

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИГНАЛИЗАТОРА КИПЕНИЯ ЖИДКОСТИ**С. В. Жданович¹, А. О. Зеневич¹, Т. Г. Коваленко^{1*},
Т. М. Мансуров², Е. В. Новиков¹**¹ *Белорусская государственная академия связи, Минск, Беларусь** *t.kovalenko@bsac.by*² *Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан*

Аннотация. Исследуется возможность использования одномодового оптического волокна, применяемого в телекоммуникациях, для создания сигнализатора кипения жидкости. Установлено, что при достижении температуры (точки) кипения жидкости происходит изменение коэффициента отражения оптического излучения от границы раздела сред — сердцевины волокна и жидкости. В результате увеличивается мощность оптического сигнала, обратно отраженного в волокно от границы раздела таких сред. Увеличение мощности отраженного сигнала до определенного значения свидетельствует о достижении точки кипения жидкости. Показано, что для определения момента точки достижения кипения можно использовать информационный параметр — разность между значением ослабления по шкале рефлектометра в точке максимума для пика рефлектограммы одномодового телекоммуникационного оптического волокна и значением ослабления по шкале рефлектометра перед пиком этой рефлектограммы.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик, сигнализатор, одномодовое оптическое волокно, оптическое излучение, точка кипения, кипение жидкости

Ссылка для цитирования: Жданович С. В., Зеневич А. О., Коваленко Т. Г., Мансуров Т. М., Новиков Е. В. Оптическое волокно как основа для создания сигнализатора кипения жидкости // Изв. вузов. Приборостроение. 2024. Т. 67, № 7. С. 593–598. DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-7-593-598.

OPTICAL FIBER AS A BASIS FOR CREATING A LIQUID BOILING ALARM**S. V. Zhdanovich¹, A. O. Zenevich¹, T. G. Kovalenko^{1*}, T. M. Mansurov², E. V. Novikov¹**¹ *Belarusian State Academy of Communications, Minsk, Belarus** *t.kovalenko@bsac.by*² *Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan*

Abstract. The possibility of using single-mode optical fiber applied in telecommunications to create a liquid boiling alarm is investigated. It is established that when the temperature of liquid boiling is reached, the coefficient of optical radiation reflection by the interface of two media — the fiber core and the liquid — changes. As a result, the power of optical signal reflected back into the fiber from the interface of such media increases. An increase in the power of the reflected signal to a certain value indicates that the boiling point of the liquid has been reached. It is shown that the difference between the attenuation value on the reflectometer scale at the maximum point for the peak of the reflectogram of a single-mode telecommunication optical fiber and the attenuation value on the reflectometer scale before the peak of this reflectogram can be used as an information parameter for determining the moment of reaching the boiling point.

Keywords: optical fiber sensor, warning device, single-mode optical fiber, optical radiation, boiling point, liquid boiling

For citation: Zhdanovich S. V., Zenevich A. O., Kovalenko T. G., Mansurov T. M., Novikov E. V. Optical fiber as a basis for creating a liquid boiling alarm. *Journal of Instrument Engineering*. 2024. Vol. 67, N 7. P. 593–598 (in Russian). DOI: 10.17586/0021-3454-2024-67-7-593-598.

Введение. Для контроля за температурой кипения (точкой кипения) жидкости в различных технологических процессах в настоящее время используются сигнализаторы кипения жидкости. Большинство таких сигнализаторов являются электрическими устройствами [1–5], которые не

могут быть использованы в пожароопасных помещениях и, кроме того, усложняют осуществление телеметрических измерений.

Для проведения телеметрических измерений целесообразно использовать волоконно-оптические датчики, достаточно легко сопрягаемые с оптическим волокном [6, 7]. Данные о состоянии таких датчиков можно определять на достаточно протяженных расстояниях (до 25 км) [8, 9].

