

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ ЗОНАХ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

**Н.Н. Акифьева, Л.В. Жукова, А.Е. Глухов, Д.А. Краснов,
А.О. Овчарников, А.С. Шмыгалев**

*Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург*

Рассмотрены результаты измерения температуры с помощью кристаллических инфракрасных световодов. Представлена экспериментальная установка, разработана схема регулирования с отображением и контролем процессов в режиме реального времени. Приведены и проанализированы полученные результаты, выводы и рекомендации по увеличению точности измерений. Проводимые впервые исследования показали принципиальную возможность создания новых типов датчиков температуры для их применения в системах защиты, регулирования режимов, диагностики состояния энергооборудования, благодаря которым возможен контроль за различными элементами оборудования и в дальнейшем переход от планово-предупредительной системы ремонтов к ремонтам по состоянию. Авторы предполагают, что при более глубоком исследовании термосенсорных свойств инфракрасных волокон возможно создание нового вида тепловизионного контроля и применение его в промышленных масштабах.

Ключевые слова: инфракрасный световод, волоконная оптика, импульс температуры, термосенсор, термография, тепловизионный контроль.

Введение

Концепции современной автоматизации предполагают получение информации о технологических параметрах из рабочей зоны оборудования. Помещение датчиков в рабочую зону не всегда возможно, поэтому необходим канал вывода «импульса параметра» в безопасное место, где будет расположен измерительный прибор. Для температуры таким каналом вывода могут служить инфракрасные световоды (ИК-световоды), достоинством которых является не только возможность вывода «импульса температуры», но и возможность бесконтактного измерения температуры.

Дистанционная передача «импульса температуры» особо востребована при анализе состояния деталей и механизмов газовых, паровых и самолетных турбин, тем самым давая возможность заранее прогнозировать выход из строя определенного узла и своевременно его заменить, предотвратив более серьезную поломку. Большой интерес представляет применение ИК-световодов для бесконтактного измерения температуры металла движущихся частей механизмов, в узлах которых имеется повышенное трение, для проведения тепловой дефектоскопии, контроля качества сварных швов, измерения и анализа тепловых параметров внутри трубопроводов, при организации температурного контроля энергооборудования: паровых и водогрейных котлов, сосудов под давлением, тру-

бопроводов, оборудования систем газоснабжения и газораспределения, газопроводов, а также для оборудования металлургической промышленности, атомной энергетики и строительных объектов.

1. Постановка задачи. Описание установки

На сегодняшний день известно о применении неинфракрасных (на основе стекла) датчиков для измерения температуры [1]. Их преимуществами (также входящих в список преимуществ ИК-датчиков) являются:

- прямое измерение температуры и дальность действия измерения;
- точная локализация наиболее нагретых мест;
- незначительные затраты на ТО.

Имеющиеся недостатки таких датчиков (несвойственные ИК-датчикам):

- максимальная температура измерений 400 °С;
- необходимость дополнительной механической защиты датчика.

ИК-световод – это закрытая структура, предназначенная для направленной передачи электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн от 2 до 40 мкм. Причем диапазон работы оптических волокон зависит от их состава не только по основному веществу, но и от содержания примесных элементов. На данный момент наибольший интерес вызывают кристаллы твердых растворов галогенидов серебра и световоды на их ос-

Краткие сообщения

нове [2], получаемые методом экструзии, в первую очередь благодаря высокому пропусканию (около 80 %), а также благоприятным механическим свойствам (высокая пластичность), негигроскопичности и нетоксичности. Они нашли свое применение в спектроскопии, лазерной медицине, лазерной резке, сварке, в качестве гибких волоконных зондов.

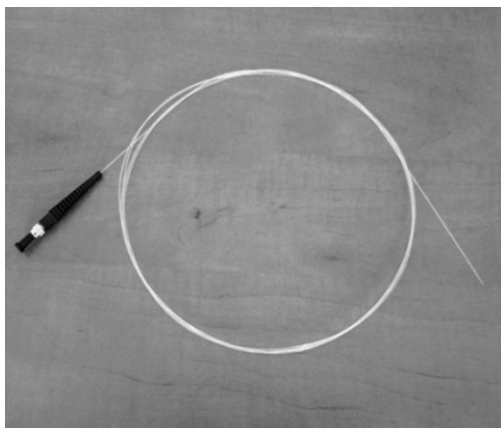


Рис. 1. Внешний вид ИК-световода

В экспериментах используется ИК-световод, изготовленный и предоставленный ИВЦ «Центром инфракрасных волоконных технологий» при Химико-технологическом институте УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина [3, 4]. Он представляет собой однослойное волокно (рис. 1), выполненное из твердых растворов галогенидов серебра, имеет показатель преломления равный 2,2, прозрачен в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне от 2 до 40 мкм. Такой широкий диапазон работы позволяет использовать эти световоды

в качестве волоконных сенсоров. Полные оптические потери данных волокон составляют 0,1 дБ/м, прочность на разрыв – 200–250 МПа, радиус упругого изгиба – 5–6 мм.

