

УДК 62-791.2

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ ПОДШИПНИКОВ ВНУТРИ ГЕРМООБЪЕМА АЭС

Студент Харайм М.П.

Студент Костарев В.С.

Ст. преп. Акифьева Н.Н.

Аспирант Южакова А.А.

Д-р техн. наук, проф. Жукова Л.В.

Д-р техн. наук, проф. Корсаков А.С.

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность использования гибких инфракрасных (ИК) световодов, изготовленных на основе радиационно стойких кристаллов систем $AgBr - TI$ и $AgBr - TlBr_{0,46}I_{0,54}$ для бесконтактного измерения температуры подшипников механизмов собственных нужд и передачи сигнала температуры из гермообъема АЭС. Радиационная устойчивость позволяет использовать данные кристаллы и световоды в условиях сильного ионизирующего излучения до 500 кГр, что открывает широкие возможности внедрения таких оптических материалов в атомную энергетику. Класс представленных материалов выделяется широким диапазоном пропускания в диапазоне от 0,4 до 60,0 мкм для кристаллов и от 2,0 до 25,0 мкм для световодов без окон поглощения, малыми оптическими потерями (до 0,1 дБ/м), высокой гибкостью. Световоды, предлагаемые в работе, изготовлены методом экстракции из монокристаллов галогенидов серебра и таллия и прозрачны в среднем инфракрасном диапазоне от 2,0 до 25,0 мкм, что по законам Планка и Вина соответствует температурам от +1100°C до -200°C, соответственно.

Ключевые слова: инфракрасные световоды, галогениды серебра, галогениды таллия, бесконтактное измерение температуры, передача сигнала температуры из гермообъема АЭС.

Введение

На сегодняшний день в тепловой и атомной энергетике для контроля температуры подшипников механизмов собственных нужд (МСН) используются термометры сопротивления, действие которых



основано на зависимости электрического сопротивления металлов от температуры. Для изготовления чувствительных элементов стандартных термометров сопротивления применяется платина и медь. Из них только платина обладает приемлемой стойкостью к окислению, что определяет достаточный ресурс использования, в связи с чем платиновые термометры сопротивления нашли широкое применение в тепловой энергетике, в том числе и для измерения температуры подшипников МСН.

Однако, в атомной энергетике применение платины в качестве материала чувствительных элементов термометров сопротивления, устанавливаемых в гермообъеме АЭС, имеет ряд сложностей, связанных с ее активацией в гамма- и нейтронных полях, которая приводит к изменению температурных характеристик этого материала.

Для измерений температуры оборудования, установленного в гермообъеме, в перспективе может быть полезным применение метода дистанционной передачи сигнала температуры в виде инфракрасного излучения от контролируемого элемента при помощи инфракрасных световодов.

В настоящей работе была проведена оценка возможности использования гибких инфракрасных световодов, изготовленных из радиационно стойких кристаллических систем $\text{AgBr} - \text{TiI}$ и $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$, для передачи сигнала температуры от подшипников механизмов собственных нужд из гермообъема АЭС.

Описание световодов

Применение ИК-световодов в волоконных датчиках температуры позволяет получить ряд преимуществ перед существующими методами и устройствами контроля, а именно:

- в сравнении с термоэлектрическим методом позволяет бесконтактно измерять температуру в условиях электромагнитных помех;
- в сравнении с терморезистивным методом является безынерционным, а также снимает проблему влияния температурной зависимости сопротивления линий связи на точность измерения температуры;
- в сравнении с кварцевыми волоконными датчиками осуществляет прямое измерение в диапазоне температур от -20 до $+300^\circ\text{C}$ за счет непосредственной передачи инфракрасного излучения от его источников к приемнику;
- позволяет избежать работы активируемых чувствительных элементов в условиях гамма- и нейтронных полей гермообъема АЭС.



