

Применение волоконно-оптического датчика для контроля, поверки и тарировки датчиков температуры

06, июнь 2014

Серёгин Н. Г.¹, Беляков В. А.², Сорокин С. В.³, Яковлев А. В.³

УДК: 681.586:629.78

¹Россия, МГТУ им. Баумана

²Московский Государственный Университет Леса

³ОАО «НПО Измерительной Техники»

seregin-ng@mail.ru

npoit@npoit.ru

Целью работы является разработка волоконно-оптического датчика и экспериментальной установки для проведения предварительных исследований при создании измерительного комплекса для поверки и тарировки в производственных условиях датчиков температуры на основе термопар и термометров сопротивления [1].

В настоящее время волоконно-оптические приборы применяют для решения разнообразных научно-технических задач [2]: при выполнении измерений линейных и угловых величин, автоматическом слежении и управлении, исследовании природных ресурсов и окружающей среды, обработке оптических изображений. Как уже выше было сказано, авторы проводят исследования волоконно-оптического датчика для применения его при создании измерительного комплекса для поверки и тарировки в производственных условиях датчиков температуры на основе термопар и термометров сопротивления.

Для проведения исследований авторами была разработана конструкция волоконно-оптического датчика температур, изображённая на рисунке 1, отличающаяся тем, что она позволяет провести предварительные экспериментальные работы для достижения выше поставленной цели.

Датчик состоит из корпуса 1, изготовленного из алюминиевого сплава АМГ6 или другого материала и имеющего с одной стороны наружную резьбу 2 для соединения с волоконно-оптическим разъемом 3, а с другой стороны внутреннюю резьбу 4 для выполнения винтом 5 с контргайкой 6 настроечных перемещений зеркального торца оптического капилляра 7 относительно торца оптического волокна 8, закрепленного в волоконно-оптическом разьеме 3.

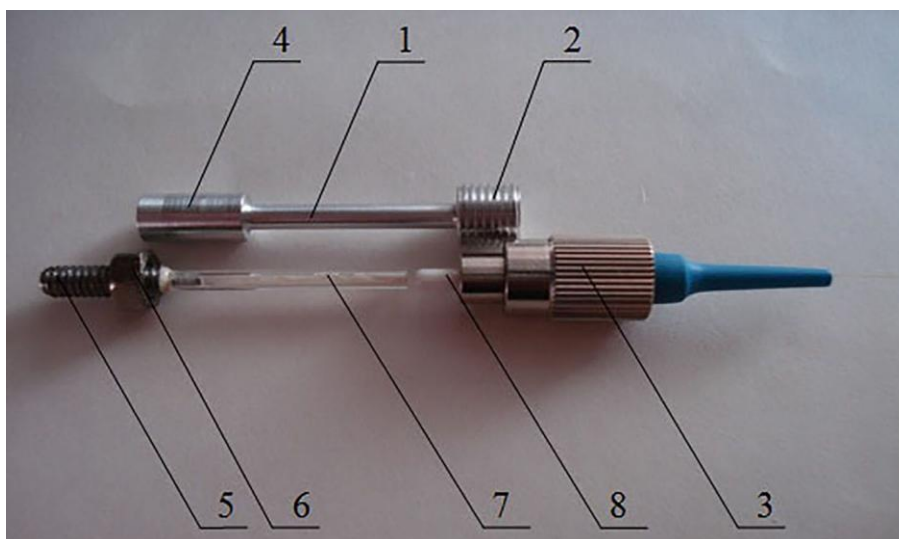


Рис. 1. Исследуемый волоконно-оптический датчик температуры.

