

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Г.Б. Минигалиев, В.В. Елизаров

ВЫБОР ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**Нижекамск
2014**

УДК 66.0
М62

Печатается по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Елизаров В.И., доктор технических наук;
Гусев С.Н., эксперт по усовершенствованному управлению
фирмы «Emerson».

М62 Выбор датчиков температуры: учебное пособие / сост.: Г.Б. Минигалиев, В.В. Елизаров - Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. - 48 с.

Представлены основные сведения по датчикам температуры. Приведены основные характеристики, принципы действия основных промышленно используемых приборов измерения температуры. Показан алгоритм выбора термометров для конкретного применения по условиям поставленной задачи.

Предназначено для студентов специальностей «Автоматизированные системы обработки информации и управления» и «Автоматизация технологических процессов и производств» всех форм обучения, а также для студентов технологических и механических специальностей при выполнении курсового и дипломного проектирования раздела «Автоматизация технологических процессов»

Подготовлено на кафедре «Автоматизация технологических процессов и производств» Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

УДК 66.0

© Минигалиев Г.Б., Елизаров В.В., 2014
© Нижнекамский химико-технологический
институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	4
1	Постановка задачи	6
2	Основные типовые средства измерения температуры (краткая теория)	7
3	Алгоритм выбора датчиков	34
4	Пример выполнения поставленной задачи	38
	Задания для самостоятельной работы	41
	Заключение	49
	Список литературы	50

ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности труда базируется на механизации и автоматизации производства. Рассмотрим подробнее эти понятия — «механизация» и «автоматизация». Что между ними общего и в чем различие?

Механизация — замена ручных средств труда машинами и механизмами. С их помощью человек может поднимать и перемещать тяжелые грузы, резать, ковать и штамповать металл при изготовлении деталей, добывать руду и топливо из недр земли. Но управление этими механизмами осуществляется человеком: он должен постоянно контролировать ход производственного процесса, анализировать его, принимать решения и воздействовать на этот процесс. Например, рабочий при обработке детали на станке должен измерять размеры детали, определять ее качество, т.е. получать информацию путем измерений. В зависимости от результатов измерений рабочий изменяет скорость резания, величину подачи инструмента, т.е. принимает и исполняет решение. Таким образом, при механизации требуется постоянное участие человека во всем ходе производственного процесса.

Автоматизация производственных процессов — применение технических средств и систем управления, освобождающих человека частично или полностью от непосредственного участия в этих процессах. Автоматизация облегчает умственный труд человека, освобождает его от сбора информации, ее обработки, исполнения принятого решения. В системах автоматики получение, передача, преобразование и использование информации осуществляются без непосредственного участия человека.

Для получения информации о ходе производственного процесса применяют датчики — элементы автоматики, преобразующие самые разные физические величины (размеры, температуру, давление, расход, скорость, уровень, влажность и т. д.) в некоторый сигнал, удобный для последующей обработки в автоматическом устройстве или ЭВМ. Затем этот сигнал обрабатывается: сравнивается с другими сигналами, анализируются его изменения.

В результате обработки информационных сигналов вырабатываются исполнительные сигналы, которые и воздействуют на технологический процесс. Эти сигналы в исполнительных элементах автоматики преобразуются в механическое воздействие, перемещающее деталь или инструмент, закрывающее или открывающее кран, включающее или отключающее нагревательную установку и т. п. Так как это воздействие требует значительной энергии, то обработка информационных сигналов предусматривает, как правило, их усиление.

Таким образом, системы автоматики состоят из датчиков, усилительно-преобразовательных и исполнительных элементов.

Наиболее универсальным и удобным для систем автоматики оказался электрический сигнал. По сравнению с другими (пневматическими или гидравлическими) электрический сигнал имеет следующие преимущества:

- 1) электрический сигнал можно передавать на большие расстояния;
- 2) энергию электрического сигнала можно преобразовывать в другие виды энергии, прежде всего, в механическую и тепловую, необходимые на любом производстве;
- 3) электрический сигнал можно обрабатывать, в том числе усиливать, с помощью простых технических средств.

Именно поэтому наибольшее распространение получили электрические системы автоматики, т.е. использующие именно электрический сигнал.

С применением электрических элементов автоматики мы постоянно сталкиваемся в быту: датчики температуры в холодильнике и утюге; переключатели и реле в электрофоне, магнитофоне; потенциометрические, индуктивные и емкостные датчики для настройки радиоприемника и телевизора. Насыщенность же современного производства элементами автоматики во много раз выше. Уже действуют цехи, где нет ни одного рабочего, а всеми механизмами управляют элементы автоматики.

В нашей стране создана Государственная система приборов и средств автоматизации (ГСП), в которую входят тысячи самых разнообразных элементов. С их помощью может быть построена практически любая система автоматики. Естественно, что элементы, входящие в ГСП, непрерывно совершенствуются, а состав системы расширяется.

Температура является одним из основных параметров, который контролируется практически на каждом производстве, параметр является инерционным и медленно изменяющимся, что требует внимательного подбора средств измерения.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является выбор датчиков температуры и расчет измерительных схем к ним.

Исходными данными для работы являются измеряемая температура, место установки в аппарате, требуемая точность измерения, динамические характеристики объекта измерения, среда измерения и условия измерения (влияющие величины).

Например:

выбрать термометр по следующим параметрам:

Таблица 1

Параметры термометра

Монтажная длина в аппарате (от поверхности), мм	Рабочая температура, °С	Абсолютная погрешность измерения, °С	Показатели инерционности, с	Длина соединительных проводов, м	Характеристики среды измерения: наименование, давление, МПа агрегатное состояние
1500	400	0,8	10	850	трансформаторное масло, 0,9 жидкость

Обычно при проектировании накладываются более жесткие ограничения на влияющие величины и параметры измерения, такие как минимальная и максимальная рабочие температуры измерения, минимальные и максимальные рабочие и предельные давления в аппарате, минимальные и максимальные запаздывания в измерительной системе и т.д.

В данной работе жестких ограничений нет, поэтому варианты выбора прибора измерения температуры несколько шире и возможен более гибкий подход к решению задачи.

Общая рекомендация: многовариантное решение задачи и анализ целесообразности применения того или иного решения.

2. ОСНОВНЫЕ ТИПОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ (КРАТКАЯ ТЕОРИЯ)

2.1. Физические характеристики термопар

2.1.1 Принципы работы

Термопары относятся к наиболее простым датчикам температуры, применяемым в промышленности. В своей основе термопара состоит из двух различных металлов (проводов), соединенных вместе на одном конце и разомкнутых на другом (рис. 1). Точка, где оба провода соединены, называется измеряющим спаем, горячим спаем или просто спаем; точка, где провода термопары прикрепляются к удлинительным проводам, ведущим к указателю температуры, называется эталонным или холодным спаем. Если измеряющий спай и холодный спай имеют разные температуры, возникает разность потенциалов, называемая электродвижущей силой (ЭДС). Величина ЭДС обычно зависит от свойств двух проводников термопары и разности температур между измеряющим и эталонным спаями. Для лабораторных целей и для калибровки термопар эталонный спай помещают в ванну со льдом (при 0°C). Для промышленных применений обычно используется контур, называемый компенсационным контуром холодного спая, чтобы учитывать температуру эталонного спая автоматически.

Основные компоненты для изготовления термопар поставляются в виде оголенных проводов или гибких изолированных пар проводов. Для использования при высоких температурах или во вредных средах термопары часто защищают металлической трубкой (или чехлом), которая наполнена изоляционным материалом для фиксации термопарных проводов и для обеспечения электрической изоляции (рис. 2). Так как изоляционный материал в большинстве термопар отличается высокой гигроскопичностью и может легко потерять свои изоляционные свойства при проникновении влаги через уплотнение термопары, то собранная термопара герметически уплотняется для защиты изоляционного материала от воздействия на него влажного воздуха. Одним из последствий проникновения влаги является появление шумов в сигнале термопары.

Для защиты термопары, в дополнение к той, которую дает чехол, особенно, когда термопару используют в средах, обладающих высокой скоростью, или в химически активных средах, иногда применяют дополнительный металлический кожух (или термоканал), рис. 3. Помимо защиты датчика термоканал обеспечивает легкость замены термопары и часто используется в промышленности лишь для этой цели, особенно, когда время реакции датчика не является важным.

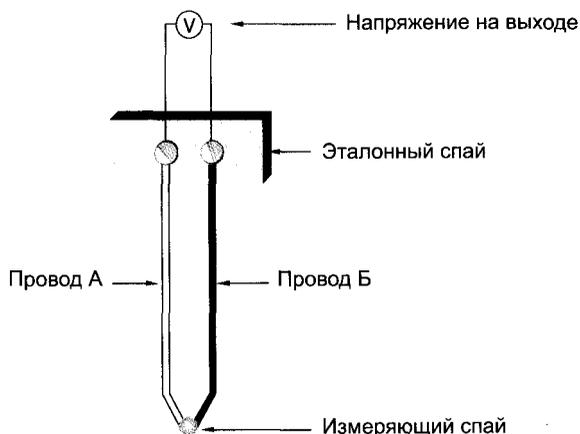


Рис. 1. Компоненты простой термопары

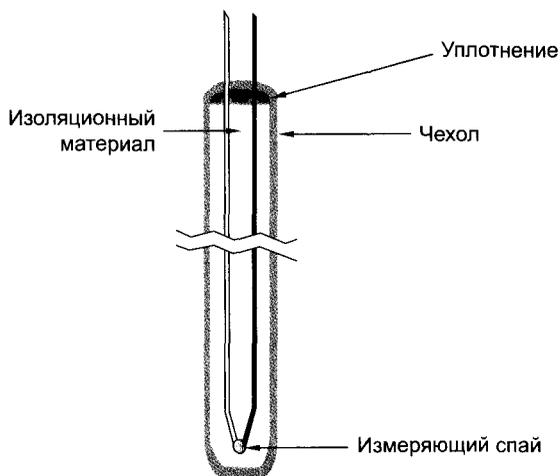


Рис. 2. Типичный датчик с термопарой

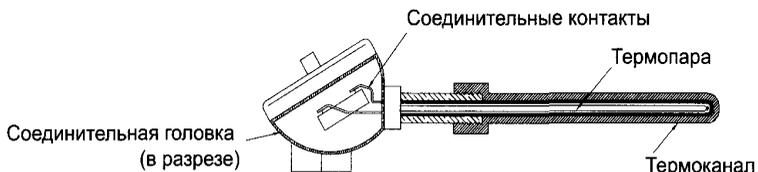


Рис. 3. Типичная термопара, устанавливаемая в термоканал

2.1.2. Виды спаев термопар

Измеряющий спай термопары может быть выполнен одним из нескольких имеющихся методов; наиболее часто используемые три метода, применяемые для защищенных термопар, показаны на рис. 4.