В данной работе с целью применения в гермообъеме АЭС рассматриваются гибкие инфракрасные световоды, изготовленные научной лабораторией «Волоконные технологии и фотоника» при Химико-технологическом институте УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Для среднего и дальнего инфракрасного диапазона существует ограниченное количество прозрачных, обладающих малыми оптическими потерями материалов. В частности, это стекла на основе халькогенидов, теллуридов, фторидов, а также кристаллы галогенидов серебра и одновалентного таллия.

Среди галогенидных материалов выделяются кристаллические системы $\text{AgBr} - \text{TI}$ и $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$, поскольку кристаллы и волокна, изготовленные на их основе, являются фото- и радиационно стойкими, обладают прочностью и гибкостью на разрыв до 250 МПа, критический радиус изгиба волокон зависит от диаметра световода и достигает 1 мм [1].

Фотостойкость обеспечивает использование данных материалов без специальной оболочки. Радиационная устойчивость позволяет использовать кристаллы и световоды в условиях сильного ионизирующего излучения до 500 кГр, что открывает широкие возможности внедрения таких оптических материалов в атомную энергетику, радиационную физику, космические технологии [2].

Исследования радиационной стойкости проводились при β -облучении волокон дозами до 500 кГр. В результате исследования существенное падение пропускания не наблюдалось, при высоком содержании таллия и йода в кристаллах было обнаружено увеличение их пропускания до 5%.

Световоды, предлагаемые в работе, прозрачны в среднем инфракрасном диапазоне от 2 до 25 мкм, что по законам Планка и Вина соответствует температурам от -200 до +1100°C, соответственно (рис. 1). Данный температурный диапазон и перечисленные выше свойства позволяют использовать инфракрасные световоды в качестве волоконных каналов доставки оптического сигнала из труднодоступных мест за счет широкого спектрального диапазона передачи, гибкости и механической прочности, в частности, и для передачи сигнала температуры подшипников МСН из гермообъема АЭС.

Применение ИК-световодов в атомной энергетике

Свойства ИК волоконных световодов открывают перспективы применения ИК-световодов систем $\text{AgBr} - \text{TI}$ и $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ в устройствах АЭС.



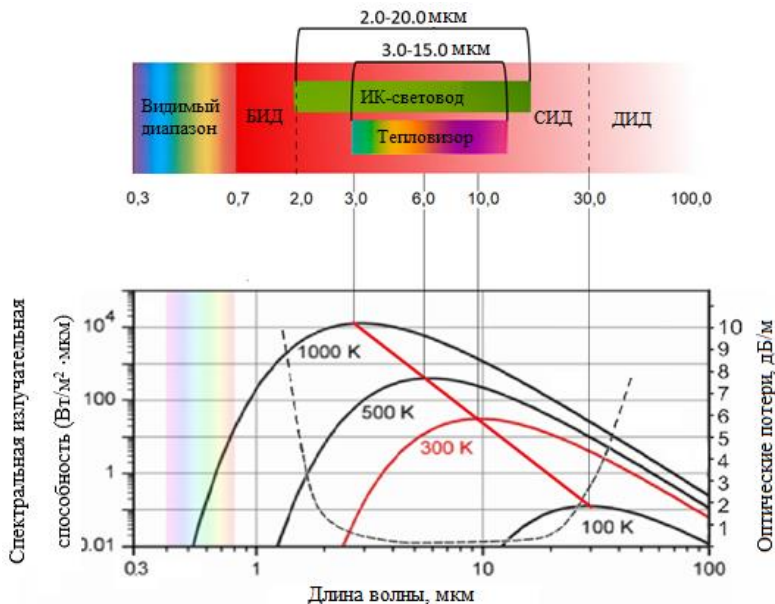


Рис. 1. Законы Планка и Вина для оптического диапазона.

Указаны рабочие области ИК-световодов и тепловизоров: БИД – ближний инфракрасный диапазон; СИД – средний инфракрасный диапазон; ДИД – дальний инфракрасный диапазон

В связи с этим была рассмотрена возможность внедрения световодов в системы наружных измерений температуры оборудования, установленного в гермообъеме АЭС с реактором ВВЭР, а именно, для контроля температур подшипников механизмов собственных нужд (рис. 2). Оптическая схема измерения температуры показана на рис. 3.