Применение волоконно-оптического датчика для решения выше поставленной цели вызвано необходимостью поиска альтернативной замены эталонным платиновым термометрам, которые наряду с общепризнанными достоинствами обладают и рядом недостатков, а именно:

- 1) эталонные платиновые термометры требуют осторожного обращения, они не переносят вибрацию и удары;
- 2) в процессе эксплуатации эталонным платиновым термометрам необходимы дополнительные источники питания;
- 3) на точность измерения эталонных платиновых термометров негативно влияет эффект их самонагрева;
- 4) следует принимать во внимание, что хоть платина и является коррозионно-стойким металлом, но даже незначительное окисление её поверхности приводит к снижению стабильности физических свойств платины и, как следствие, к снижению точности измерений платиновых термометров;
- 5) в настоящее время в России перестали производить платиновую проволоку необходимого качества для производства образцовых измерительных систем. И в связи с этим, все образцовые датчики температуры изготавливаются из платиновой проволоки производства Германии.

Именно поэтому, при решении задач контроля, поверки и тарировки датчиков температуры рассматривается возможность замены эталонных платиновых термометров волоконно-оптическими датчиками температуры.

Тем более что они обладают такими преимуществами, как высокие точность, антикоррозионная стойкость, чувствительность; не требуют дополнительных источников питания, что исключает фактор самонагрева; малые габариты и вес. Это позволяет приме-

нять вышеназванные волоконно-оптические датчики температуры в процессе контроля, поверки и тарировки выпускаемых промышленностью датчиков температуры.

В качестве эталонных платиновых термометров в процессе поверки и тарировки датчиков температуры в настоящее время применяют платиновые термометры типа ПТС для измерений до 100°C и ТСПН для измерений до 200°C .

Процесс контроля, поверки и тарировки датчиков температуры производится по соответствующей шкале. Для практического применения была введена эмпирическая международная температурная шкала, которая основывается на шести основных реперных точках. Главным образом это температуры кипения и затвердевания. Для измерения температуры между основными реперными точками используют эталонные платиновые термометры сопротивления. Каждый термометр должен иметь градуировочную характеристику, выраженную зависимостью электрического сопротивления эталонного платинового термометра R от измеряемой температуры t :

$$R = f(t),$$

В технических условиях на каждый термометр должны быть указаны температурные точки, для которых в паспорте на термометр приводятся значения электрического сопротивления. В основном тарировку датчиков температуры проводят при температурах 0°C и 100°C при постоянном давлении. При измерении электрического сопротивления при 0°C датчик температуры помещают в водонепроницаемый чехол и погружают в смесь дистиллированной воды и льда, после выдержки в течение 30 минут измеряют электрическое сопротивление. При измерении электрического сопротивления при 100°C датчик температуры погружают в водонепроницаемый чехол в пары кипящей воды жидкостного термостата вместе с образцовым платиновым термометром. После выдержки также в течение 30 минут измеряют электрическое сопротивление датчика температуры и эталонного платинового термометра. По полученным результатам измерений определяют температурный коэффициент α каждого из исследуемых датчиков температуры:

$$\alpha = \frac{(R_{\text{кв}} - R_0)}{R_0 t_{\text{кв}}},$$

где:

$R_{\text{кв}}$ – электрическое сопротивление датчика при температуре кипящей воды;

R_0 – электрическое сопротивление датчика температуры при 0°C ;

$t_{\text{кв}}$ – температура кипящей воды.

Для проверки и тарировки датчиков температуры в реперных точках требуется специальное контрольное оборудование, позволяющее с большой точностью установить реперные точки и измерить значения электрических сопротивлений. К ним относятся термостаты, эталонные платиновые термометры и преобразующая аппаратура.

Принципиальная схема предлагаемого для решения задачи контроля, поверки и тарировки датчиков температуры волоконно-оптического датчика показана на рисунке 2.



Рис. 2. Принципиальная схема волоконно-оптического датчика.

Волоконно-оптический датчик температуры является, по сути, оптическим датчиком линейных перемещений на основе интерферометра Фабри-Перо. В капилляре 1 закреплены два оптических волокна 2 и 3 с зеркально полированными и обращенными навстречу друг к другу торцами, образующими интерферометр Фабри-Перо, а расстояние d является его базой. Оптическое волокно 2 является проводником светового пучка от широкополосного оптического источника 4 и приёмником отраженного сигнала от зеркального торца оптического волокна 3.