Оголенный спай. В этом случае измеряющий спай находится в прямом контакте с технологической средой. Спай формируется посредством скручивания и сварки, или его получают сваркой проводов встык. Есть и другие способы сформировать спай, но эти два встречаются наиболее часто.



Рис. 4. Типичные конструкции измеряющих спаев для защищенных термопар

Термопары с открытым спаем обычно используются для измерения температуры газов или твердых материалов. Преимуществом этой конструкции является ее быстродействие; недостатком — то, что провода не зафиксированы и не защищены от окружающей среды и поэтому могут подвергнуться механическим или химическим повреждениям. Если термопара с открытым спаем предназначена для применения в жидкой среде или в условиях высокой влажности, ее измеряющий спай должен быть покрыт изолирующей краской или эпоксидной изоляцией. Более того, в таких средах важно герметизировать измеряющую концевую часть термопары таким образом, чтобы в термопару не попала влага.

Изолированный спай. Термопара с изолированным спаем, также известная как термопара с незаземленным спаем, обычно делается из защищенной термопарной заготовки (термопара в чехле), которую обрезают, чтобы получить нужную длину. После удаления изоляции на конце заготовки спай формируется при помощи процедуры, аналогичной той, что используется для

изготовления оголенного спая. После того, как спай сформирован, он утапливается в заготовку и плотно заполняется изоляционным материалом. Конец термопары затем заваривается тем же металлом, что и материал чехла.

Преимущество термопар с изолированным спаем в том, что их электрическая цепь изолирована от земли, и сопротивление их изоляции можно легко измерить для диагностики дефектов изоляции в случае их появления. Их недостатками являются большее время реакции, чем у термопар с оголенным спаем, и трудность изготовления термопар небольшого диаметра.

Заземленный спай. Термопары этого типа также размещаются в чехле, но вид их спая сильно отличается от оголенных и от изолированных спаев. Термопара изготавливается тем же способом, как и термопары с изолированным спаем: термопарная заготовка отрезается на нужную длину и ее концевая часть герметизируется при помощи сварки, причем спай формируется вместе с заваренным чехлом. Преимуществами этого вида термопары являются быстрое время реакции и легкость изготовления; недостатками — склонность к утечкам тока на землю, наводка в электрическом контуре термопары шумов и возможность того, что термоэлементы могут образовать сплав с материалом чехла. Известно также, что термопары с заземленным спаем чаще выходят из строя из-за разрыва их электрического контура при термическом циклировании. Еще один недостаток этих термопар состоит в том, что время их реакции нельзя легко измерить методом реакции на ступенчатое изменение петлевого тока (РСПТ).

Иногда оказывается, что термопары с заземленным спаем обладают более медленной реакцией, чем ожидалось. Бывает также, что их реакция медленнее, чем у термопар с изолированным спаем того же размера и типа: это происходит, когда горячий спай случайно образуется не на внутренней стенке чехла, а в другом месте. Обычно при изготовлении термопар с заземленным спаем чехол и провода термопары сплавляются вместе и при отвердевании расплава образуют спай на конце заготовки. Если спай сформируется внутри провода термопары вдали от чехла, а не на внутренней стенке концевой части чехла, то термопара может иметь замедленную реакцию. С учетом этого, чтобы обеспечить быстрое время реакции, некоторые термопары с заземленным спаем изготавливают, изгибая провода и приваривая их к внутренней стенке чехла, а не к самому концу термопары (рис. 5).



Рис.5. Конструкция термопары с заземленным спаем, обеспечивающая ее быстроедействие

Три вида термопар, описанные выше, относятся в основном к термопарам с чехлами. Для термопар без чехла (также называемых незащищенными термопарами) горячий спай формируется в значительной степени так же, как у термопар с оголенным спаем; при этом спай может иметь форму бусинки, он может быть сделан сваркой торцов проводов, сваркой внахлестку, скручен и спаян серебряным припоем и т. д.

2.1.3. Стандартные термопары

Известно около 300 типов термопар, которые или проходили тестовую проверку, или применялись для измерений температуры, но среди них только восемь стали популярны и широко применяются в промышленности. Эти термопары перечислены в табл. 1 отдельно для обычных и благородных металлов в зависимости от того, присутствует ли в термопаре благородный или драгоценный металл, например платина. Для двух из восьми типов термопар, а именно типов К и N, большинство характеристик идентичны. Фактически, тип N — новая термопара, разработанная для того, чтобы избавиться от некоторых недостатков термопары типа К, таких, как атомное упорядочение материала, дрейф и проблемы с окислением. На рис. 6 показана зависимость относительного сигнала на выходе термопары от температуры для термопар с обычными и благородными металлами. Как показано на этом рисунке, термопары типов Е и J обладают лучшим относительным сигналом на выходе, чем тип К, хотя тип К используется более широко, чем типы Е и J. Одной из причин является лучшая линейность характеристики термопар типа К: это показано на рис. 7, где сравниваются отклонения от линейной характеристики трех типов термопар.

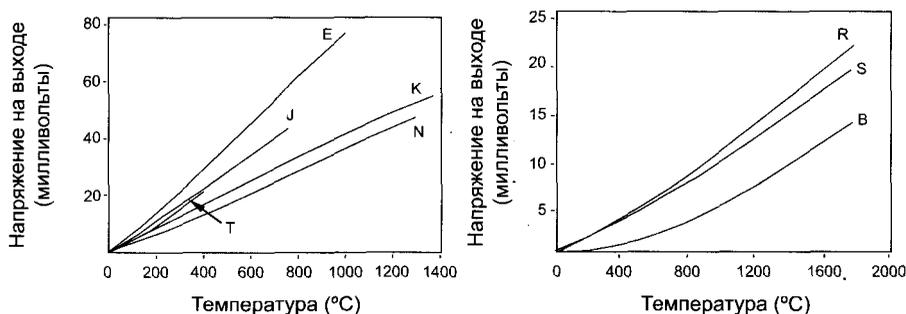


Рис. 6. Напряжение на выходе термопар из обычного (слева) и благородного (справа) металла

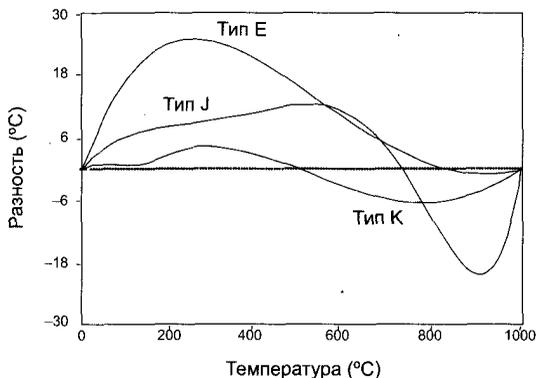


Рис. 7. Нелинейность типичных термопар

Таблица 2

Стандартные термопары

Название	Материал	
	Положительный провод	Отрицательный провод
	Обычные	
Хромель/константан	Ni-10% Cr	Константан
Железо/константан	Fe	Константан
Хромель/алюмель	Ni-10% Cr	Ni-5% (Al, Si)
Никрозил/низил	Ni-14% Cr, 5% Si	Ni-4,5% Si-0,1% Mg
Медь/константан	Cu	Константан
	Благородные металлы	
Платина-родий/Родий-платина	Pt-30% Rh	Pt-6% Rh
Платина-родий/ Платина	Pt-13% Rh	Pt
Платина-родий/ Платина	Pt-10% Rh	Pt
Платина-медь-родий Константан-кремний- хром	медно-никелевый сплав	Al — алюминий Ni — никель Mg — магний

До начала 1960-х годов термопары называли фирменными именами, которые им присваивали их производители. Буквенное обозначение, используемое теперь, было введено Обществом специалистов по измерительным устройствам и автоматическим системам (ISA) и позже (в 1964 году) было принято в качестве американского стандарта. Буквенные обозначения признаны в стандарте ANSI-МС 96.1, выпущенном Американским национальным институтом стандартов (ANSI), и в стандарте ASTM 230, выпущенном Американским обществом по испытаниям и материалам (ASTM). Эти стандарты устанавливают, что если термопара удовлетворяет номинальным допускам для типа, определяемого ее буквенным обозначением, то для определения ЭДС в зависимости от температуры можно пользоваться таблицами,

приведенными в Монографии 175, выпущенной Национальным институтом стандартов и технологий (NIST).

2.1.4. Удлинительные провода термопар

Удлинительные провода термопар используются в тех случаях, когда эталонный спай надо расположить вдали от термопары. Чтобы избежать неоднородностей в электрической цепи термопары из обычных металлов, удлинительные провода делают, как правило, из того же материала, что и провода самой термопары; однако для термопар из благородных металлов часто используют компенсирующие удлинительные провода, сделанные из материала, отличающегося от материала термопары, но имеющего схожие термоэлектрические свойства, хотя и в ограниченном температурном диапазоне.