Прокладка световода во внутреннюю часть гермооболочки осуществляется через гермоввод (точка 1). Далее, учитывая пропорции гермооболочки и высотность отметок, определяется оптимальный путь прокладки световода до измеряемой поверхности подшипников МСН (точка 4). Так как трассировка кабелей импульсных линий и прочих устройств контрольно-измерительных приборов и автоматики из гермообъема в обслуживаемую зону зависит от компоновки оборудования, то она является неизменяемым фактором и предполагает многократные изгибы. Компоновка оборудования определяется компактностью расположения оборудования.

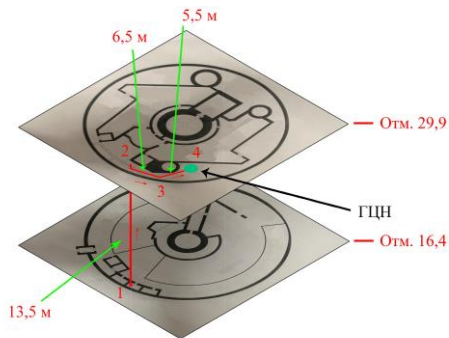


Рис. 2. Путь прокладки ИК-световода к подшипникам МСН

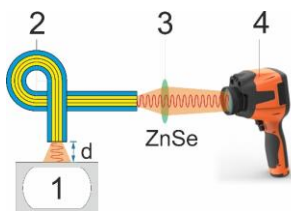


Рис. 3. Общая схема измерения температуры объекта термографическим методом:

- 1 – источник ИК-излучения (подшипник); 2 – ИК-световод; 3 – ZnSe-линза;
4 – тепловизор

Путем приблизительных расчетов, опираясь на доступные данные, определяется длина световода. Так путь прокладки световода, изображенный на рис. 3, предполагает требуемую длину участка световода, проходящего в гермообъеме – около 24 м.

При допускаемой длине световода до 50 м остается запас на доводку световода до вторичного прибора – приёмника сигнала температуры, в качестве которого может быть использована, например, тепловизионная камера. Количество изгибов световода при прокладке, подобной изображенной на рис. 3 может достигать 3 – 4, при этом лишь один изгиб на угол 90 градусов, остальные – на углы меньше 90 градусов. Радиусы изгиба принимались во много раз больше критического. При таком количестве изгибов оптические потери составляют около 27%, что является допустимым значением, обеспечивающим высокую точность измерений.

Заключение

Радиационная стойкость гибких инфракрасных световодов, изготовленных из кристаллических систем $\text{AgBr} - \text{Tl}$ и $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$, их допустимая длина, незначительность оптических потерь при малом количестве и большом радиусе изгибов, позволяет положительно оценить возможность их использования для передачи сигнала температуры поверхностей оборудования АЭС, в частности движущихся частей оборудования, установленного в гермообъеме АЭС.

К преимуществам применения инфракрасных световодов для измерения температур поверхностей оборудования, установленного в гермообъеме, относятся: безинерционность, наглядность, радиационная стойкость. Особо следует отметить, что использование этого метода позволяет избежать работы активируемых чувствительных элементов в условиях гамма- и нейтронных полей гермообъема АЭС.

В настоящее время многие вопросы применения метода измерения температуры и передачи сигнала температуры с помощью инфракрасных световодов, изготовленных из кристаллических систем $\text{AgBr} - \text{Tl}$ и $\text{AgBr} - \text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$, требуют углубленных исследований, в частности вопрос более простого, чем тепловизионная камера, вторичного устройства для приема сигнала температуры и передачи его в ПТК (программно-технический комплекс). В настоящее время эти вопросы исследуются в научной лаборатории «Волоконные технологии и фотоника» при Химико-технологическом институте УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Библиографический список