Как указано в [5], для определения момента начала кипения жидкости используется волоконно-оптический датчик на основе макроизгиба оптического волокна. Однако из-за достаточно больших потерь мощности оптического излучения в макроизгибе такой датчик не может быть использован для телеметрических измерений. Ранее авторами настоящей статьи был предложен волоконно-оптический датчик идентификации жидкостей и определения концентрации растворенных в воде веществ [10]. Принцип работы этого датчика основан на измерении сигнала, отраженного от границы раздела сред — сердцевины оптического волокна и окружающей среды. Показано, что коэффициент отражения излучения от такой границы зависит от показателя преломления вещества, составляющего окружающую среду [11].

Если изначально оптическое волокно находится в жидкости, то при кипении жидкости осуществляется ее переход из жидкого состояния в газообразное. Окружающая среда, в которой находится волокно, изменяется. Одновременно изменяется и показатель преломления оптического излучения в среде. Изменение показателя преломления приводит к изменению коэффициента отражения оптического сигнала от границы раздела сред, а следовательно, и к изменению уровня такого сигнала. Контролируя уровень отраженного сигнала, можно определить момент достижения точки кипения жидкости.

Однако в настоящее время нет сведений о возможности использования применяемых в телекоммуникациях оптических волокон для реализации такого способа. В этой связи цель настоящей статьи — определение возможности использования одномодового оптического волокна, применяемого в телекоммуникациях, для создания сигнализатора кипения жидкости.

Экспериментальная установка и методика исследования. При проведении исследований использовалось телекоммуникационное одномодовое оптическое волокно типа G657. Выбор типа волокна обусловлен тем, что оно достаточно часто применяется в оптическом кабеле. Также использование данного типа оптического волокна позволяет упростить процесс сопряжения сигнализатора кипения жидкости с кабелем, применяемым в системах мониторинга для передачи данных [12]. Помимо этого, такое волокно достаточно устойчиво к изгибам, и к его монтажу не предъявляются строгие требования [13, 14].

Структурная схема установки, предназначенной для проведения экспериментальных исследований возможности использования оптического волокна G657 для создания сигнализатора кипения жидкости, показана на рис. 1, где Р — оптический рефлектометр, К — катушка с оптическим волокном ОВ₁, С — резервуар с жидкостью, Т — термометр, Н — нагреватель, П — приемник оптического излучения, И — источник оптического излучения, ОР — оптический разветвитель, ОВ₂ — оптоволокно.

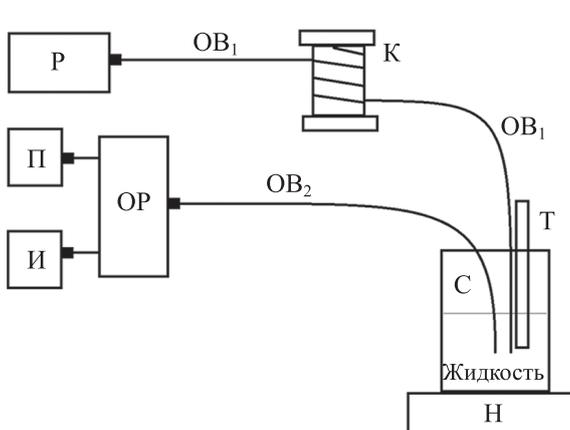


Рис. 1

Экспериментальная установка содержит оптический рефлектометр Р, к которому подключена катушка К с оптическим волокном ОВ₁. В качестве рефлектометра применялся калиброванный и поверенный оптический измерительный прибор МТР 6000. Волокно ОВ₁ помещено в резервуар с жидкостью С. Протяженность волокна, намотанного на катушку, составляет 500 м. Выбор такой протяженности объясняется тем, что она превышает мертвую зону рефлектометра. Рефлектометр работает на длине волны 1310 нм, соответствующей окну прозрачности оптического волокна G657.

С помощью рефлектометра были получены рефлектограммы волокна $ОВ_1$. Каждая рефлектограмма содержит пик, соответствующий местоположению границы раздела сред [8].