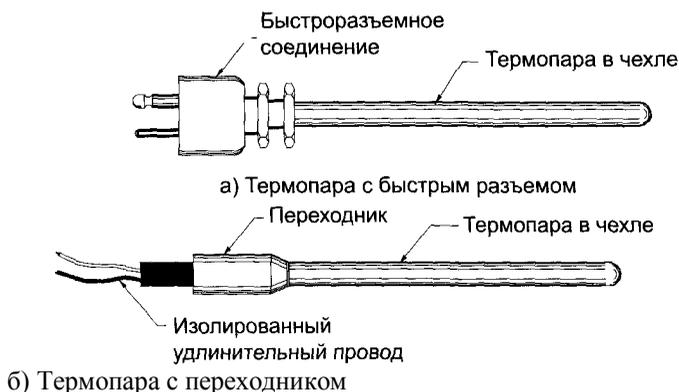


Рис. 8. Присоединения термопар с быстрым разъемом и с переходником

Термопары в собранном виде, предназначенные для промышленного применения, часто изготавливаются путем присоединения удлинительных проводов к термопаре при помощи разъема. В других конструкциях провода самой термопары делают достаточно длинными, чтобы служить удлинительными проводами; в этом случае удлинительные провода выводят из собранной термопары через переходник без какого-либо разрыва в проводах. Эти две разные конструкции называют, соответственно, термопарами с быстрым разъемом и с переходником (рис. 8). В конструкции с быстрым разъемом металлические контакты внутри соединительного разъема делаются из того же материала, что термопара и удлинительные провода.

2.1.5. Цвета удлинительных проводов термопар

Термопары и их удлинительные провода обычно маркируют определенным цветом с целью облегчить их распознавание и не допустить ошибок при монтаже. В табл. 2 приводятся цветовые обозначения для восьми наиболее часто встречающихся типов термопар. К сожалению, принятое цветовое кодирование не является универсальным, т.е. в различных странах используются различные цветовые обозначения удлинительных проводов, как это видно из табл. 3 и 4. В табл. 3 приведены цветовые обозначения для положительных проводов термопар, принятые в различных странах, а в табл. 4 — для отрицательных проводов. Кроме того, внешний материал оболочки проводов термопар также обозначается различными цветами в различных странах. Эти данные приведены в табл. 5.

Таблица 3

Цветовые обозначения стандартных термопар и удлинительных проводов

Тип	Название	Положительный провод	Отрицательный провод	Внешняя оболочка
Обычный металл				
E	Хромель/константан	Фиолетовый	Красный	Фиолетовый
J	Железо/константан	Белый	Красный	Черный
K	Хромель/алюмель	Желтый	Красный	Желтый
N	Никрозил/низил	Оранжевый	Красный	Коричневый
T	Медь/константан	Голубой	Красный	Голубой
Благородный металл				
V	Платина-родий/ Родий-платина	Серый	Красный	Серый
R	Платина-родий/ Платина	Черный	Красный	Зеленый
S	Платина-родий/ Платина	Черный	Красный	Зеленый

Таблица 4

Цвета положительных проводов термопар в различных странах

Тип	США	Великобритания	Германия	Япония	Франция
E	Фиолетовый	Коричневый	Красный	Красный	Желтый
J	Белый	Желтый	Красный	Красный	Желтый
K	Желтый	Коричневый	Красный	Красный	Желтый
N	Оранжевый	Нет	Нет	Нет	Нет
T	Синий	Белый	Красный	Красный	Желтый
V	Серый	Нет	Красный	Красный	Нет
R	Черный	Белый	Красный	Красный	Желтый
S	Черный	Белый	Красный	Красный	Желтый

Таблица 5

Цвета отрицательных проводов термопар в различных странах

Тип	США	Великобритания	Германия	Япония	Франция
E	Красный	Синий	Черный	Белый	Фиолетовый
J	Красный	Синий	Синий	Белый	Черный
K	Красный	Синий	Зеленый	Белый	Фиолетовый
N	Красный	Нет	Нет	Нет	Нет
T	Красный	Синий	Коричневый	Белый	Синий
V	Красный	Нет	Серый	Серый	Нет
R	Красный	Синий	Белый	Белый	Зеленый

Таблица 6

Цветовые обозначения внешних оболочек термопар

Тип	США	Великобритания	Германия	Япония	Франция
E	Фиолетовый	Коричневый	Черный	Фиолетовый	Фиолетовый
J	Черный	Черный	Синий	Желтый	Черный
K	Желтый	Красный	Зеленый	Синий	Желтый
N	Оранжевый	Нет	Нет	Нет	Нет
T	Синий	Синий	Коричневый	Коричневый	Синий
V	Серый	Нет	Серый	Серый	Нет
R	Зеленый	Зеленый	Белый	Черный	Зеленый
S	Зеленый	Зеленый	Белый	Черный	Зеленый

2.1.6. Компенсация эталонного спая

ЭДС на выходе термопары можно преобразовать в показание температуры измеряющего спая только в том случае, если известна температура эталонного спая и ее изменения компенсируются измерительной схемой. Простое решение этой проблемы состоит в помещении эталонного спая в среду, имеющую известную постоянную температуру, например, в тающий лед (рис. 9) или в термостат.

В контрольно-измерительной аппаратуре обычно неудобно поддерживать постоянной температуру эталонного спая. Поэтому в некоторых измерительных приборах используют компенсирующий резистор (R_T) для автоматической компенсации изменений температуры эталонного спая (рис. 10). Такой резистор имеет температуру эталонного спая, а значение его сопротивления обычно выбирается таким, чтобы ЭДС делителя напряжения была равна нулю при эталонной окружающей температуре. Если температура эталонного спая повышается, то обычно происходит уменьшение ЭДС термопары. Тем временем в цепи, показанной на рис. 10, сопротивление резистора эталонного спая при повышении температуры увеличивается. Это добавляет к ЭДС тер-

мопары такую ЭДС, которая равна ее уменьшению вследствие повышения температуры эталонного спая. Таким образом, измерительный прибор регистрирует ЭДС, которая зависит только от температуры измеряющего спая и не зависит от изменений окружающей температуры.

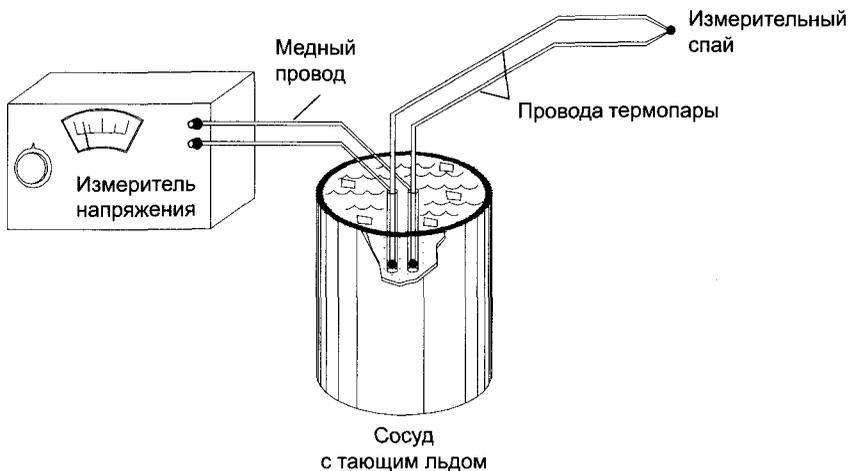


Рис. 9. Оборудование для измерения температуры термопарой

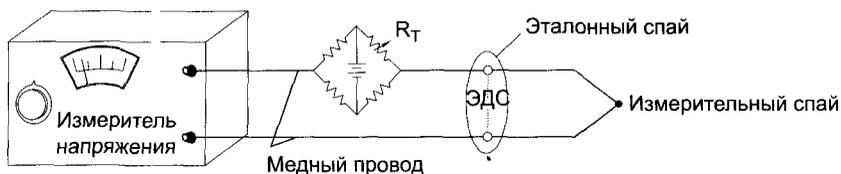


Рис. 10. Цепь компенсации эталонного спая

В цифровых приборах компенсация изменений в температуре эталонного спая выполняется другим способом: добавочная ЭДС, вызываемая изменениями температуры эталонного спая, непосредственно прибавляется к ЭДС термопары или вычитается из нее, для этого по компенсирующему резистору пропускается небольшой постоянный ток, и изменения соответствующего падения напряжения оцифровываются для внесения поправки в изменения температуры эталонного спая.

2.1.7. График зависимости ЭДС от температуры

ЭДС, создаваемая в цепи термопары хромель-алюмель (тип К), представлена в виде диаграммы на рис. 11. Этот график носит название диаграммы ЭДС-температура, которая полезна для понимания механизма работы термопары. Для построения графика начинают с холодного спаю ($T_{\text{хол}}$) и, следуя вдоль положительного провода, двигаются к измеряющему (горячему) спаю ($T_{\text{гор}}$) с наклоном, характерным для положительного провода, при этом наклон диаграммы определяется зависимостью выходного напряжения от температуры для положительного и отрицательного проводов термопары (рис. 12). По достижении горячего спаю провод меняется от хромели на алюмель; наклон и направление линии также меняются, как показано на рис. 11.

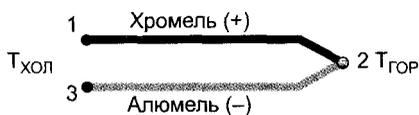


Рис. 11. Образование ЭДС в цепи термопары

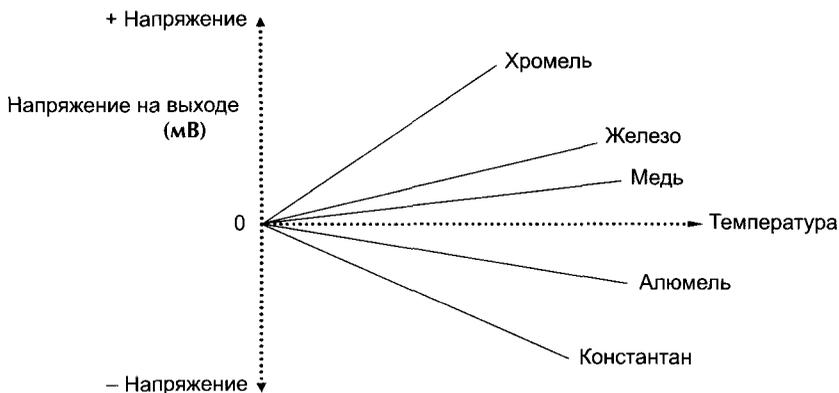
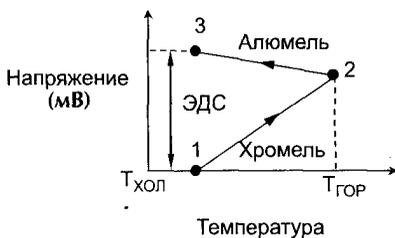


Рис. 12. Зависимость ЭДС от температуры для проводов термопар в паре с платиной

2.1.8. Теория Зеебека и анализ цепи термопары

По Зеебеку, если концы провода имеют разные температуры (рис. 13), то в проводе возникает напряжение, которое представляется уравнением

$$V = S \cdot (T_2 - T_1),$$

где S называют коэффициентом Зеебека (термоэлектрической способностью), выражаемым в мВ/°С. Заметим, что S не зависит от размера, длины или формы провода, а является физическим свойством материала.