Схема установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной интерферометрии [3], приведена на рисунке 3.

Она состоит из источника излучения, волоконно-оптической линии с разветвителем и спектрометра, содержащего отражательную дифракционную решетку, объектив и п.з.с. матрицу. Излучение от широкополосного SLD по оптическому волокну попадает на интерферометр Фабри-Перо, сформированный на торце волокна. Отраженный от интерферометра Фабри-Перо сигнал через разветвитель подается на вход спектрометра.

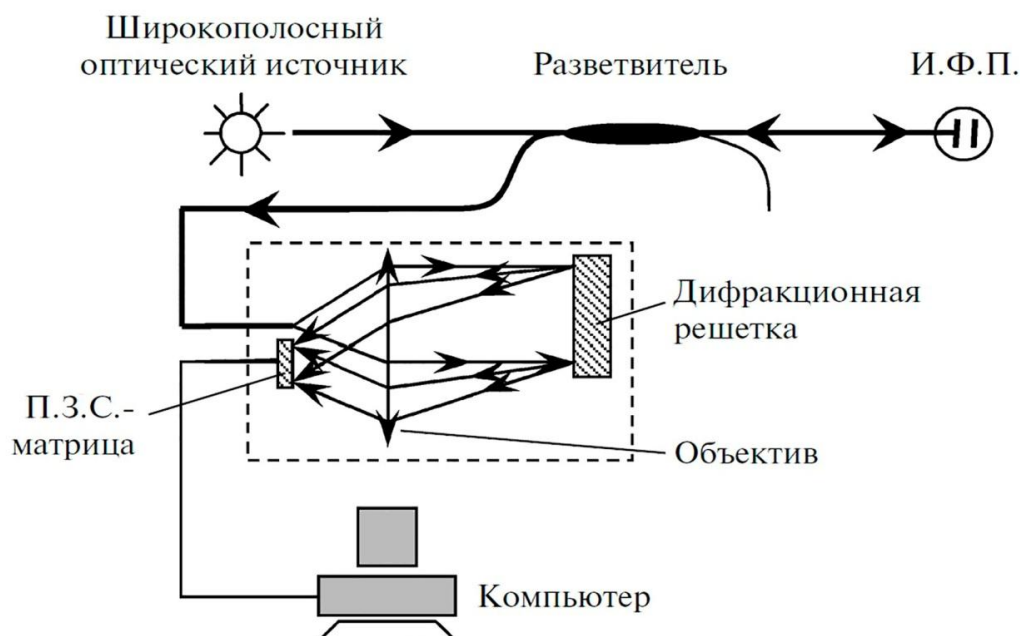


Рис. 3. Схема установки для измерения базы интерферометра Фабри-Перо и перемещений.

Интенсивность отраженного сигнала будет описываться произведением функций отражения интерферометра Фабри-Перо и гауссовой функции источника, т.е. имеет вид:

$$I(\lambda) \sim I_0 \exp\left[\frac{-(\lambda - \lambda_0)^2}{2\Delta\lambda^2}\right] \left(1 - V \cos \frac{4\pi nd}{\lambda}\right),$$

где:

I_0 – мощность излучения на входе волоконного тракта;

V – константа, характеризующая видность интерференции и зависящая от величины потерь излучения и эффективности связи между интерферометром Фабри-Перо и оптическим волокном;

λ_0 и $\Delta\lambda$ – соответственно центральная длина волны и ширина спектра излучения SLD;

n – коэффициент преломления среды (для воздуха $n = 1$).

Выражение для базы интерферометра Фабри-Перо имеет вид:

$$d = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{2(\lambda_{m+1} - \lambda_m)n} \cong \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda} \quad \text{при } n = 1$$

где:

$\Delta\lambda = \lambda_{m+1} - \lambda_m$ – расстояние между соседними максимумами.

Точность измерения d и чувствительность метода в этом случае будут определяться точностью измерения λ_m , т.е. спектральными характеристиками прибора, в том числе характеристиками п.з.с. матрицы и отношением сигнал/шум.

