теплоемкости и плотности металла, способности поглощения и теплопроводности его. Но указанные тепловые параметры различных металлов по своей величине не равны друг другу. Следовательно, такое допущение приводит к появлению систематических ошибок, которые могут дать накопление на всю измеряемую длину в несколько миллиметров.

3. Рассматриваемый метод учета температуры усложняет процесс линейных измерений.

Б. Ртутные термометры

Основное и единственное достоинство рассматриваемых термометров заключается в простоте определения температуры. Но ртутным термометрам, во всех вариантах их применения, свойственны существенные недостатки. Выделим главные источники погрешностей при измерении температуры ртутными термометрами:

1. Отсутствие возможности для осуществления надежного теплового контакта термометра с мерной проволокой.

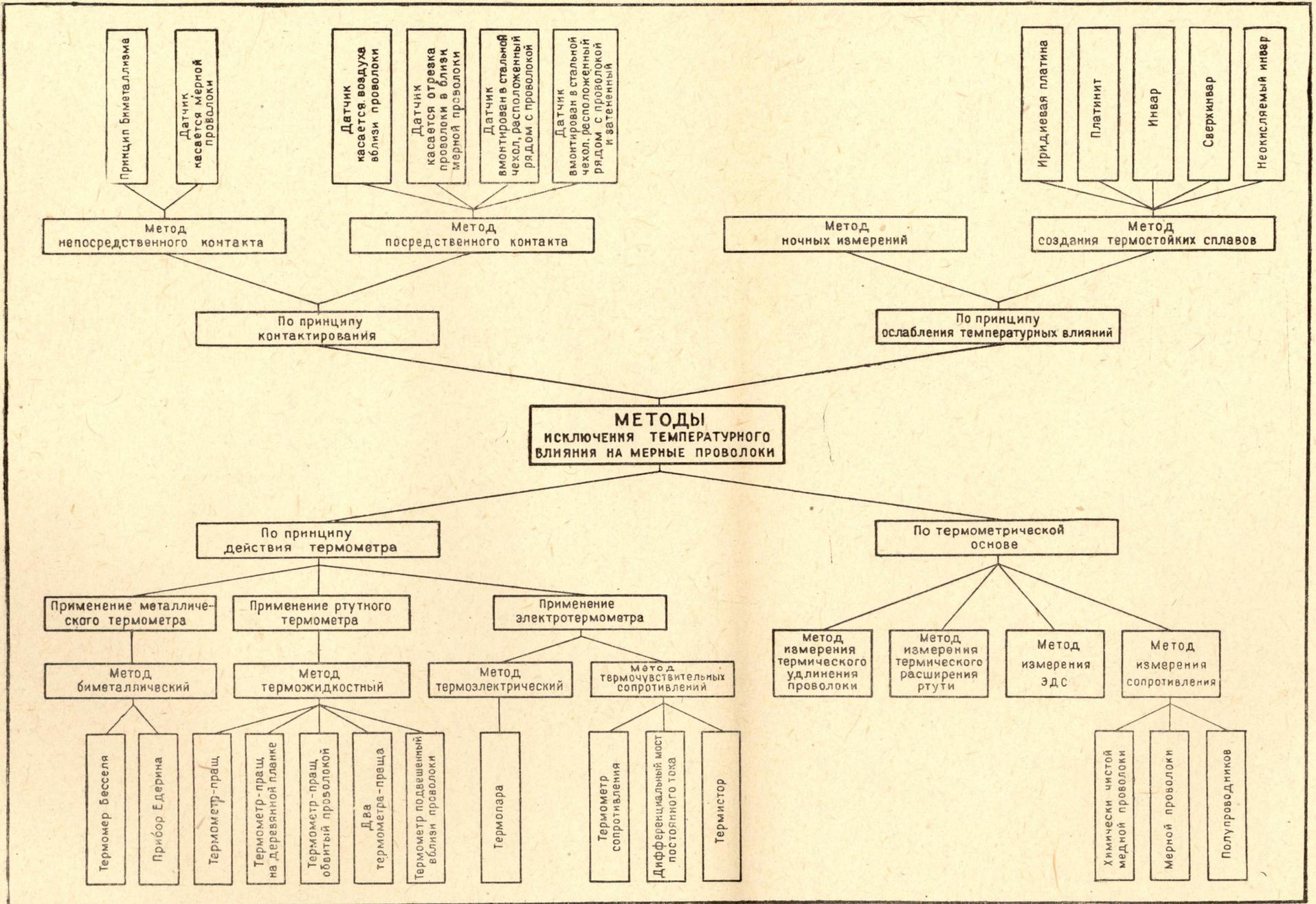
2. Значительная инертность термометра.

3. Отсутствие четких и обоснованных рекомендаций в отношении скорости и времени вращения термометра-праща.