Для идентификации окружающей среды по коэффициенту отражения использовался информационный параметр Δa , аналогичный введенному в работах [10, 15] и представляющий собой разность между значением ослабления по шкале рефлектометра в точке максимума для пика рефлектограммы одномодового телекоммуникационного оптического волокна и значением ослабления по шкале рефлектометра перед пиком этой рефлектограммы.

Информационный параметр Δa определялся для длительности зондирующего импульса 25 нс. Это связано с тем, что согласно [10] при длительности зондирующих импульсов рефлектометра меньше 25 нс наблюдается существенная нестабильность величины Δa . Согласно этой работе для исключения такой нестабильности при определении информационного параметра необходимо использовать диапазон длительности зондирующего импульса от 25 до 300 нс.

В резервуар С с жидкостью (см. рис. 1) также помещено оптическое волокно $ОВ_2$. Другой конец этого волокна подключен к оптическому разветвителю ОР. К выходам разветвителя подключены источник оптического излучения И и приемник оптического излучения П, в качестве которых используются источник оптического излучения и приемник, входящие в состав калиброванного оптического тестера ОТ-3-1.

Разветвитель ОР разделяет мощность оптического излучения, поступающего на его вход, на две равные части. Источник через разветвитель направляет оптическое излучение с постоянной мощностью (1 мВт) в оптоволокно $ОВ_2$. Такая мощность является достаточной для регистрации излучения, отраженного от торца оптического волокна, при этом длина волокна небольшая. Длина волны оптического излучения такая же, как и длина волны зондирующих импульсов рефлектометра — 1310 нм.

Часть оптического излучения, распространяющегося по $ОВ_2$, в точке соприкосновения торца этого волокна с внешней средой выходит за его пределы во внешнюю среду. Другая часть излучения отражается от границы раздела сред и распространяется обратно по оптоволокну $ОВ_2$ и через разветвитель поступает на приемник. Приемник измеряет мощность, отраженную от торца волокна $ОВ_2$. Для того чтобы можно было пренебречь потерей мощности оптического излучения, распространяющегося по волокну $ОВ_2$, его длина была выбрана равной 1 м.

По результатам проведенных измерений вычисляется значение коэффициента отражения сигнала от границы раздела сред по следующей формуле:

$$k = \frac{2P_o}{P_{\Pi}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где P_{Π} — мощность оптического излучения, падающего на границу раздела сред; P_o — мощность оптического излучения, регистрируемая приемником; величина P_o в приведенной формуле умножалась на два: это необходимо, чтобы учесть деление мощности оптического излучения в разветвителе ОР на две равные части (как отмечено выше, на приемник П поступает только одна часть этого излучения).

Жидкость, находящаяся в резервуаре С, подогревалась с помощью нагревателя Н. Изменение температуры жидкости варьировалось в интервале от 20 до 125 °С — такой интервал был выбран, поскольку ему соответствует температура кипения исследуемых жидкостей. Температура жидкости контролировалась термометром Т.

В ходе экспериментов исследования проводились при температуре воздуха 20–23 °С и влажности до 80 %. При таких условиях измерения сохранялась стабильность мощности источников оптического излучения и параметры приемника оптического излучения оставались неизменными.

Результаты эксперимента и их обсуждение. В качестве среды для проведения исследования использовались вода, этиловый спирт и изопропиловый спирт. Были выбраны жидкости, которые имеют достаточно большую разность между показателями преломления жидкого и

Вещество	Температура, °С	Коэффициент отражения, %
Вода	20	0,19
	60	0,19
	100	0,30
Этиловый спирт	20	0,02
	60	0,02
	82	0,06
Изопропиловый спирт	20	0,03
	60	0,03
	83	0,08

газообразного состояния: $\Delta n \geq 0,3$. Отметим, что при нагревании сердцевины оптического волокна показатель преломления изменяется незначительно, в отличие от исследуемых жидкостей. Поэтому таким изменением при проведении исследований можно было пренебречь.