Для проведения исследований была сконструирована лабораторная установка, схема которой представлена на рис. 2. Она помещалась в матовый черный (снаружи) ящик, а открытая часть зачернялась для достижения степени черноты, близкой к единице. Также при испытаниях в помещении отключалось освещение для снижения уровня светового шума (однако специальная тепло- и светозащита отсутствовала). В качестве испытуемого образца было выбрано трансформаторное масло ГК ($t_{bc} = 135\text{ }^\circ\text{C}$, $c_p = 2\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$), помещаемое в алюминиевую емкость объемом 170 мл и толщиной стенок 0,11 мм. Нагрев проводился с помощью релейного регулятора температуры, исполнительным механизмом которого является электронагреватель, т. е., если требуется поддерживать температуру трансформаторного масла $t = 70\text{ }^\circ\text{C}$, то задаются следующие значения «установок»: на включение $t = 69\text{ }^\circ\text{C}$, на отключение – $t = 70\text{ }^\circ\text{C}$. Для организации обратной связи релейного регулятора использовался лабораторный термоэлектрический преобразователь (ТЭП) с пределом относительной погрешности 0,5 %. ИК-световод (длиной 20 см) одним торцом был погружен в исследуемую среду, а другой стороной – располагался на расстоянии 1 м от тепловизора NEC-TN9100 (диапазон измерений – от -20 до $250\text{ }^\circ\text{C}$; спектральный диапазон – 8–14 мкм; частота – 60 кадров в секунду; матрица детектора – 0,41 мегапикселей). Алюминиевая емкость, нагреватель, ТЭП и ИК-световод закреплялись при помощи монтажной ленты на деревянных опорах (как показано на рис. 3).

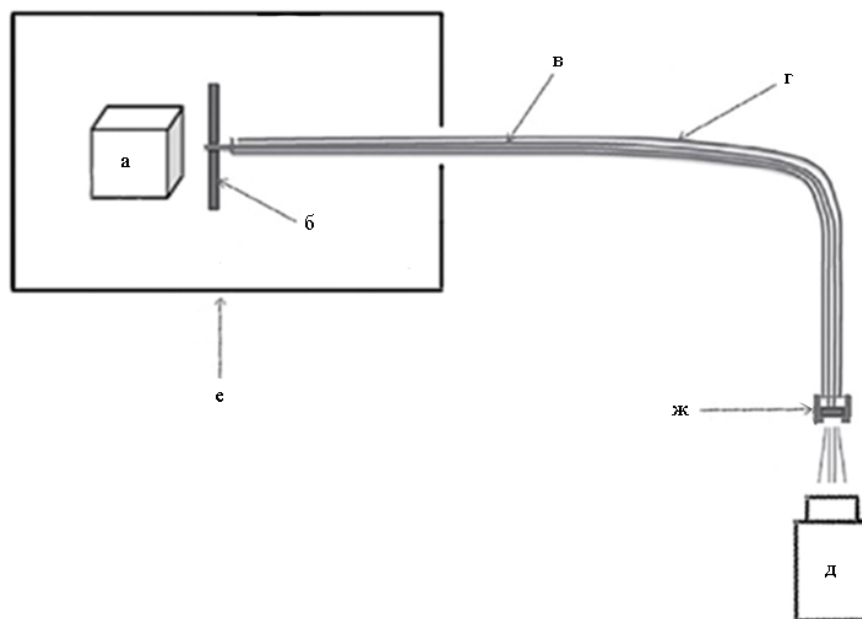


Рис. 2. Схема применения световода: а – объект термоконтроля, б – держатель волокна, в – ИК-волокно, г – пластиковая оболочка, д – тепловизор, е – границы черного ящика, ж – ИК-окно