Теория Зеебека создает основу для анализа цепи термопары. На рис. 14 показано, как рассчитывается выходное напряжение термопары на основании теории Зеебека. Если термопара соединена медными проводами с измерительными приборами, установленными на расстоянии, то использование медных проводов в цепи не влияет на выходной сигнал термопары (рис. 15). То есть, термопара в зоне технологического процесса может соединяться с измерительной аппаратурой на пульте управления с помощью медных проводов вместо удлинительных проводов термопары. Однако, в этом случае необходимо измерять температуру (T_2) эталонного спая, чтобы определить температуру измеряющего спая. Чтобы этого избежать, следует использовать те же удлинительные провода, что и провода самой термопары; в этом случае температура эталонного спая может измеряться в помещении пульта управления, а не в зоне процесса (рис. 16).

Томас Иоганн Зеебек (1770-1831) — немецкий физик, член Берлинской Академии наук. Работы Зеебека посвящены электричеству, магнетизму, оптике. Открыл в 1821 году явление термоэлектричества (в паре «медь-висмут»), построил термопару и использовал ее для измерения температуры.



Рис. 13. Напряжение Зеебека

Согласно теории, в проводе создается напряжение, равное

$$V = S \cdot (T_2 - T_1)$$

S - коэффициент Зеебека (термоэлектрическая способность), микровольты °С

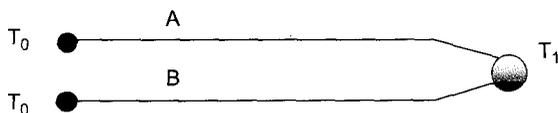


Рис. 14. Анализ электрической цепи термопары

$$V_A = S_A \cdot (T_1 - T_0)$$

$$V_B = S_B \cdot (T_1 - T_0)$$

$$V_A - V_B = (S_A - S_B) \cdot (T_1 - T_0)$$

$$V = S_{AB} \cdot (T_1 - T_0)$$

S_{AB} - относительный коэффициент Зеебека.

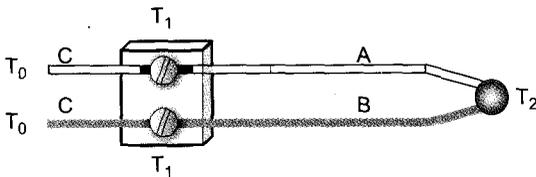


Рис. 15. Эталонный спай в зоне процесса

$$V = S_C \cdot (T_1 - T_0) + S_A \cdot (T_2 - T_1) + S_B \cdot (T_1 - T_2) + S_C \cdot (T_0 - T_1)$$

$$V = S_A \cdot (T_2 - T_1) + S_B \cdot (T_1 - T_2)$$

$$V = S_{AB} \cdot (T_2 - T_1)$$

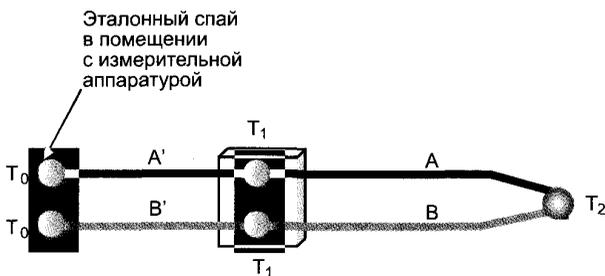


Рис. 16. Эталонный спай вне зоны процесса

$$V = S_A \cdot (T_1 - T_0) + S_A \cdot (T_2 - T_1) + S_B \cdot (T_1 - T_2) + S_B \cdot (T_0 - T_1)$$

$$V = (S_A - S_B) \cdot (T_1 - T_0) + (S_A - S_B) \cdot (T_2 - T_1) =$$

$$= S_{AB} \cdot (T_1 - T_0) + S_{AB} \cdot (T_2 - T_1)$$

Так как удлинительные провода сделаны из того же типа провода, что и термопара, то:

$$S_{AB} \approx S_{AB}, \text{ (где } \approx \text{ означает «примерно равно».)}$$

$$\text{Таким образом: } V = S_{AB} \cdot (T_2 - T_0)$$

2.2. Физические характеристики промышленных температурных датчиков сопротивления

2.2.1. Конструктивные особенности

Типичный температурный датчик сопротивления (ТДС) состоит из следующих шести компонентов:

- 1) чувствительный элемент;
- 2) несущая структура (сердечник);
- 3) изоляционный материал;
- 4) соединительные провода;
- 5) кожух;
- 6) измерительный канал (термоканал).

В настоящее время почти у всех ТДС чувствительный элемент делается из тонкой платиновой проволоки. По этой причине ТДС также называют платиновыми термометрами сопротивления (ПТС). В прошлом, помимо платины, для изготовления чувствительного элемента ТДС использовались никель или медь. Относительные сопротивления платины, меди и никеля в зависимости от температуры представлены на рис. 17. Из рисунка видно явное преимущество платины: проволока из платины имеет более линейную характеристику, чем медь и никель, и применима в существенно более широком диапазоне температур. Медь и никель дают больший относительный сигнал на выходе, но медь применима только до температуры около 250°C , а характеристика никеля весьма нелинейна.

Вдобавок к хорошей линейности и широкому температурному диапазону платина наиболее подходит для изготовления ТДС, так как из нее можно сделать провод очень малого диаметра или пленку. Платина — благородный (химически неактивный) металл, который не окисляется и может быть получен очень высокой чистоты; диаметр платиновой проволоки, используемой в ТДС, обычно составляет от 0,05 до 0,5 мм.

Для изготовления чувствительного элемента ТДС проволока часто навивается на несущую структуру, которая называется сердечником. Это показано на рис. 18, где также приводится микромасштабная фотография реального платинового элемента для ТДС. (Некоторые изготовители ТДС сами производят чувствительные элементы, а другие изготовители покупают готовые элементы в компаниях, специализирующихся в этой области, которые, в свою очередь, сами могут быть, а могут и не быть, изготовителями ТДС.) Отметим, что, как показано на рис. 18, к двум концам платинового элемента прикреплены четыре провода — эти провода называются удлинительными (или соединительными) проводами ТДС, а ТДС с четырьмя проводами называют четырехпроводным ТДС. Два дополнительных проводника используются для того, чтобы можно было измерить сопротивление соединительных

проводов и вычесть его из сопротивления всей цепи, что позволяет получить сопротивление платинового элемента. Однако у большинства четырехпроводных ТДС два проводника используются для подачи на ТДС постоянного тока, а два других проводника используют для измерения падения напряжения на платиновом элементе, что позволяет определить сопротивление ТДС.

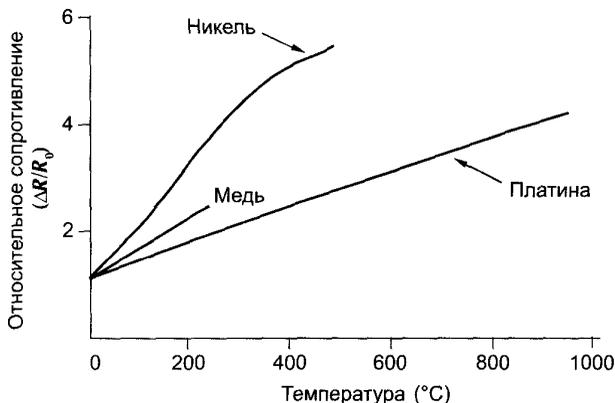


Рис. 17. Рабочий диапазон и линейность элементов сопротивления, используемых в ТДС

Промышленные ТДС часто поставляются в виде 100-омных или 200-омных датчиков. Это означает, что сопротивление этих ТДС составляет либо 100 Ом, либо 200 Ом при температуре таяния льда (0°C). При изготовлении чувствительного элемента сопротивление платиновой проволоки измеряется в ванне со льдом и длина проволоки подгоняется таким образом, чтобы сопротивление при температуре таяния льда (R_0) было равно 100 Ом, 200 Ом или другой необходимой величине. Выражение (1) определяет сопротивление проволоки, как функцию ее длины (l):

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление материала проволоки (свойство, присущее данному металлу), а S — площадь ее поперечного сечения ($S = \frac{n \cdot D^2}{4}$, где D — диаметр проволоки).

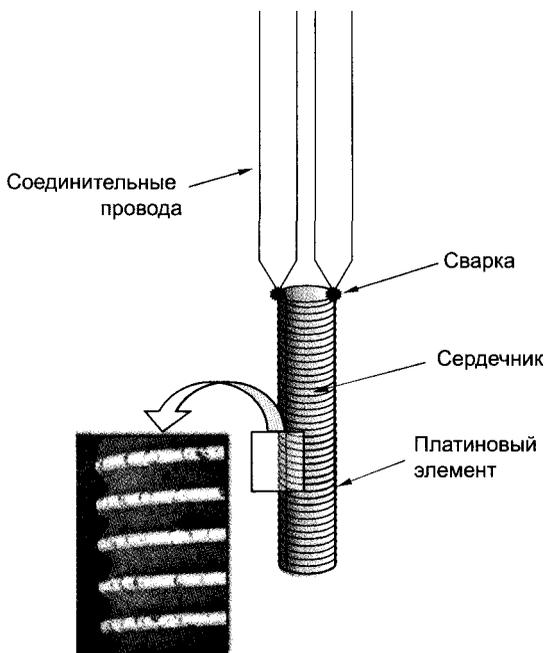


Рис. 18. Схема чувствительного элемента ТДС с фотографией элемента из платины

Материал сердечника должен быть совместимым с платиной и другими материалами датчика, чтобы избежать какого-либо химического взаимодействия. Более того, чтобы получить стабильно работающий ТДС, установка платинового элемента должна быть произведена весьма осторожно: наличие механических напряжений в платиновом элементе или его химическое взаимодействие с сердечником может привести к дрейфу в показаниях ТДС или к выходу элемента ТДС из строя. Кроме того, удлинительные провода должны быть приварены к платиновому элементу для минимизации вероятности того, что они от него отсоединятся или дадут трещину в месте соединения. Было отмечено, что плохое качество сварки между соединительными проводами и чувствительным элементом из платины является причиной как неустойчивого выходного сигнала ТДС, так и его выхода из строя.