При выполнении исследований получены значения коэффициентов отражения k при различной температуре жидкости, в которой находится торец оптического волокна $ОВ_2$. Результаты эксперимента представлены в таблице. Анализ таблицы показывает, что для всех исследуемых жидкостей при достижении температуры кипения (температура кипения воды 100 °С, этилового и изопропилового спиртов — 82 и 83 °С соответственно) наблюдается увеличение коэффициента отражения k до некоторого значения.

В ходе исследований получены также рефлектограммы оптического волокна $ОВ_1$ для различных температур. На рис. 2 показаны участки рефлектограмм, соответствующие местоположению границы раздела сред — сердцевины волокна и воды, полученные при температуре воды 20 °С (кривая 1) и температуре кипения воды (кривая 2). Для других исследуемых жидкостей такие участки рефлектограмм, полученные при температуре 20 °С и температуре их кипения, были аналогичными. Как видно из рис. 2, пик рефлектограммы, соответствующий температуре кипения, и пик рефлектограммы, полученной при температуре 20 °С, различаются, и, соответственно, различна величина информационного параметра Δa .

Зависимости информационного параметра Δa от температуры жидкости представлены на рис. 3, где 1 — вода, 2 — изопропиловый спирт, 3 — этиловый спирт. Как следует из этих зависимостей, до температуры кипения жидкости значение параметра Δa практически не изменяется. При достижении температуры кипения наблюдается рост информационного параметра.

Таким образом, контролируя информационный параметр при нагреве жидкости, можно определить температуру ее кипения.

Заключение. Установлено, что для всех исследуемых жидкостей при достижении температуры

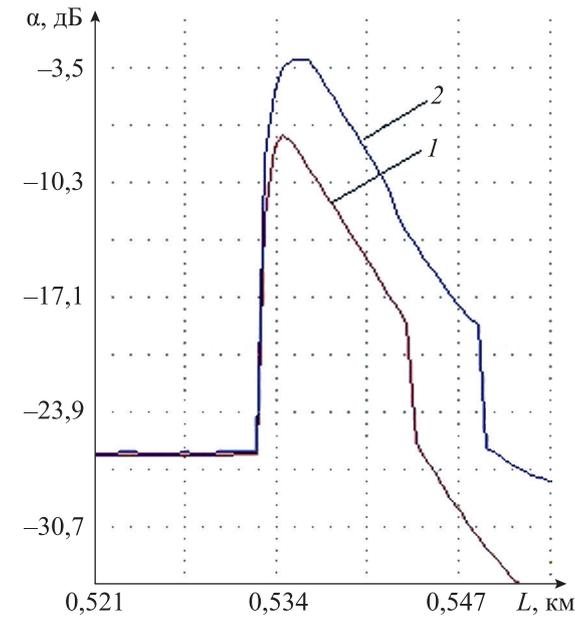


Рис. 2

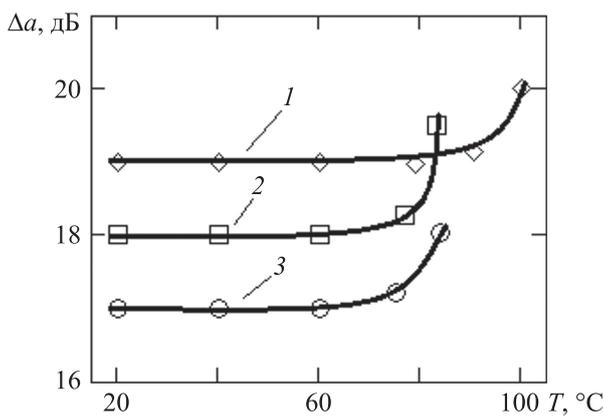


Рис. 3

наблюдается увеличение коэффициента отражения оптического излучения от границы раздела сред — сердцевины волокна и окружающей среды.