4. Не все термометры одинаково быстро воспринимают температуру среды.

Исследования многих авторов показывают, что температуры проволок отличаются от показаний термометра-праща в среднем на $\pm 1,0$ —

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИСКЛЮЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВЛИЯНИЯ НА МЕРНЫЕ ПРОВОЛОКИ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ



$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, достигая на поверхности земли наибольшей величины $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (для термометров, прикрепленных к деревянной планке)

Основываясь на вышеизложенном, мы приходим к выводу, что если требуемая предельная точность измерения (или откладывания) линии должна быть меньше 1 : 20000 длины 24-метрового пролета, то метод определения температуры стальной проволоки при помощи ртутного термометра в том или ином его применении оказывается не пригодным для полевой производственной обстановки.

В. Термопары

Основные преимущества термоэлектрического метода перед только что рассмотренным терможидкостным методом заключаются в следующем.

Прежде всего в показаниях термопары отсутствует инертность. Изменения температуры фиксируются гальванометром с быстротой электрического тока.

Далее, появляется возможность производить замеры температуры, находясь на некотором расстоянии от мерного прибора.

Наконец, в отличие от ртутных термометров имеется возможность осуществить более надежный контакт датчика температур с проволокой.

Но термоэлектрический метод обладает целым рядом существенных недостатков:

1. Термопара измеряет температуру проволоки только в той, одной точке, которой она касается.

2. Кроме того, между проволокой и горячим спаем термопары имеют место переходные процессы, обусловленные несовершенным контактом (при использовании термопары рабочий спай прикасается к проволоке).

3. В полевых условиях иметь дело со льдом почти невозможно да и не всегда его можно достать.

4. Трудность учета изменения сопротивления подводящих проводов и значительный объем вычислительных работ по переводу показаний гальванометра в градусы Цельсия.

5. Необходимость введения в результат измерения поправки за деления шкалы рабочего гальванометра, поправок за изменение температуры холодного спая и различия его температуры от температуры тарирования термопары и других. В полевых условиях часть указанных поправок трудно улавливаемая.

6. Сложность и громоздкость аппаратуры.

Указанные недостатки термоэлектрического метода определения температуры проволоки привели к тому, что термопара, прекрасно себя зарекомендовавшая при измерении температуры проволоки в лабораторных условиях, не нашла своего применения в полевой производственной обстановке.

Г. Электротермометр Берлеева

Метод определения температуры мерной проволоки, предложенный Г. И. Берлеевым, имеет в теоретическом отношении безусловное преимущество перед всеми, ранее рассмотренными методами; а именно:

1. Температурным датчиком является сама мерная проволока.

2. При использовании дифференциального моста постоянного тока по схеме, предложенной Берлеевым, определяется средняя температура всей мерной проволоки.

Но рассматриваемый метод определения температур не лишен и недостатков, из которых главными являются:

1. Наличие очень длинных подводящих проводов. Это делает прибор громоздким и неудобным для применения его в поле. Кроме того, изменения сопротивления подводящих проводов от изменения внешних условий значительно скажутся на точности показаний моста.

2. Непостоянный и малонадежный контакт подводящих проводов с мерной проволокой.

3. Дифференциальный мост все-таки в несколько десятков раз менее чувствителен, чем например, полупроводниковые сопротивления.

Наличие отмеченных недостатков метода Берлеева делает его применение возможным только при лабораторных или экспериментальных исследованиях. Применения же в полевых производственных условиях данный метод не нашел, в основном, как уже отмечалось, из-за громоздкости прибора и неудобства его использования.

Д. Полупроводниковый термометр-термистор.

Преимуществами полупроводниковых термосопротивлений (ТС) перед всеми рассмотренными термометрами являются:

1. Высокая температурная чувствительность. В качестве примера можно привести следующие данные: при повышении температуры от 0 до 100°C сопротивление платины увеличится на 35%, а у полупроводников падает в 20—70 раз (в зависимости от температурного коэф. ТС) [7].

2. Малые габариты и, следовательно, малая тепловая инерция ТС.

3. Предельная простота устройства.

4. Высокая стабильность характеристик ТС во времени.

5. Долговечность и полное отсутствие необходимости специального ухода в период эксплуатации.

6. Большая величина сопротивления ТС позволяет полностью пренебречь сопротивлением подводящих проводов, контактными сопротивлениями и контактными ЭДС.

При полевых испытаниях термисторов, применяя принцип биметаллизма (инварную и стальную проволоку), мы получали возможность предвычислить действительные температуры стальных проволок, которые они имели в момент измерения ими пролета. Далее предвычисленные температуры проволок сравнивались с показаниями исследуемых приборов (працевых термометров, термисторов и т. д.).

Изучая полученные расхождения температур, предвычисленных и показанных термисторами, мы приходим к следующим выводам:

1. Температура 24-метровой проволоки находящейся в полевой производственной обстановке, во всех ее точках практически одинакова.