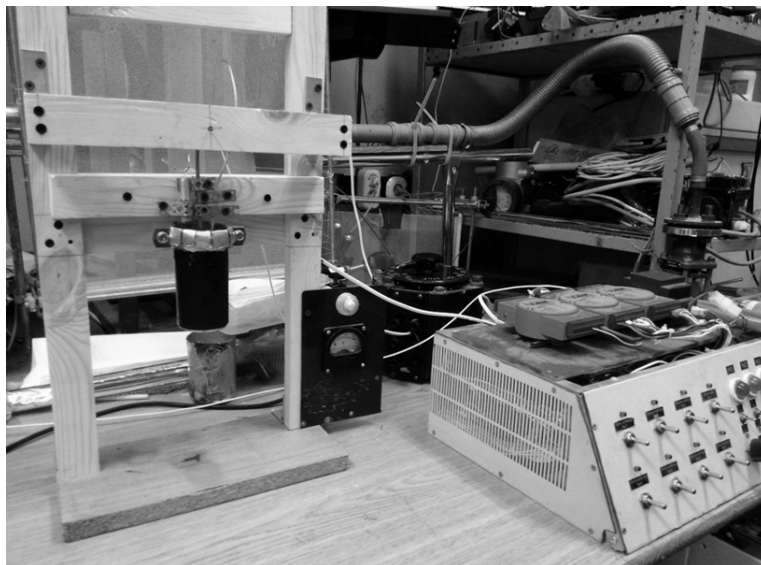


Рис. 3. Исследовательская установка

На ПК отображалась температура с термопары, подключенной к измерительному контроллеру ADAM-4018, и температура, измеренная при помощи тепловизора, вывод процесса которого происходил на втором ПК с предустановленным ПО NEC Image Processor.

2. Проведение испытаний

В настоящем эксперименте производился медленный ступенчатый нагрев рабочего тела от 30 до 130 °C с шагом 10 °C и выдержкой на каждом шаге 1,5 с. Ход процесса нагрева контролировался и фиксировался на ПК в режиме реального времени.

Результаты эксперимента представлены на рис. 4 и 5, а также в таблице.

3. Результаты испытаний

При обработке экспериментальных данных были выявлены следующие факторы, влияющие на точность передачи ИК-световодом информации о температуре объекта:

- величина изгиба, глубина погружения в рабочую среду и степень черноты световода;
- расположение тепловизионной установки и фокусное расстояние линзы её камеры;
- деформации световода (фактор был выявлен

Результаты измерений температуры экспериментального объекта, полученные с помощью контрольной термопары (ТЭП) и тепловизора

	Показания ТЭП, °C	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Показания тепловизора	при нагревании	39,6	49,1	54,9	59,6	64,9	70,3	76,2	82,2	88,6	96,4
	при остывании	33,3	39,1	45,5	52,1	58,7	64,8	72,0	78,3	85,0	96,4