Информационный параметр Δa , представляющий собой разность между значением ослабления по шкале рефлектометра в точке максимума для пика рефлектограммы одномодового телекоммуникационного оптического волокна и значением ослабления по шкале рефлектометра перед пиком этой рефлектограммы, практически не изменяется до температуры кипения

жидкости. При достижении температуры кипения наблюдается увеличение этого параметра. Следовательно, параметр Δa можно использовать для определения достижения точки кипения жидкости.

Таким образом, показана возможность использования оптического волокна для создания сигнализатора кипения жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Датчики температуры: виды и характеристики [Электронный ресурс]: <https://smarthof.ru/info/datchiki-temperature/>, 01.02.2024.
2. Промышленные датчики температуры [Электронный ресурс]: <https://belorg.by/brendyi/endress-hauser/izmerenie-temperatureyi/promyishlennyye-datchiki-temperatureyi/>, 01.02.2024.
3. А. с. 951086 СССР, кл. G 01K 11/06. Индикатор температуры / В. А. Беломорцев, В. А. Керножицкий, А. И. Федоров. Заявл. 20.05.80. Оpubл. 15.08.82. Бюл. № 30.
4. А. с. 1583812 СССР, кл. G 01N 25/08. Способ определения теплофизических характеристик кипящей жидкости / С. П. Логвиненко, В. С. Мотузко. Заявл. 19.07.88. Оpubл. 07.08.90. Бюл. № 29.
5. Пат. 2023994 РФ, G 01 K 11/12. Сигнализатор кипения жидкости / Г. Т. Курин, А. И. Яценко. Заявл. 16.04.1990. Оpubл. 30.11.1994.
6. Гулаков И. Р., Зеневич А. О. Волоконно-оптические датчики физических величин: монография. Минск: Белорусская государственная академия связи, 2022.
7. Кабели-датчики для распределенного мониторинга [Электронный ресурс]: <https://incabspecialty.ru/techhub/kabeli-datchiki-dlya-gaspredelenogo-monitoringa/>, 02.02.2024.
8. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРпт, 2005. 208 с.
9. Русанов Ю. А. Мониторинг протяженных объектов транспортной инфраструктуры. Неэлектрические решения // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 1. С. 62–73.
10. Зеневич А. О., Коваленко Т. Г., Новиков Е. В., Жданович С. В. Волоконно-оптический датчик идентификации жидкостей и определения концентрации растворов // Докл. БГУИР. 2023. Т. 21, № 6. С. 14–20. DOI: 10.35596/1729-7648-2023-21-6-14-20.
11. Шредер Г., Трайбер Х. Техническая оптика: Пер. с нем. М.: Техносфера, 2006. 424 с.
12. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. М.: ЛЕСАРпт, 2003. 288 с.
13. Recommendation ITU-T G.657 (11/2016). Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable. Geneva, 2017.
14. Денисов И. В., Лисовский Н. В. Систематизация чувствительных к изгибу волоконных световодов // Прикладная фотоника. 2023. Т. 10, № 1. С. 131–148.
15. Зеневич А. О., Мансуров Т. М., Коваленко Т. Г., Новиков Е. В., Жданович С. В., Матковская Т. А. Оптическое волокно как основа для создания датчиков идентификации жидкостей и определения концентрации растворов // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 12. С. 895–901. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-12-895-901.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Сергей Вячеславович Жданович** — канд. техн. наук, доцент; Белорусская государственная академия связи, отраслевая лаборатория перспективных информационно-коммуникационных технологий; заведующий лабораторией; E-mail: zsvzsv@tut.by
- Андрей Олегович Зеневич** — д-р техн. наук, профессор; Белорусская государственная академия связи; ректор; E-mail: a.zenevich@bsac.by
- Татьяна Георгиевна Коваленко** — Белорусская государственная академия связи; отраслевая лаборатория перспективных информационно-коммуникационных технологий; научный сотрудник; E-mail: t.kovalenko@bsac.by
- Тофиг Магомедович Мансуров** — д-р техн. наук, профессор; Азербайджанский технический университет, кафедра радиотехники и коммуникации; E-mail: tofig-mansurov@rambler.ru
- Евгений Владимирович Новиков** — канд. техн. наук, доцент; Белорусская государственная академия связи, Институт современных технологий связи; директор; E-mail: e.novikov@bsac.by

Поступила в редакцию 28.02.2024; одобрена после рецензирования 01.04.2024; принята к публикации 16.05.2024.

