

СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ЗОНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. А. КУЗНЕЦОВ¹, А. С. БРЮХОВА¹, Ю. В. ДЕМИН²

¹Омский государственный университет путей сообщения, 644046, Омск, Россия,
E-mail: annaivan29@gmail.com

²Сибирский государственный университет водного транспорта, 630099, Новосибирск, Россия

Рассматриваются актуальные проблемы диагностирования коррозионного состояния полых железобетонных конструкций на примере железобетонных опор контактной сети. Рассмотрены существующие методы исследования полых железобетонных конструкций, выявлены их преимущества и недостатки. Наиболее перспективными для решения данной проблемы являются методы лазерной спектроскопии, имеющие высокую достоверность и возможность передачи лазерного излучения по волоконно-оптическому кабелю. Предложено новое конструктивное решение устройства позиционирования оптического зонда внутри полых железобетонных конструкций, с помощью которого можно производить контроль поверхности подземной части железобетонной опоры. Оптический зонд предназначен для определения количественного состава продуктов коррозии, вышедших на поверхность бетона. Представлена схема оптического датчика предлагаемого устройства и его конструкция, позволяющая получать количественную информацию о концентрациях продуктов коррозии на поверхности железобетонных изделий. Таким образом, выполнив измерения на поверхности и оценив состояние арматуры, можно предсказать остаточную прочность опор в зависимости от расположения точки наибольшего коррозионного воздействия.

Ключевые слова: железобетонная конструкция, коррозия, лазерная спектрометрия, устройство позиционирования, оптический зонд, волоконно-оптический кабель

Основным видом опор контактной сети, используемых на железных дорогах, являются железобетонные (около 95 %). Обеспечение надежности таких опор является важной проблемой, так как они подвержены влиянию большого числа факторов. Отсутствие специализированной электроизоляции опор от токов утечки на участках железных дорог вызывает их отказы по причине электрокоррозии анкерных болтов и металлической арматуры, находящихся в подземной части. Коррозия в подземной части опоры может возникнуть также вследствие воздействия атмосферных осадков и наличия в грунте химических веществ, таких как хлориды, сульфаты и карбонаты.

Существует множество методов исследования коррозионного состояния железобетонных опор — электрохимический, вибрационный, ультразвуковой, метод резонансной частоты. Однако проблема определения коррозионного состояния железобетонных опор остается актуальной даже при наличии таких методов, поскольку в их основе лежат косвенные измерения таких параметров, как скорость распространения ультразвука, параметры формы разряда на землю и др. [1].

Одним из перспективных методов, используемых для определения количественного содержания элементов и соединений, сопровождающих процесс коррозии, является активно развивающийся в последние годы метод лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (ЛИЭС). Привлекательность этого метода обусловливается быстроедействием, точностью и возможностью проведения измерений в полевых условиях. ЛИЭС — один из методов

атомно-эмиссионного спектрального анализа, в котором анализируются спектры излучения лазерной плазмы в малом объеме (глубина проникновения в образец менее 10 мкм). В работах [2, 3] показаны возможности ЛИЭС по определению продуктов коррозии в бетоне.

Авторами настоящей статьи проведен ряд экспериментов, определяющих связь количественного состава различных соединений железа (FeOH , Fe_2O_3 , FeCl) на поверхности железобетонных образцов с состоянием арматуры при различной степени их коррозии. Для рассматриваемого объекта контроля — полый железобетонной цилиндрической опоры, заглубленной в грунт, задача заключается в обследовании внутренней поверхности железобетона выше и ниже уровня земли. Повреждения в указанных местах, под действием нагрузок, могут наиболее вероятно привести к разрушению и излому опоры.

При разработке конструкции мобильного прибора для контроля были рассмотрены существующие публикации. Например, в работе [4] предложен способ определения коррозионного состояния подземной части железобетонных опор с помощью видеоэндоскопического обследования. Однако этот метод имеет низкую достоверность, поскольку визуальный осмотр не позволяет установить причину возникновения коррозии и определить состояние арматуры. Другое решение описано в патенте [5], где предлагается производить диагностирование внутренней части железобетонной опоры методом ЛИЭС с оптоволоконной передачей излучения. Метод обладает рядом преимуществ, но при его использовании отсутствует возможность управления зондом, расположенным внутри опоры, и достоверного определения координат и степени развития коррозии.

На рис. 1 изображено схематичное расположение предлагаемого оптического зонда, находящегося внутри железобетонной опоры; здесь 1 — опора, 2 — уровень земли, 3 — тележка, 4 — оптический зонд, 5 — волоконно-оптический кабель, 6 — блок управления шаговым двигателем. С помощью данного устройства можно производить контроль поверхности подземной части опоры. Оптический зонд предназначен для определения посредством ЛИЭС количественного состава продуктов коррозии, вышедших на поверхность бетона.