1. Application of Infrared Polycrystalline Fibers in Thermal Imaging Temperature Control Systems / A.A. Yuzhakova, L.V. Zhukova, N.N. Akif'eva et al. // Sensors and Actuators A: Physical. 2020. Vol 314. P. 112237. DOI: [10.1016/j.sna.2020.112237](https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112237). [eLIBRARY ID: 45393463]
2. Crystals of $\text{AgBr}-\text{TlBr}_{0,46}\text{I}_{0,54}$ system: Synthesis, Structure, Properties, and Application / D.D. Salimgareev, A.E. Lvov, E.A. Korsakova. et al. // Materials Today Communications. 2019. Vol 20(12). P. 100551. DOI: [10.1016/j.mtcomm.2019.100551](https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100551). [eLIBRARY ID: 41637955]
3. Stability of MIR Transmittance of Silver and Thallium Halide Optical Fibers in Ionizing β - and γ -Radiation from Nuclear Reactors / E.A. Korsakova, A.E. Lvov, D.D. Salimgareev et al. // Infrared Physics and Technology. 2018. Vol. 93. P. 171-177. DOI: [10.1016/j.infrared.2018.07.031](https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.07.031). [eLIBRARY ID: 35788473]



4. **Гордов А. Н., Жагулло О. М., Иванова А. Г.** Основы температурных измерений. М.: Энергоатомиздат, 1992. 303 с.

5. Feasibility Study of Transformer Winding Temperature and Strain Detection Based on Distributed Optical Fibre Sensors / Y. Liu, Y. Tian, X. Fan et al. // *Sensors*. 2018. Vol 18(11). P. 3932. DOI: [10.3390/s18113932](https://doi.org/10.3390/s18113932).

6. **Lavi Y., Millo A., Katzir A.** Flexible Ordered Bundles of Infrared Transmitting Silver-Halide Fibers: Design, Fabrication, and Optical Measurements // *Applied Optics*. 2006. Vol 45(23). P. 5808-5814. DOI: [10.1364/AO.45.005808](https://doi.org/10.1364/AO.45.005808).

7. Thick-Film Resistive Temperature Sensors / A. Dziedzic, L. Golonka, J. Kozłowski et al. // *Measurement Science and Technology*. 1999. Vol 8(1). P. 78-85. DOI: [10.1088/0957-0233/8/1/011](https://doi.org/10.1088/0957-0233/8/1/011).

8. **Barker, M. Jones R.**, Inversion of Spectral Emission Measurements to Reconstruct the Temperature Profile Along a Blackbody Optical Fiber Thermometer // *Inverse Problems in Engineering*. 2003. Vol. 11(6). P. 495-513. DOI: [10.1080/1068276031000098009](https://doi.org/10.1080/1068276031000098009).

9. Thermal Imager Range: Predictions, Expectations, and Reality / D. Perić, B. Livada, S. Perić, S. Vujić // *Sensors*. 2019. Vol. 19(15). P. 3313. DOI: [10.3390/s19153313](https://doi.org/10.3390/s19153313).

10. **Planck M.** The Theory of Heat Radiation. Philadelphia: Blakiston's Son & Co., 1914. 252 p.



USE OF INFRARED CRYSTAL FIBER IN BEARINGS TEMPERATURE SENSING SYSTEM INSIDE AN NPP CONTAINMENT

M.P. Kharaim, V.S. Kostarev, N.N. Akif'eva, A.A. Yuzhakova, L.V. Zhukova and A.S. Korsakov

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg

Abstract. The flexible fiber made of crystal systems AgBr – TlI and AgBr – TlBr_{0,46}I_{0,54} has radioresistance properties, can be produced with permissible length, characterized by low optical losses with a small number and large radius of curves. This allows to use it for transmission of temperature signal from the surface of NPP equipment, including moving parts installed in the containment of NPP. Implementation of this method allows to avoid the operation of activated sensing elements in conditions of gamma and neutron fields of NPP containment. The optical fiber, suggested in the paper, is produced by the method of extrusion from single-crystal of silver and thallium halides and transparent in the mid-infrared band from 2,0 to 25,0 μm which is equivalent to the temperature range of -200...+1100°C.

Keywords: infrared optical fiber, silver halide, thallium halide, non-contact temperature measurement, containment of NPP.