Наглядно анализатор спектра можно увидеть на рисунке 4, где показано оптоволоконно 1, по которому приходит сигнал и направляется через объектив 2 на дифракционную решетку 3, на которой он раскладывается на дифракции нескольких порядков. И уже первый и второй порядки дифракции через п.з.с. матрицу в виде информационного сигнала по кабелю 4 поступает на компьютер.

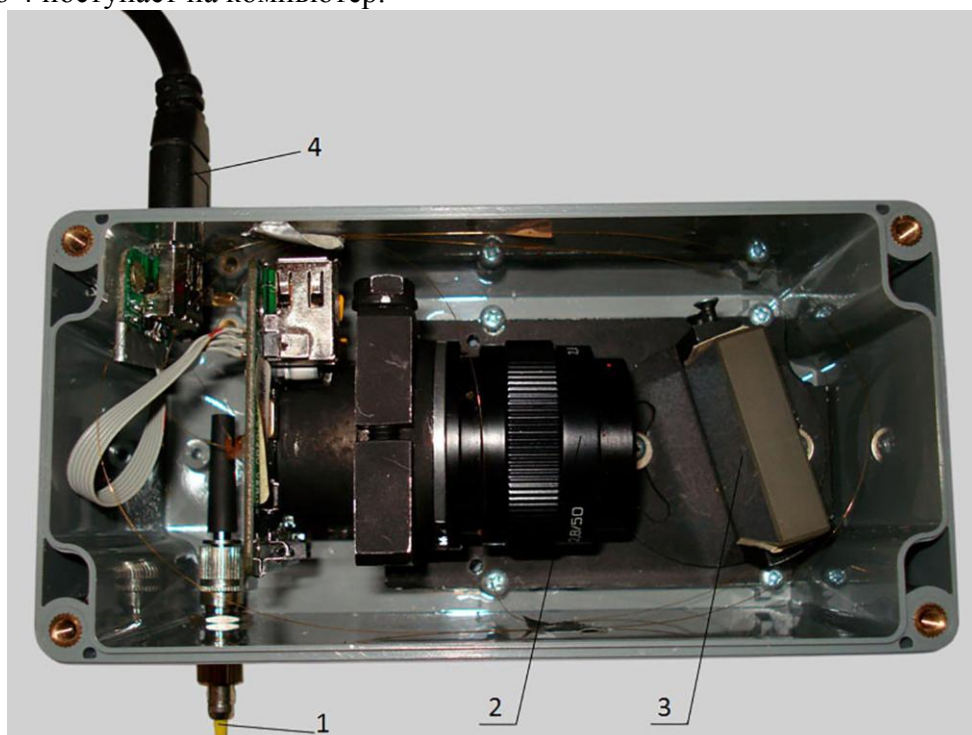


Рис. 4. Анализатор спектра.

Экспериментальная установка для исследования волоконно-оптического датчика температуры (рис. 5) состоит из жидкостного термостата 1, исследуемого волоконно-оптического датчика температуры 2, погруженного в теплоноситель, двух контрольных платиновых термометров 3, также погруженных в теплоноситель, и показывающего температуру прибора 4, предназначенного для независимого контроля температуры теплоносителя, в которой находится волоконно-оптический датчик температуры 2, с помощью двух контрольных платиновых термометров 3.