Иногда ТДС, у которого разомкнута цепь или который работает неустойчиво из-за нарушения сварочного соединения, можно на время починить, пропуская через соединительные провода электрический ток; в этом случае целью является локальный разогрев в месте сварки, чтобы вновь приварить соединительные провода. Однако применять нагревание током надо осто-

рожно, чтобы не повредить кабели, передающие сигнал от ТДС, расположенного в месте измерения температуры, к измерительному прибору на пульте управления.

Изготовление ТДС завершается установкой собранного элемента, показанного на рис. 18, в трубку, называемую чехлом или кожухом (рис. 19), который для промышленных ТДС обычно делают из нержавеющей стали. Следующей операцией является заполнение чехла изоляционным материалом для того, чтобы зафиксировать чувствительный элемент и соединительные провода в нужном положении и изолировать их от чехла, при этом важным фактором является качество изоляционного материала, так как он должен обеспечить как хорошую электрическую изоляцию, так и приемлемую теплопроводность; по этой причине изоляционный материал, использующийся для изготовления ТДС, иногда является охраняемым секретом производителя. В ТДС общего назначения в качестве изоляционного материала могут использоваться окись алюминия (Al_2O_3) или окись магния (MgO). После того как чехол наполнен изоляционным материалом, его герметизируют, что и завершает процесс изготовления ТДС.

На рис. 20 приводится фотография промышленного ТДС и его термочанала, который в данном случае состоит из трех частей. ТДС вставляется в термочанал с использованием пружинной фиксации и байонетного посадочного механизма.

ТДС поставляются в различных конфигурациях, различающихся по длине, диаметру и другим характеристикам. Типичные характеристики промышленных ТДС приведены в табл. 1.

Качество герметизирующего уплотнения является важным фактором обеспечения надежности ТДС. В собранный ТДС может проникнуть влага, если уплотнение окажется неисправным, треснет или пропустит в корпус ТДС влагу по какой-либо другой причине. Влага наносит ТДС ущерб по нескольким причинам: во-первых, влага может снизить эффективное сопротивление ТДС и привести к тому, что датчик станет показывать заниженное значение температуры; во-вторых, влага может явиться причиной шума в выходном сигнале ТДС и (или) привести к неустойчивому сигналу от ТДС; и, наконец, влага может вызвать химическое взаимодействие между внутренними компонентами ТДС, что может повредить чувствительный элемент или привести к утончению платиновой проволоки, увеличивая таким образом ее сопротивление. Эти процессы также приведут к температурному дрейфу.

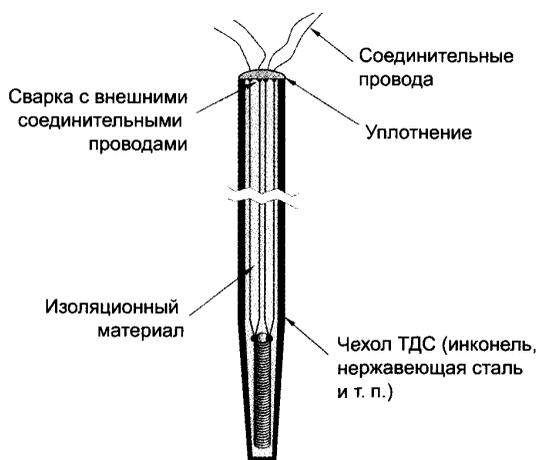


Рис. 19. ТДС в собранном виде

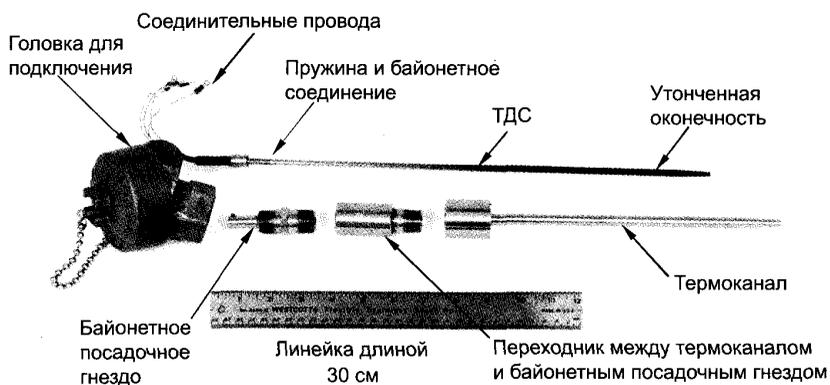


Рис. 20. Фотография типичного ТДС и его термоканала

2.2.2. ТДС прямого погружения и устанавливаемые в термоканалы

В промышленных процессах обычно используются два типа ТДС: прямого погружения (ТДС «мокрого» типа) и устанавливаемые в термоканалы. Эти типы ТДС показаны на рис. 21 и 22. Преимуществом ТДС прямого погружения является лучшее время реакции, а недостатком — трудность их замены. Преимуществом ТДС с термоканалами является легкость их замены, а недостатком худшее быстродействие, чем у ТДС прямого погружения, а также

склонность к увеличению времени реакции в результате изменений свойств изоляционного материала в термоканале. Когда конструкторы выбирают ТДС для применения в промышленности, они должны обращать существенное внимание на механическую прочность ТДС и термоканала, учитывая воздействие на них потока и давления технологической среды. В частности, глубина погружения сборки ТДС в технологический трубопровод должна учитывать возникающие силы, чтобы избежать возможных трещин или повреждений поверхности датчика. В промышленных процессах отмечались случаи, когда температурные датчики отламывались и уносились потоком технологической среды, причиняя серьезные повреждения. На термоканалах также появлялись трещины, что приводило к протечкам среды и созданию опасных ситуаций. В типичном случае глубина погружения ТДС в собранном виде в технологическую среду составляет от 5 до 10 см для трубы с внутренним диаметром 1 м.

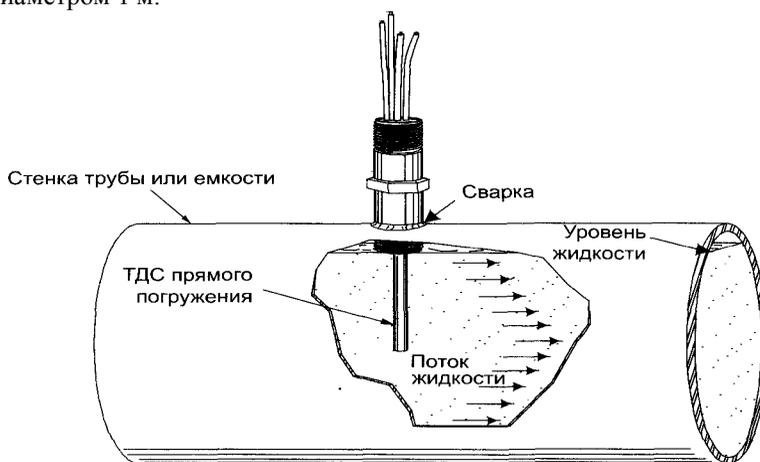


Рис. 21. Установка ТДС прямого погружения

Таблица 7

Типичные характеристики промышленных ТДС

Средняя длина	30-60 см для ТДС с термоканалом 12-18 см для ТДС прямого погружения
Средний диаметр	0,6-1,0 см для ТДС 1,0-2,0 см для термоканала
Глубина погружения в технологическую среду	от 5 до 10 см для трубы с внутренним диаметром 1 м
Средний вес	от 100 до 250 г ТДС от 300 до 3000 г термоканал

Материал чехла	Нержавеющая сталь или инконель
Чувствительный элемент	Полностью отожженная платиновая проволока
Сопротивление при температуре таяния льда (R_0)	100 Ом или 200 Ом
Температурный коэффициент (α)	0,003850 Ом/Ом/°С (обычное качество) 0,003902 Ом/Ом/°С (высшее качество)
Нелинейность R относительно T (δ)	1.5 (°С)
Температурный диапазон	от 0 до 400 °С
Сопротивление изоляции	Выше 100 МОм при комнатной температуре, измеренное при 100 В постоянного тока
Время реакции (в потоке воды 1 м/с)	0,3-3 с для ТДС прямого погружения от 4 до 8 с для ТДС с термоканалом
Индекс самонагрева (в потоке воды 1 м/с)	от 2 до 10 Ом/Вт

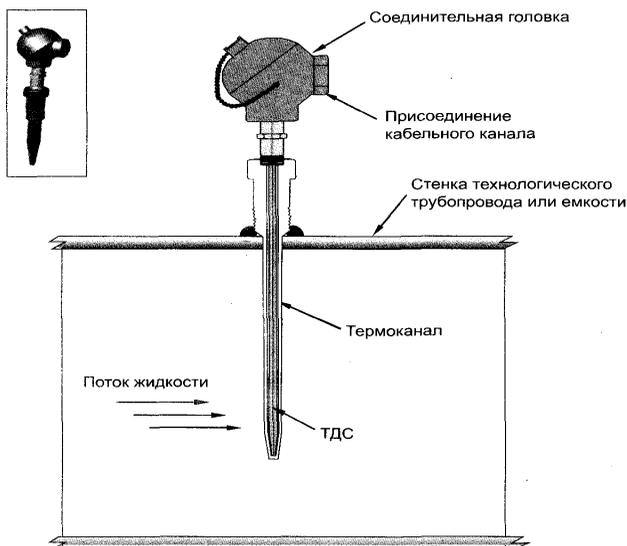


Рис. 22. Установка ТДС с термоканалом

2.2.3. Быстродействующие ТДС

Изготовители используют два вида конструкций для получения быстрой динамической реакции ТДС с термоканалами. В первой конструкции чувствительная оконечность ТДС и термоканала сужена (рис. 23). В другой конструкции для увеличения быстродействия датчика чувствительная часть ТДС

имеет плоскую форму с серебряным покрытием, которое может быть нанесено пайкой, прессованием или гальваническим способом (рис. 24). Так как серебро является мягким материалом и заполняет зазор в месте, где ТДС переходит в термоканал, то это приводит к более быстрой, более динамичной реакции. Золото также используется для покрытия ТДС, но серебро встречается чаще.