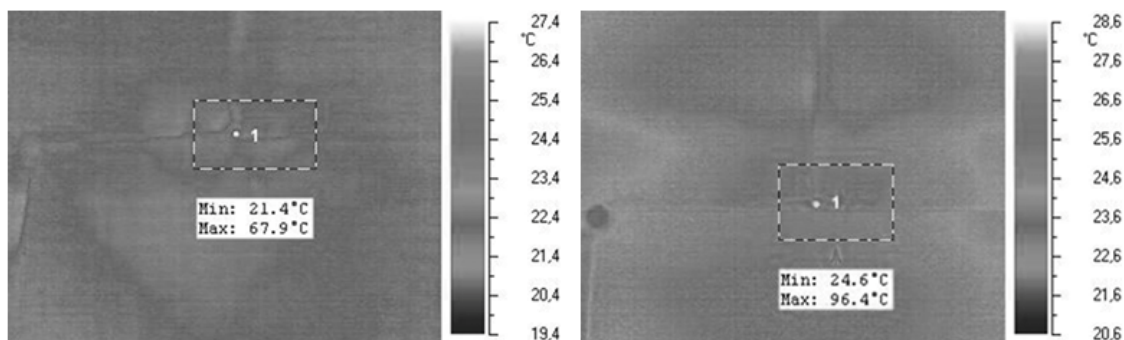


Рис. 4. Термограммы опыта

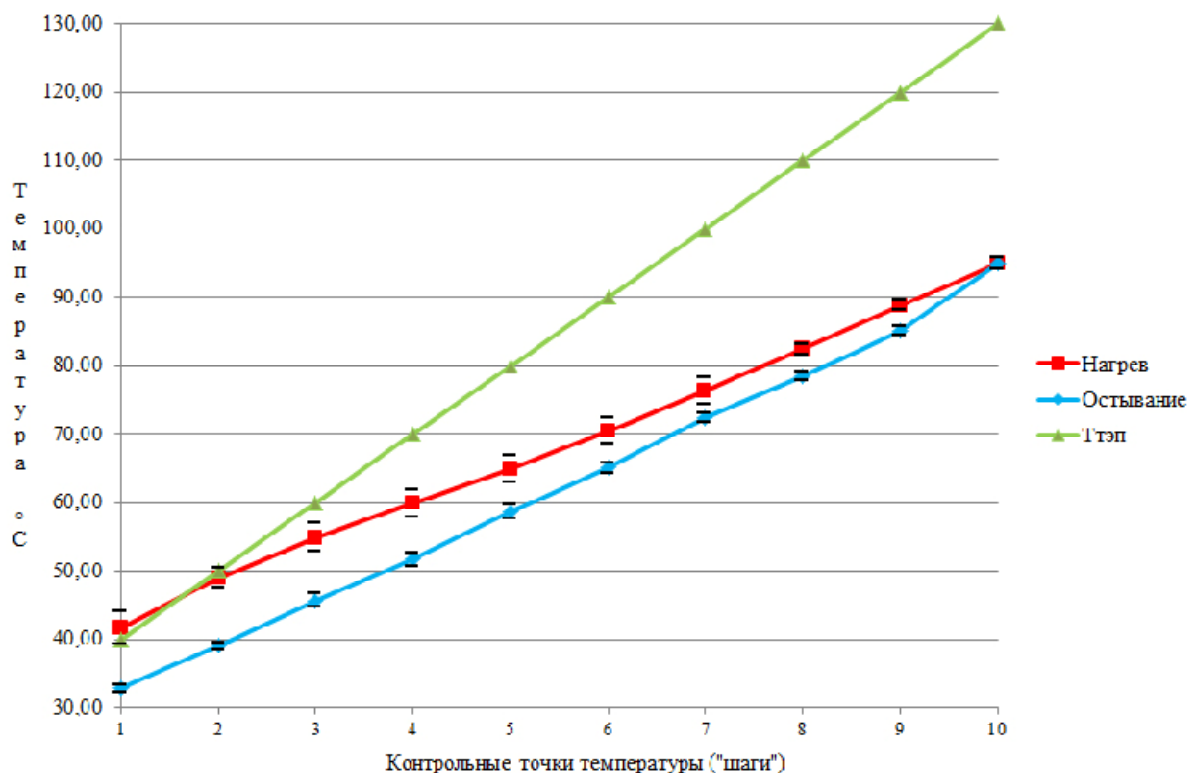


Рис. 5. Сравнение результатов измерений температуры экспериментального объекта, полученных с помощью контрольной термопары (ТЭП) и тепловизора

при сравнении показаний температуры от поврежденного и неповрежденного световодов).

Следует отметить, что лучшая сходимость результатов измерений температуры с помощью ИК-световода и тепловизора к результатам, полученным с помощью контрольного ТЭП, наблюдается при низких температурах. Это может быть объяснено тем, что оптические свойства материала данного световода обладают максимумом спектрального пропускания в области длин волн 10,6 мкм, которая, согласно закону смещения Вина, соответствует температуре порядка 36–39°C.

Выводы

Опыты показали принципиальную возможность применения ИК-световодов для дистанционной передачи сигналов теплового поля в системах автоматического управления энергооборудованием. Преимущество использования ИК-световода перед термометрами сопротивления и ТЭП заключается в способности ИК-световодов принимать фиксированный сигнал с движущихся тел, и тел, удаленных от возможного размещения контактных термометров.

При их правильной эксплуатации с учетом физических влияющих, а также при условии дальнейшего развития тепловизионного контроля инфракрасная волоконная термография может стать одним из основных методов преобразования и измерения температуры в энергоинфраструктуре.

Таковыми примерами могут послужить отслеживание температуры среды в цилиндрах турбин, формирование температурной диаграммы и отслеживание формы факела котла или контроль температур тепловых агрегатов.

Приведенные эксперименты являются началом исследований возможностей инфракрасной волоконной термографии в сфере дистанционной передачи «импульсов температуры», а данный материал можно использовать как стартовый для постановки новых экспериментальных целей и задач.