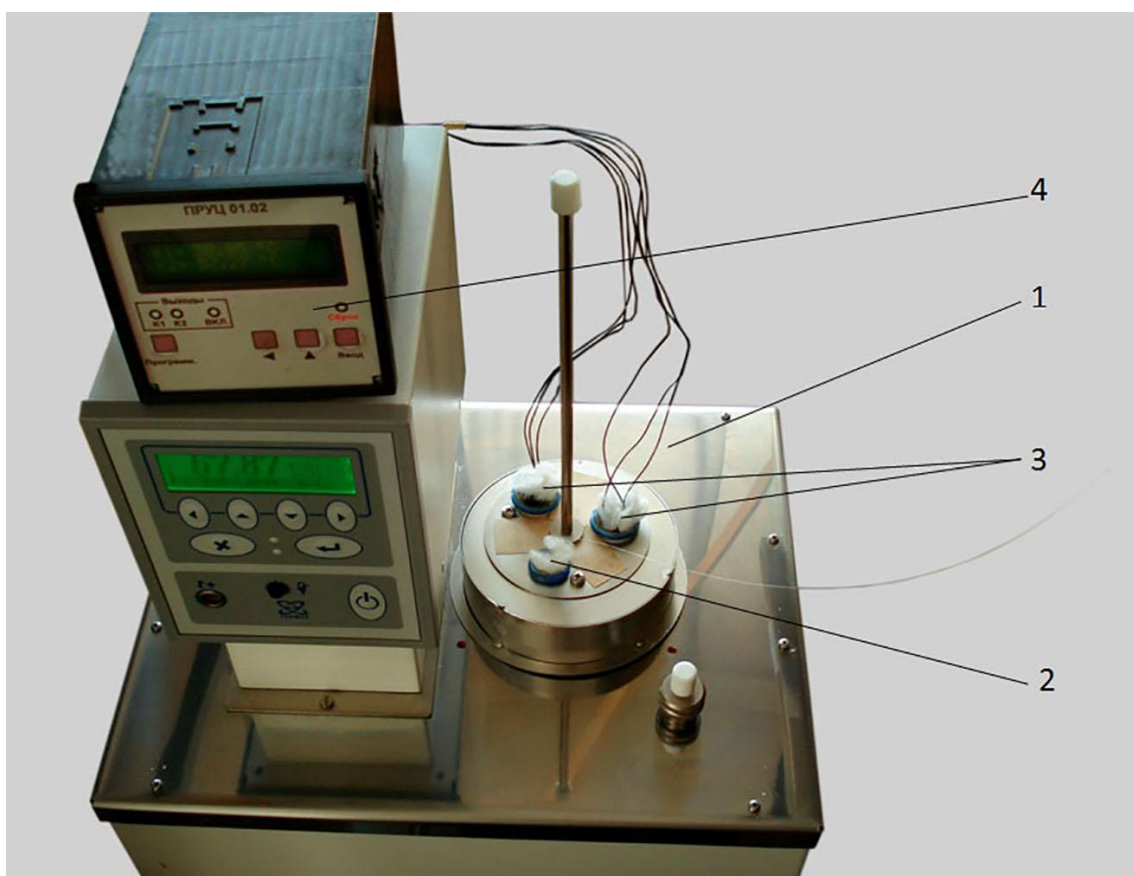


Рис. 5. Экспериментальная установка для исследования волоконно-оптического датчика температуры.

Условия проведения исследований разработанной авторами конструкции волоконно-оптического датчика (рис. 1) определялись, в том числе, и техническими характеристиками оборудования, входящего в состав экспериментальной установки (рис. 6). В частности диапазон работы жидкостного термостата находится в пределах 100-300°C. Поэтому исследования волоконно-оптического датчика температуры были спланированы именно в этом диапазоне температур, тем более что он наиболее интересен для достижения постав-

ленной выше цели. Результаты предварительных исследований сведены в таблицу и показаны на графике (рис. 6).

Таблица

| № изм. п/п | ТСП | К1 | К2 | ВОД |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| 2 | 110,00 | 109,85 | 109,85 | 111,33 |
| 3 | 120,00 | 118,82 | 118,82 | 124,44 |
| 4 | 130,00 | 127,61 | 127,61 | 137,82 |
| 5 | 140,00 | 136,61 | 136,61 | 151,85 |
| 6 | 150,00 | 145,53 | 145,53 | 166,08 |
| 7 | 160,00 | 154,29 | 154,29 | |
| 8 | 170,00 | 163,06 | 163,06 | |
| 9 | 180,00 | 172,05 | 171,98 | |
| 10 | 190,00 | 180,82 | 180,82 | |
| 11 | 200,00 | 189,67 | 189,67 | |
| 12 | 210,00 | 198,41 | 198,41 | |
| 13 | 220,00 | 207,19 | 207,19 | |