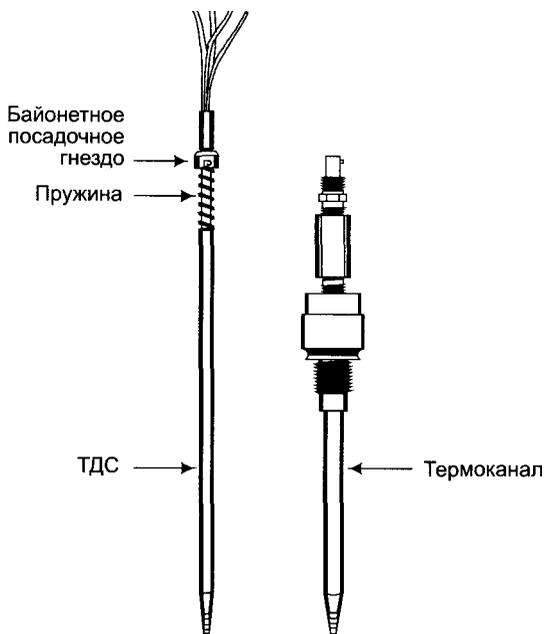


Рис. 23. Схема ТДС и термоканала, суживающихся на конце

К настоящему времени появилась новая конструкция ТДС, использующая преимущества как покрытия чувствительной оконечности ТДС серебром или золотом, так и уменьшения ее диаметра (рис. 25). Вдобавок к этому, время реакции ТДС с термоканалом было улучшено путем заполнения пространства между концом ТДС и кожухом теплопроводящей консистентной смазкой, ликвидирующей воздушный зазор в конце термоканала (рис. 26). Что касается ТДС прямого погружения (ТДС «мокрого» типа), их время реакции является обычно коротким. Однако для дальнейшего улучшения динамической реакции ТДС прямого погружения некоторые изготовители используют конструкцию датчика, в котором чувствительный элемент прикреплен к внутренней стенке чехла, как показано на рис. 27. Эта конструкция позволяет получить времена реакции датчика менее 0,5 с в воде, протекающей со скоро-

стью 1м/с, в сравнении с временем реакции от 1,5 до 2,5 с для типичных ТДС прямого погружения.

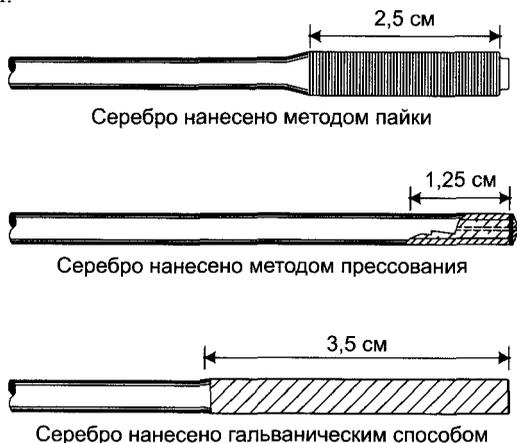


Рис. 24. Различные конструкции ТДС с концевой частью плоской формы, устанавливаемые в термочанале

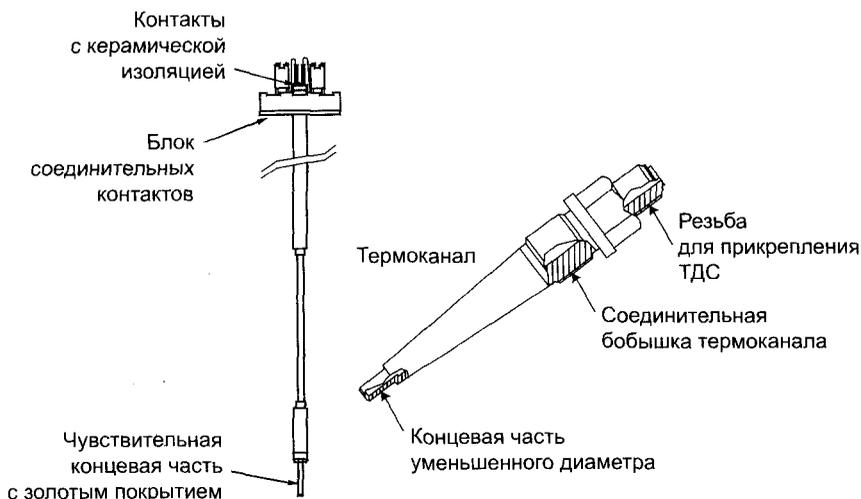


Рис. 25. Конструкция ТДС с позолоченной концевой частью уменьшенного диаметра

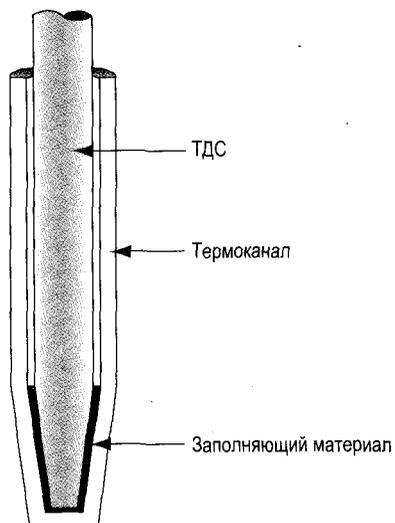


Рис. 26. ТДС в термоканале с нижней частью, наполненной компаундом с высокой теплопроводностью

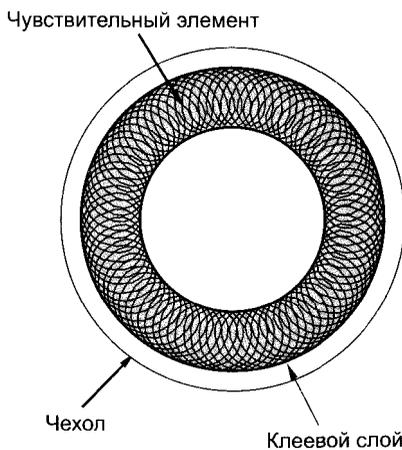
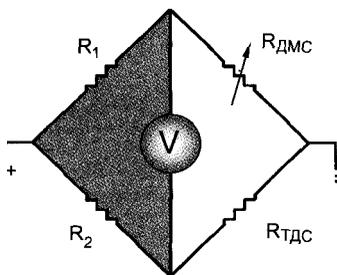


Рис. 27. Пример чувствительного элемента для быстрореагирующего ТДС прямого погружения

2.2.4. Приборное обеспечение ТДС

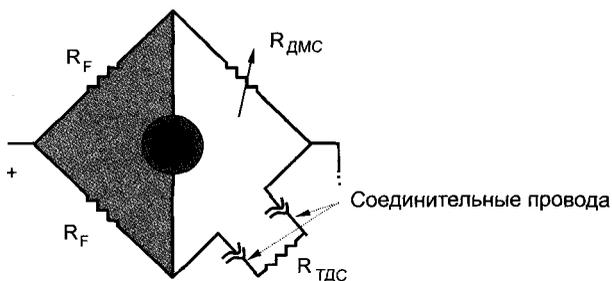
Для измерения сопротивления ТДС и преобразования его в соответствующее значение температуры обычно используют мост Уитстона, схема

которого приведена на рис. 28. Он состоит из двух постоянных резисторов, переменного резистора, или декадного магазина сопротивлений (ДМС), а также источника постоянного тока. Если ТДС используется для измерения температуры, где не нужна высокая точность, требуется лишь мост с двумя проводниками (рис. 29). В этом случае компенсация сопротивления соединительных проводов не нужна. Если точность важна, то надо использовать трехпроводной мост, показанный на рис. 30. Трехпроводной мост автоматически компенсирует сопротивление соединительных проводов в условиях, когда сопротивления проводов по обе стороны моста имеют равные значения.



$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{\text{ДМС}}}{R_{\text{ТДС}}}, R_{\text{ТДС}} = R_{\text{ДМС}} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Рис. 28. Мост Уитстона для измерений сопротивления ТДС



$$R_{\text{ДМС}} = R_{\text{ТДС}} + R_{\text{соединительных проводов}}$$

R_F – постоянные резисторы

Рис. 29. Двухпроводной мост Уитстона

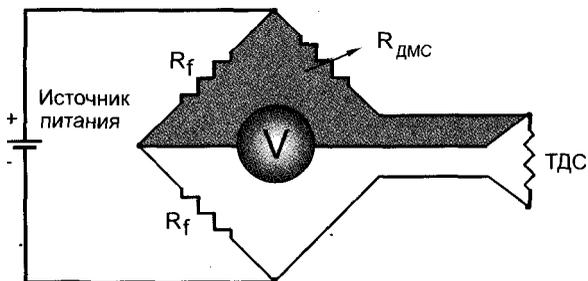


Рис. 30. Трехпроводной мост

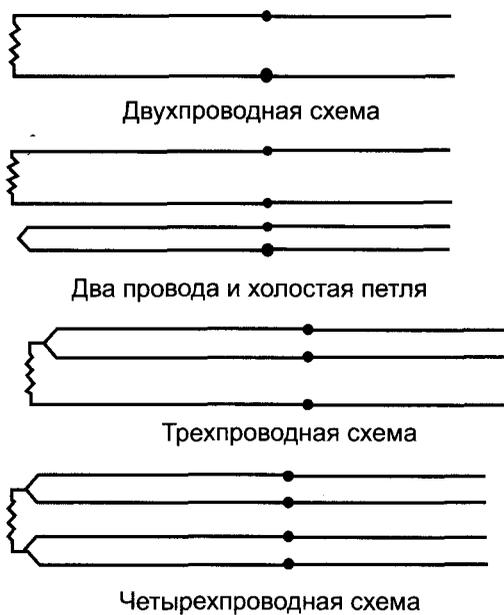
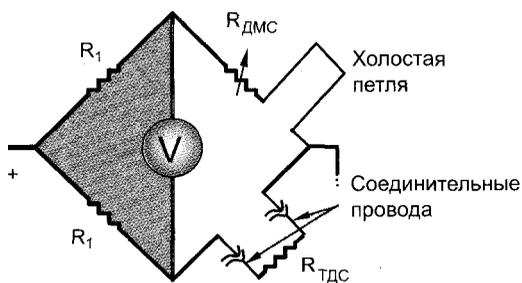