REFERENCES

1. <https://smarthof.ru/info/datchiki-temperatury>. (in Russ.)
2. <https://belorg.by/brendyi/endress-hauser/izmerenie-temperatury/promyshlennyye-datchiki-temperatury/>. (in Russ.)
3. USSR Copyright Certificate No. 951086, k. G01K 11/06, 1980.
4. USSR Copyright Certificate No. 1583812, k. G01N 25/08, 1988.
5. Russian Federation Patent No. 2034994, 30.11.1994.
6. Gulakov I.R., Zenevich A.O. *Volokonno-opticheskiye datchiki fizicheskikh velichin* (Fiber-Optic Sensors of Physical Quantities), Minsk, 2022, 367 p. (in Russ.)
7. <https://incabspecialty.ru/techhub/kabeli-datchiki-dlya-raspredeleonnogo-monitoringa/>. (in Russ.)
8. Listvin A.V. *Reflektometriya opticheskikh volokon* (Reflectometry of Optical Fibers), Moscow, 2005, 208 p. (in Russ.)
9. Rusanov Yu.A. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'* (Monitoring. Science and safety), 2011, no. 1, pp. 62–73. (in Russ.)
10. Zenevich A.O., Kovalenko T.G., Novikov E.V., Zhdanovich S.V. *Doklady BGUIR*, 2023, no. 6(21), pp.14–20, <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-6-14-20>. (in Russ.)
11. Schroder G., Treiber H. *Technische Optik. Grundlagen und Anwendungen*, Vogel, 2002, 288 s.
12. Listvin A.V., Listvin V.N., Shvyrkov D.V. *Opticheskiye volokna dlya liniy svyazi* (Optical Fibers for Communication Lines), Moscow, 2003, 288 p. (in Russ.)
13. Recommendation ITU-T G.657 (11/2016) *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable*, Geneva, 2017, 24 p.
14. Denisov I.V., Lisovsky N.V. *Applied Photonics*, 2023, no. 1(10), pp. 131–148. (in Russ.)
15. Zenevich A.O., Mansurov T.M., Kovalenko T.G., Novikov E.V., Zhdanovich S.V., Matkovskaia T.A. *Journal of Instrument Engineering*, 2022, no. 12(65), pp. 895–901, DOI 10.17586/0021-3454-2022-65-12-895-901. (in Russ.)

DATA ON AUTHORS

- | | | |
|-----------------------------|---|--|
| Sergey V. Zhdanovich | — | PhD, Associate Professor; Belarusian State Academy of Communications, Industry Laboratory of Perspective Information and Communication Technologies; Head of the Laboratory; E-mail: zsvzsv@tut.by |
| Andrey O. Zenevich | — | Dr. Sci., Professor; Belarusian State Academy of Communications; Rector; E-mail: a.zenevich@bsac.by |
| Tatiana G. Kovalenko | — | Belarusian State Academy of Communications, Industry Laboratory of Perspective Information and Communication Technologies; Researcher; E-mail: t.kovalenko@bsac.by |
| Tofiq M. Mansurov | — | Dr. Sci., Professor; Azerbaijan Technical University, Department of Radio Engineering and Communication; E-mail: tofiq-mansurov@rambler.ru |
| Evgeny V. Novikov | — | PhD, Associate Professor; Belarusian State Academy of Communications, Institute of Modern Communication Technologies; Director of the Institute; E-mail: e.novikov@bsac.by |

Received 28.02.2024; approved after reviewing 01.04.2024; accepted for publication 16.05.2024