2. Температура подвесной мерной проволоки практически вообще незначительно отличается от температуры окружающего ее воздуха. Впервые на это указал Б. Ф. Крутой. Проведенные нами исследования подтвердили это положение. Максимальные разности предвычисленных температур проволоки и показанных термистором при затененном датчике наблюдались в пределах $\pm 0,4^\circ\text{C}$ — $\pm 0,6^\circ\text{C}$; среднее квадратическое отклонение из 50 серий наблюдений составило $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

3. В момент определения температуры нет необходимости касаться датчиком непосредственно мерной проволоки или расположенного рядом отрезка проволоки, более того, при касании датчик плохо контактирует с проволокой, а солнечные лучи, падающие на него, завышают показания его против действительной температуры меры.

Датчик температур, помещенной в кожух, изготовленный в виде проволоки из стали или инвара и защищенный от лучей солнца тенью, дает показания, близкие к действительной температуре проволоки.

4. Термистор третьей модели является прибором, позволяющим измерять действительную температуру мерной проволоки с ошибкой не более $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

VII. Заключение

Подводя итог рассмотренным выше вопросам, мы приходим к следующему заключению:

1. Условия производства ведомственной полигонометрии не позволяют отказаться от точных методов непосредственного измерения линий мерными проволоками или лентами.

2. Измерение линий с точностью до 1 : 250 000 экономически целесообразнее производить стальными проволоками. При замене инварных проволок стальными значительно понижается стоимость измерений указанной точности.

3. В полевых условиях применение ртутных термометров для определения температуры стальной мерной проволоки приводит к надежным результатам только при измерении линий с точностью, в среднем равной 1 : 60 000—1 : 50 000. При этом целесообразно использовать прачевые термометры, оголенные или же обвитые спиралью из проволоки той же марки стали, что и мерная проволока.

4. Методы определения температуры проволоки, основанные на использовании термопары, термометра сопротивления, дифференциального моста постоянного тока и прекрасно зарекомендовавшие себя в стационарных лабораторных условиях оказываются неудобными и малонадежными для применения их в полевой производственной обстановке из-за сложности и громоздкости аппаратуры и плохого контакта датчика с проволокой.

5. Полупроводниковый термометр-термистор обладает серьезными преимуществами по сравнению с другими видами датчиков. Использование термистора для измерения температуры позволит в 4—5 раз увеличить точность линейных измерений стальными проволоками и тем самым расширить область их применения.

6. Учет температуры измерительного прибора при помощи термистора имеет практическое значение и в работах, проводимых инварными проволоками при решении специальных задач, когда требуется получить очень высокую точность линейных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлеев Г. И. Измерение истинных температур мерных лент и проволок, употребляемых для базисных измерений. Ученые записки физико-математического факультета Киргизского университета, вып. IV, ч. 2, 1957 г.

2. Лиодт Г. Н. Определение температуры стальной ленты термоэлектрическим термометром. Геодезист, № 2, 1936 г.

3. Митюрёв В. К. Доклад на первой конференции молодых ученых Западной Сибири, 1948 г.

4. Постников М. В. Некоторые вопросы повышения точности измерения длин линий при геодезических работах. Сборник трудов ТИСИ, том II, 1957 г.

5. Постников М. В. и Шварцман Я. В. Прибор для определения температур измерительных проволок (вторая модель). Сборник трудов ТИСИ, том IV, 1958 г.

6. Павлов Ф. Измерение базиса стальными проволоками. Геодезист, № 1, 1929 г.

7. Термосопротивления. Полупроводниковые сопротивления с большой величиной температурного коэффициента. Л., 1957 г.

8. Чеботарев А. С. Геодезия, ч. II, Геодезиздат, М., 1949 г.

9. Шейтлес Б. О полевом определении линейного коэффициента расширения стальных проволок. Геодезист, № 3, 1937 г.

10. Ш а б а т М. В. Исследование ошибок учета температуры инварных проволок. Сборник статей по геодезии, вып. III, М., 1953 г.
 11. Ю р к е в и ч А. С. Труды ЦНИИГА и К, вып. 34, Геодезиздат, М., 1941 г.
 12. Ю р к е в и ч А. С. Метрологическая конференция ЦНИИГА и К. Сборник статей по геодезии, вып. III, Геодезиздат, М., 1944 г.
 13. Ю р к е в и ч А. С. Учет температурного фактора в точных линейных измерениях. Труды НИИГА и К, том VI, 1954 г.
 14. П о с т н и к о в М. В. и Г у щ и н Г. Н. Определение температуры измерительных проволок полупроводниковым микротермосопротивлением. Известия вузов, раздел «Геодезия и аэрофотосъемка», вып. 5, М., 1964 г.
-