Рис. 31. Конфигурации проводов ТДС

На рис. 31 показаны типичные конфигурации соединительных проводов ТДС для использования с двух- или трехпроводными мостами и другим оборудованием. Как видно из рисунка, двухпроводные ТДС иногда снабжены «холостой» петлей для присоединения ТДС к мосту Уитстона таким образом, чтобы компенсировать сопротивление соединительных проводов (рис. 32). Что касается четырехпроводных ТДС, то вместо моста используются два

провода для подачи измерительного тока (I) на ТДС. Два других провода используются для измерения падения напряжения (V) на элементе ТДС и последующего определения сопротивления в соответствии с законом Ома ($R = \frac{V}{I}$). Эта схема показана на рис. 33.



Когда $V = 0$,

$$R_{\text{дмс}} + R_{\text{холостой петли}} = R_{\text{ТДС}} + R_{\text{соединительных проводов}}$$

то

Рис. 32. Мост для ТДС с холостой петлей

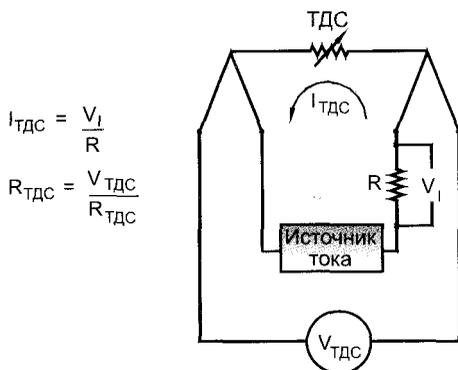


Рис. 33. Измерение с четырехпроводным ТДС

3. АЛГОРИТМ ВЫБОРА ДАТЧИКОВ

Рациональная последовательность выбора технических устройств показана на следующей схеме алгоритма действий.



Рис. 34. Схема алгоритма выбора технических средств

При этом критериями выбора можно считать потребительские свойства, т.е. соотношение показателей затраты/производительность/надежность, а технические и эксплуатационные характеристики ограничениями для процедуры выбора. Кроме того, необходимо разделить характеристики на прямые (для которых положительным результатом является её увеличение) и обратные (для которых положительным результатом является её уменьшение). Так как характеристики между собой конфликтны, т.е. улучшение одной характе-

ристики почти всегда приводит к ухудшению другой, необходимо для каждой характеристики K_i определить весовой коэффициент α_i , учитывающий степень влияния данной характеристики на полезность устройства. Терминология и состав критериев оценки приведены в соответствии с основными положениями квалиметрии и стандартами качества (ГОСТ 15467-79). Выбор аппаратуры производится в четыре этапа (рис. 34):

- 1) определение соответствия технических характеристик предъявленным требованиям;
- 2) определение соответствия эксплуатационных характеристик предъявленным требованиям;
- 3) оценка потребительских свойств выбираемой аппаратуры;
- 4) ранжирование изделий.

На первом этапе каждая техническая характеристика анализируемого изделия сравнивается с предъявленными к проектируемой системе требованиями, и если данная характеристика не удовлетворяет этим требованиям, изделие снимается с рассмотрения.

Такой же анализ проводится на втором этапе с эксплуатационными характеристиками, и только если технические и эксплуатационные характеристики соответствуют поставленной задаче и предъявленным требованиям, проводится оценка потребительских свойств.

Для этого используется аддитивный метод оценки, когда суммарная оценка каждого свойства вычисляется по следующей формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{K_i^{\wedge}} \cdot \alpha_i + \sum_{j=1}^m \frac{1}{\frac{K_j}{K_j^{\wedge}}} \cdot \alpha_j,$$

где: K_i, K_j - прямая и обратная характеристики выбираемого изделия; $K_i^{\wedge}, K_j^{\wedge}$ - соответствующие характеристики аналога; α_i, α_j - весовые коэффициенты характеристик; n, m количество прямых и обратных характеристик.

Деление на характеристики аналога необходимо для приведения всех свойств к относительным величинам. Определение весовых коэффициентов для характеристик технического средства является одной из самых ответственных задач, т.к. именно от их правильной величины зависит достоверность результатов анализа. Для нахождения усредненной оценки каждого коэффициента может быть рекомендована следующая методика экспертных оценок и программа их расчета. Составляется матрица «эксперты-коэффициенты», в которой проставляются полученные от каждого эксперта оценки коэффициентов по шкале от 0 до 10.

Рассчитывается относительная значимость (W_{ij}) всех коэффициентов в отдельности для каждого эксперта. С этой целью оценки, полученные от каждого эксперта, суммируются (по горизонтали), а затем нормируются:

$$W_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij}}, \text{ при } j = \text{const.}$$

Вычисляется усредненная оценка, данная всеми экспертами каждому коэффициенту. Для этого нормированные оценки, полученные в предыдущем шаге, суммируются (по вертикали), а затем рассчитывается среднее арифметическое для каждого коэффициента:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m W_{ij}}{m}, \text{ при } i = \text{const.}$$

В результате анализа потребительских свойств аппаратуры составляется матрица изделия – потребительские свойства, которая содержит исходные данные для выбора технического устройства.

Ранжирование изделий, т.е. расположение их в порядке возрастания (или убывания) соотношения показателей затраты/производительность/надежность целесообразно проводить по формуле:

$$P = \Pi + H + 3.$$

4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Рассчитать рабочую измерительную схему и выбрать первичный преобразователь для измерения температуры (в аппарате, трубопроводе, насосе и т.д.), удовлетворяющий следующим характеристикам:

Таблица 8

Характеристики первичного преобразователя

Монтажная длина в аппарате (от поверхности), мм	Рабочая температура, °С	Абсолютная погрешность измерения, °С	Показатели инерционности, с	Длина соединительных проводов, м	Характеристики среды измерения: наименование, давление, МПа агрегатное состояние
1500	400	0,8	10	850	трансформаторное масло, 0,9 жидкость

Для выбранных средств измерения требуется указать следующие характеристики.

1. Модель и наименование (тип прибора, классификация и т.д.).
2. Класс допуска (класс точности, погрешности измерения и т.д.).
3. Особенности конструкции датчика (внутреннее устройство датчика, материалы, используемые в приборе).
4. Градуировка (номинальные статические характеристики).
5. Габаритные и присоединительные размеры (способы соединения, размеры различных частей и элементов и т.д.).
6. Материал монтажных частей (вид монтажа прибора к аппарату и материалы монтажных изделий и т.п.).
7. Соответствие техническим условиям, ГОСТ и другим нормативным документам (ТУ, ГОСТы, международные стандарты, реестр средств измерения).
8. Требования гарантийного обслуживания и сроки поверки приборов (сложность поверки и условия поверки).
9. Требования по герметичности и взрывозащите.

Решение.

Для поставленной задачи можно подобрать термометр сопротивления или термопару.

Для измерения температуры был выбран ТСПУ Метран-276-02-Exia. Он предназначен для измерения температуры различных сред путем преобразования сигнала первичного преобразователя температуры в унифицированный выходной сигнал постоянного тока. Чувствительный элемент преобразователя и встроенный в головку датчика измерительный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный токовый выходной сигнал, что дает возможность построения АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей. Использование термопреобразователя допускается в нейтральных и агрессивных средах, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозионностойким. Метран-276 – Exia может применяться во взрывоопасных зонах.

Характеристики датчика:

- диапазон измеряемых температур: $-50-500^{\circ}\text{C}$;
- выходной сигнал: 4-20 мА с цифровым сигналом на базе HART-протокола;
- номинальная статическая характеристика: 100П;
- предел допускаемой основной приведенной погрешности: 0,25%;
- длина монтажной части: $L= 500$ мм;
- зависимость выходного сигнала от температуры: линейная;
- материал защитной арматуры: 12Х18Н10Т (до 800°C);
- материал головки: сплав АК12;
- вид взрывозащиты: искробезопасная электрическая цепь;
- климатическое исполнение: $-20 - +40^{\circ}\text{C}$;
- виброустойчивость: группа исполнения V1 по ГОСТ 12997;
- схема соединения: двухпроводная;
- напряжение питания: от 18 до 42 В постоянного тока - для термопреобразователей с выходным сигналом 4-20 мА;
- потребляемая мощность: не более 0,5 Вт.