Литература

1. Бенуэлл, К.Н. Основы молекулярной спектроскопии / К.Н. Бенуэлл, пер. с англ. Б.Е. Гордон. – М.: Мир, 1985. – 384 с.
2. Жукова, Л.В. Новые инфракрасные материалы: кристаллы и световоды / Л.В. Жукова, А.С. Корсаков, Д.С. Врублевский. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 280 с.
3. Пат. 2174247 Российская Федерация, МПК G02B006/16 (2006.01). Световод для инфракрасной области спектра / Л.В. Жукова, А.В. Зелянский, В.В. Жуков, Г.А. Китаев; заявл. 28.02.2000; опубл. 27.09.2001, Бюл. № 25.
4. Пат. 2288489 Российская Федерация, МПК G02B1/02 (2006.01). Оптический монокристалл / Л.В. Жукова, В.В. Жуков, В.П. Пилюгин; заявл. 13.05.2005; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33.

Акифьева Наталья Николаевна, старший преподаватель кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; nna_1@mail.ru.

Жукова Лия Васильевна, профессор, д-р техн. наук, зав. кафедрой «Физической и коллоидной химии», Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; l.v.zhukova@ustu.ru.

Глухов Алексей Евгеньевич, магистрант кафедры «Автоматика», Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; gluxoff.aleksey@yandex.ru.

Краснов Дмитрий Алексеевич, магистрант кафедры «Организация машиностроительного производства», Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; houston8@mail.ru.

Овчарников Александр Олегович, магистрант кафедры «Тепловых электрических станций», Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; strogg300@yandex.ru.

Шмыгалев Александр Сергеевич, младший научный сотрудник, ИВЦ «Центр инфракрасных волоконных технологий», Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; a.s.shmygalev@urfu.ru.

Поступила в редакцию 13 февраля 2017 г.

DOI: 10.14529/power170212

POSSIBILITY OF APPLYING OF INFRARED LIGHT GUIDE FOR TEMPERATURE MEASUREMENT IN DIFFICULT AREAS OF POWER

*N.N. Akifeva, nna_1@mail.ru,
L.V. Zhukova, l.v.zhukova@ustu.ru,
A.E. Glukhov, gluxoff.aleksey@yandex.ru,
D.A. Krasnov, houston8@mail.ru,
A.O. Ovcharnikov, strogg300@yandex.ru,
A.S. Shmygalev, a.s.shmygalev@urfu.ru*

*Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg,
Russian Federation*

This paper presents the results of temperature measurements using infrared crystalline fibers. An experimental setup is presented, a control scheme with real-time display and monitoring of processes is developed. The obtained results, conclusions and recommendations for the measurements accuracy increase are presented and analyzed. The studies carried out for the first time showed the principal possibility for creating of new temperature sensor types for their use in protection systems, regulating regimes, and for diagnostics of the energy equipment state due to which it is possible to control various equipment elements and, in future, to transit from a preventive repair system to the repair system as of the equipment state. The authors suggest that a more profound study of the infrared fiber thermo-sensor properties can result in a new type of thermal control and its industry-wide application.

Keywords: infrared optical fiber, fiber optics, temperature, pulse temperature sensor, thermography, thermal control.

References

1. Banwell C.N. *Osnovy molekulyarnoy spektroskopii* [Fundamentals of Molecular Spectroscopy], Russ. ed.: B.E. Gordon. Moscow, Mir Publ., 1985. 384 p.
2. Zhukova L.V., Korsakov A.S., Vrublevskiy D.S. *Novye infrakrasnye materialy: kristally i svetovody* [New Infrared Materials: Crystals and Fibers]. Ekaterinburg, Ural Federal University Publ., 2014. 280 p.

Краткие сообщения

3. Zhukova L.V., Zelyanskiy A.V., Zhukov V.V., Kitaev G.A. *Svetovod dlya infrakrasnoy oblasti spektra* [Light Guide for Infrared Spectrum]. Patent RF, no. 2174247, 2001.

4. Zhukova L.V., Zhukov V.V., Pilyugin V.P. *Opticheskiy monokristall* [Optical Single Crystal]. Patent RF, no. 2288489, 2006.

Received 13 February 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Возможность применения инфракрасных световодов для измерения температуры в труднодоступных зонах энергооборудования / Н.Н. Акифьева, Л.В. Жукова, А.Е. Глухов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 89–94. DOI: 10.14529/power170212

FOR CITATION

Akifeva N.N., Zhukova L.V., Glukhov A.E., Krasnov D.A., Ovcharnikov A.O., Shmygalev A.S. Possibility of Applying of Infrared Light Guide for Temperature Measurement in Difficult Areas of Power. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 89–94. (in Russ.) DOI: 10.14529/power170212