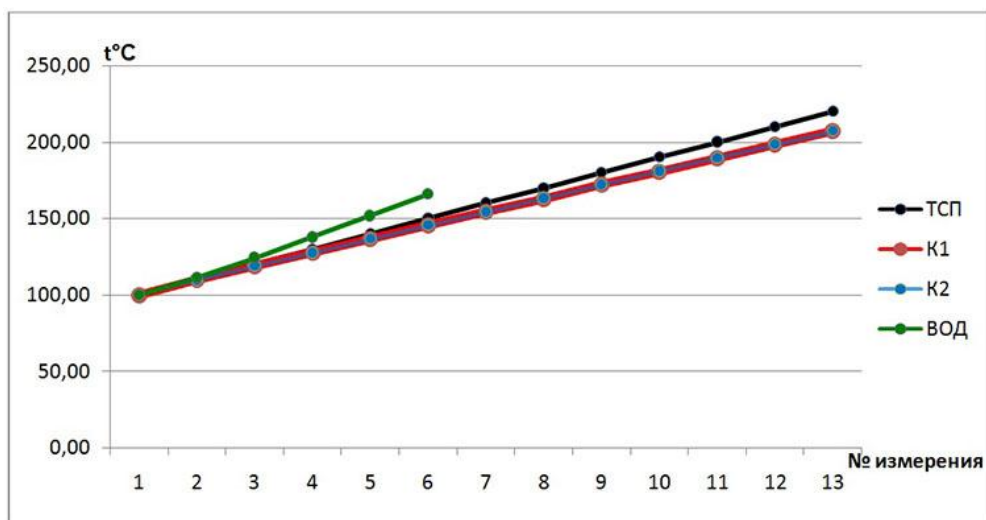


Рис. 6. График данных, полученных в результате исследований волоконно-оптического датчика температуры.

В таблице 1 и на графике (рис. 6) введены следующие условные обозначения:

ТСП – показания датчика температуры жидкостного термостата;

К1 и К2 – показания двух контрольных платиновых термометров;

ВОД – показания исследуемого волоконно-оптического датчика.

Показания исследуемого волоконно-оптического датчика были получены в результате пересчета по следующей формуле:

$$\Delta I_{\text{трубки}} = \alpha_{\text{АМГ}} l_{\text{трубки}} \Delta t ,$$

соответственно

$$\Delta t = \frac{\Delta l_{\text{трубки}}}{\alpha_{\text{АМГ6}} l_{\text{трубки}}}$$

где $\alpha_{\text{АМГ6}}$ – температурный коэффициент линейного расширения материала.

Выводы и рекомендации

Анализ экспериментальных данных показал удовлетворительные результаты работы исследуемого волоконно-оптического датчика температуры. Однако необходимо провести дополнительные работы по совершенствованию его конструкции, а именно:

1. Обеспечить герметичность конструкции.
2. Заменить волоконно-оптический разъем на более термостойкий или исключить его из конструкции.
3. Исключить из дальнейших исследований контрольные платиновые термометры, т.к. штатный датчик температуры жидкостного термостата обеспечивает заданную точность.

Список литературы

1. Серегин Н.Г., Сорокин С.В. Внедрение волоконно-оптических датчиков температуры в систему тарировки и испытаний устройств измерительной техники В.Т. //Лесной вестник, 2012. № 6(89). С.107-109.
2. Якушенко Ю.Г. Теория и расчёт оптоэлектронных приборов//М.: Логос, 1999. 480 с.:ил.
3. Потапов В.Т., Жамалетдинов М.Н., Жамалетдинов Н.М., Мамедов А.М., Потапов Т.В. Волоконно-оптическое устройство для измерения абсолютных расстояний и перемещений с нанометрическим разрешением//Приборы и техника эксперимента, 2013. № 5. С.103-107.