СХЕМЫ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ

Выходной сигнал 4-20 мА

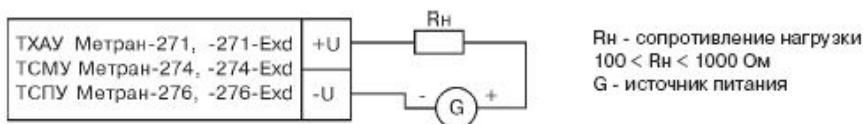


Рис. 35. Схема внешних электрических подключений

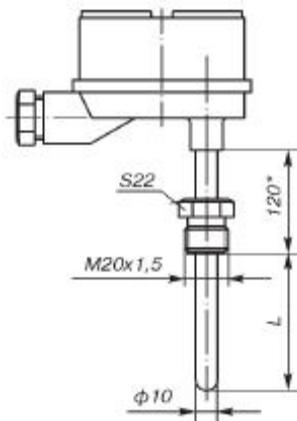


Рис. 36. Габаритные и присоединительные размеры

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Рассчитать рабочую измерительную схему и выбрать первичный преобразователь для измерения температуры (в аппарате, трубопроводе, насосе и т.д.) удовлетворяющий следующим характеристикам:

Таблица 9

Характеристики первичного преобразователя

№ варианта	Монтажная длина в аппарате (от поверхности), мм	Рабочая температура, °С	Абсолютная погрешность измерения, °С	Показатели инерционности, с	Длина соединительных проводов, м	Характеристики среды измерения: наименование, давление, Мпа агрегатное состояние
1	1000	1152	0,5	1	150	аммиак, 0,2 жидкость
2	120	76	0,5	0,5	300	аммиак, 0,4 газ
3	100	56	1	0,4	400	соляная кислота, 0,6 жидкость
4	50	-32	1	0,3	500	серная кислота, 0,8 жидкость
5	2000	-129	0,2	1,5	550	пропилен, 0,2 жидкость
6	2500	500	0,3	1	600	пропилен, 0,05 газ
7	3500	641	0,4	0,5	650	вода, 0,2 жидкость
8	1000	298	0,5	2	750	пар, 1 газ
9	850	870	0,6	1	750	хлор, 1,2 газ
10	456	1258	0,7	1,5	800	фтор, 0,2 газ

11	698	698	0,8	1	850	трансформаторное масло, 0,9 жидкость
12	457	-132	0,9	1	900	уксусная кислота, 0,5 жидкость
13	320	-126	1	0,5	950	уксусная кислота, 0,02 газ
14	500	-134	1,1	0,4	1000	угольная кислота, 0,02 жидкость
15	698	-145	1,2	0,3	1050	муравьиная кислота, 0,01 жидкость
16	587	168	1,3	1,5	1100	азотная кислота, 2 жидкость
17	200	256	1,4	1	1150	фреон, 0,02 газ
18	256	348	1,5	0,5	1200	бензин, 0,2 жидкость
19	248	369	0,5	2	1250	керосин, 0,2 жидкость
20	639	489	0,5	1	1300	битум, 0,5 жидкость
21	369	465	1	1,5	1350	стирол, 1 жидкость
22	487	557	1	1	1400	бензол, 2 жидкость
23	630	688	0,2	1	1450	этилен, 2 жидкость
24	100	789	0,3	0,5	1500	полиэферы, 0,2 жидкость

25	589	897	0,4	0,4	1550	едкий натр, 2 жидкость
26	1258	821	0,5	0,3	1600	щелочь, 1 жидкость
27	1369	978	0,6	1,5	1650	молоко, 0,1 жидкость
28	425	925	0,7	1	1700	пиво, 0,1 жидкость
29	1586	1234	0,8	0,5	1750	спирт, 0,1 жидкость
30	1236	1345	0,9	2	1800	серная ки- слота, 0,5 жидкость
31	1245	1568	1	1	1850	аммиак, 0,2 жидкость
32	1458	1152	1,1	1,5	1900	аммиак, 0,4 газ
33	1658	-76	1,2	1	1950	соляная кислота, 0,6 жидкость
34	1236	-56	1,3	1	2000	серная ки- слота, 0,8 жидкость
35	1598	-32	1,4	0,5	2050	пропилен, 0,2 жидкость
36	1245	-129	1,5	0,4	2100	пропилен, 0,05 газ
37	1685	500	0,5	0,3	2150	вода, 0,2 жидкость
38	2100	641	0,5	1,5	2200	пар, 1 газ
39	2150	298	1	1	2250	хлор, 1,2 газ
40	2147	870	1	0,5	2300	фтор, 0,2 газ

41	2630	1258	0,2	2	2350	трансформаторное масло, 0,9 жидкость
42	2189	698	0,3	1	2400	уксусная кислота, 0,5 жидкость
43	1872	132	0,4	1,5	2450	уксусная кислота, 0,02 газ
44	1658	126	0,5	1	2500	угольная кислота, 0,02 жидкость
45	1965	134	0,6	1	2550	муравьиная кислота, 0,01 жидкость
46	1478	145	0,7	0,5	2600	азотная кислота, 2 жидкость
47	1365	168	0,8	0,4	2650	фреон, 0,02 газ
48	1856	256	0,9	0,3	2700	бензин, 0,2 жидкость
49	1698	348	1	1,5	2750	керосин, 0,2 жидкость
50	123	369	1,1	1	2800	битум, 0,5 жидкость
51	156	489	1,2	0,5	2850	стирол, 1 жидкость
52	145	465	1,3	2	2900	бензол, 2 жидкость
53	254	557	1,4	1	2950	этилен, 2 жидкость
54	265	688	1,5	1,5	3000	полиэферы, 0,2 жидкость

55	345	789	0,5	1	3050	едкий натр, 2 жидкость
56	385	897	0,5	1	3100	щелочь, 1 жидкость
57	396	821	1	0,5	3150	молоко, 0,1 жидкость
58	452	978	1	0,4	3200	пиво, 0,1 жидкость
59	469	925	0,2	0,3	3250	спирт, 0,1 жидкость
60	478	1234	0,3	1,5	3300	серная ки- слота, 0,5 жидкость
61	521	1345	0,4	1	3350	аммиак, 0,2 жидкость
62	263	1568	0,5	0,5	3400	аммиак, 0,4 газ
63	569	1152	0,6	2	3450	соляная кислота, 0,6 жидкость
64	687	-76	0,7	1	3500	серная ки- слота, 0,8 жидкость
65	623	-56	0,8	1,5	3550	пропилен, 0,2 жидкость
66	789	-32	0,9	1	3600	пропилен, 0,05 газ
67	752	129	1	1	3650	вода, 0,2 жидкость
68	745	500	1,1	0,5	3700	пар, 1 газ
69	763	641	1,2	0,4	3750	хлор, 1,2 газ
70	852	298	1,3	0,3	3800	фтор, 0,2 газ

71	863	870	1,4	1,5	3850	трансформаторное масло, 0,9 жидкость
72	841	1258	1,5	1	3900	уксусная кислота, 0,5 жидкость
73	956	698	0,5	0,5	3950	уксусная кислота, 0,02 газ
74	974	132	0,5	2	4000	угольная кислота, 0,02 жидкость
75	985	126	1	1	4050	муравьиная кислота, 0,01 жидкость
76	963	134	1	1,5	4100	азотная кислота, 2 жидкость
77	941	145	0,2	1	4150	фреон, 0,02 газ
78	1234	-168	0,3	1	4200	бензин, 0,2 жидкость
79	1235	256	0,4	0,5	4250	керосин, 0,2 жидкость
80	1369	348	0,5	0,4	4300	битум, 0,5 жидкость
81	1456	369	0,6	0,3	4350	стирол, 1 жидкость
82	1789	489	0,7	1,5	4400	бензол, 2 жидкость
83	1256	465	0,8	1	4050	этилен, 2 жидкость
84	1458	557	0,9	0,5	4100	полиэферы, 0,2 жидкость

85	1697	688	1	2	4150	едкий натр, 2 жидкость
86	165	789	1,1	1	4200	щелочь, 1 жидкость
87	126	897	1,2	1,5	4250	молоко, 0,1 жидкость
88	256	821	1,3	1	4300	пиво, 0,1 жидкость
89	284	978	1,4	1	4350	спирт, 0,1 жидкость
90	269	925	1,5	0,5	4400	серная ки- слота, 0,5 жидкость
91	369	1234	0,5	0,4	4450	аммиак, 0,2 жидкость
92	357	1345	0,5	0,3	4500	аммиак, 0,4 газ
93	346	1568	1	1,5	4550	соляная кислота, 0,6 жидкость
94	387	1152	1	1	4600	серная ки- слота, 0,8 жидкость
95	395	76	0,2	0,5	4650	пропилен, 0,2 жидкость
96	324	56	0,3	2	4700	пропилен, 0,05 газ
97	469	32	0,4	1	4750	вода, 0,2 жидкость
98	587	129	0,5	1,5	4800	пар, 1 газ
99	694	500	0,6	1	4850	хлор, 1,2 газ
100	758	641	0,7	1	4900	фтор, 0,2 газ

Для выбранных средств измерения требуется указать следующие характеристики.

1. Модель и наименование (тип прибора, классификация и т.д.).
2. Класс допуска (класс точности, погрешности измерения и т.д.).
3. Особенности конструкции датчика (внутреннее устройство датчика, материалы, используемые в приборе).
4. Градуировка (номинальные статические характеристики).
5. Габаритные и присоединительные размеры (способы соединения, размеры различных частей и элементов и т.д.).
6. Материал монтажных частей (вид монтажа прибора к аппарату и материалы монтажных изделий и т.п.).
7. Соответствие техническим условиям, ГОСТ и другим нормативным документам (ТУ, ГОСТы, международные стандарты, реестр средств измерения).
8. Требования гарантийного обслуживания и сроки поверки приборов (сложность поверки и условия поверки).
9. Требования по герметичности и взрывозащите.

Рассчитать мостовые и компенсационные измерительные схемы для выбранных датчиков, указать основные возмущения, влияющие на точность измерения температуры, и способы компенсации их (двухпроводную схему, трех и четырехпроводную схемы и т.д.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Правильный выбор датчиков температуры приводит к адекватной реакции системы управления на возникающие в объекте управления возмущения и улучшает динамические характеристики контуров регулирования.

При адекватном выборе датчиков температуры увеличивается выход качественной продукции на производстве и, как следствие, годовая прибыль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». – 3-е изд. – перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.-424 с., ил.
2. Хашемиан Х.М. Датчики технологических процессов: характеристики и методы повышения надежности. М.: Издательство Бином, 2008. – 336 с., илл.
3. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005.-307 с.
4. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.-690 с.
5. Каталог. Приборы и средства автоматизации. Том 1. Приборы для измерения температуры. Москва ООО Издательство «Научтехлитиздат» - 2005 г. - 368 с.

Учебное издание

Минигалиев Григорий Барыевич

Елизаров Виталий Викторович,
доктор технических наук

ВЫБОР ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Корректор Белова И.М.
Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 03.12.2014.
Подписано в печать 17.12.2014.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 3. Тираж 100 экз.
Заказ № 23.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ»,
г. Нижнекамск, 423570, ул. 30 лет Победы, д. 5а.