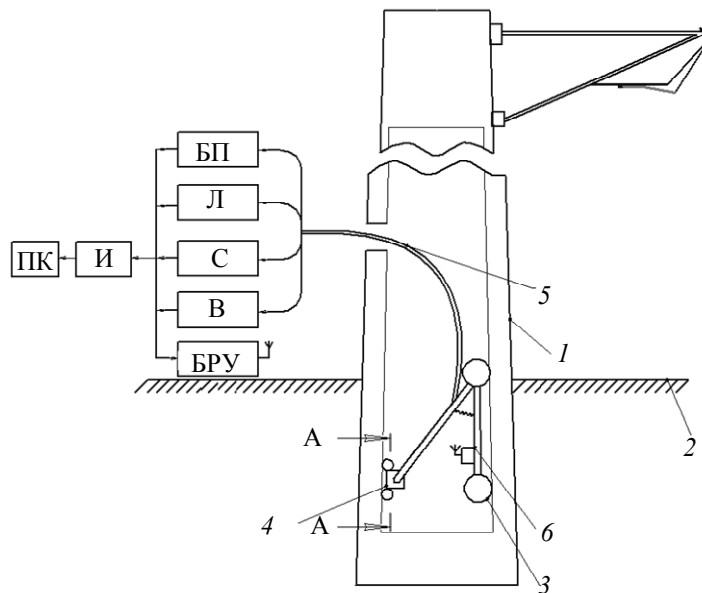


Рис. 1

Устройство содержит блок питания (БП), лазер (Л), спектрометр (С), систему видеонаблюдения (В), блок радиопередачи (БРУ), интерфейс (И) и персональный компьютер (ПК). Связь зонда внутри опоры и приборной части, расположенной снаружи, осуществляется с помощью волоконно-оптического кабеля. В оболочке кабеля размещены два оптоволоконных канала для передачи оптического излучения лазера и приема отраженного света, электрический канал для питания светодиода и передачи сигнала от видеокамеры.

Устройство оптического зонда в сложенном состоянии помещается в технологическое отверстие, предназначенное для вентиляции опоры. Под воздействием силы пружины подвижный рычаг прижимается к внутренней поверхности опоры, а неподвижный рычаг — к противоположной поверхности (аналогично конструкции, предложенной в работе [6]). Конструкция устройства позволяет производить контроль в опорах различного диаметра. Блок радиуправления приводит во вращение колеса устройства, тем самым осуществляется перемещение тележки и оптического зонда вверх и вниз внутри опоры.

Лазерное излучение передается по волоконно-оптическому кабелю к датчику, расположенному в сечении А-А, и обратно в блок спектрометра [7]. В спектрометре отраженный свет разлагается в линейчатый спектр, далее информация о количественном содержании продуктов коррозии отображается на мониторе ПК.

На рис. 2 приведено схематичное изображение оптического датчика в сечении А-А (см. рис. 1) предлагаемого устройства; на рис. 2: 1 — источник лазерного излучения, 2 — приемник рассеянного излучения, 3 — видеокамера, 4 — осветители, 5 — прижимной ролик.

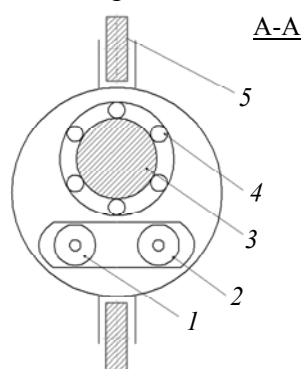


Рис. 2

Лазерный импульс (среднее значение энергии 50 мДж), достаточный для возбуждения низкотемпературной плазмы, поступает по волоконно-оптическому кабелю, тем самым создавая микровспышку. Часть потока излучения плазмы собирается и по волоконно-оптическому кабелю направляется в спектрограф. С помощью видеокамеры визуально определяется место расположения продуктов коррозии, вышедших на поверхность бетона, и производится серия измерений (шаг сканирования составляет 0,5 мм). Осветители предназначены для обеспечения необходимого и достаточного уровня освещенности внутренней поверхности опоры.

Конструкция датчика представлена на рис. 3. Датчик направляет и собирает часть рассеянного излучения.

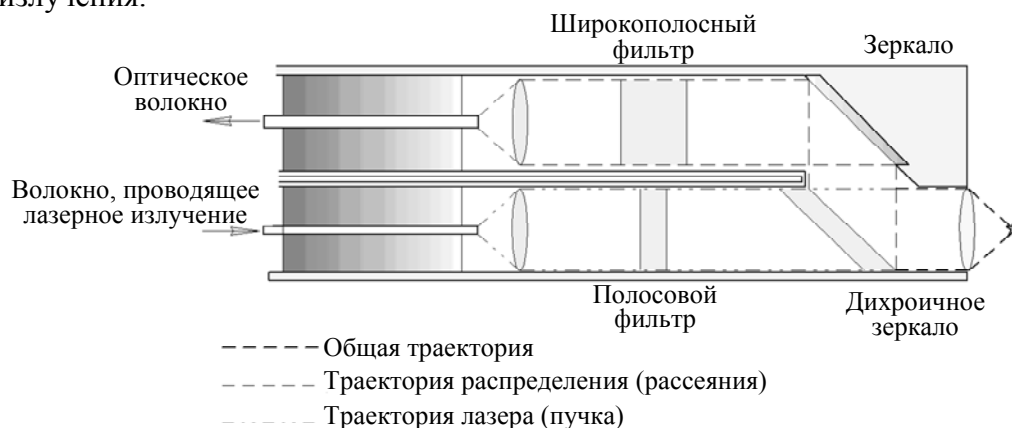


Рис. 3

Датчик такой конструкции может применяться как для метода ЛИЭС, так и для спектроскопии комбинационного рассеяния (КРС). В конструкции на основе метода ЛИЭС используется светоделитель, разделяющий поток отраженного света на две части. Длина волны

лазера составляет 532 нм, а спектр большинства анализируемых элементов находится в диапазоне от 400 до 900 нм [2, 3, 7]. В случае применения КРС используется дихроичное зеркало, выполняющее функцию отсечения рассеянных световых лучей. Волновое число анализируемых молекулярных комплексов составляет 244, 298, 501, 615 и 1318 см^{-1} при использовании лазера с той же длиной волны (532 нм), но меньшей мощности [8].

Предлагаемое устройство позволяет получать количественную информацию о концентрациях продуктов коррозии на поверхности железобетонных конструкций. Проведенные ранее исследования показали тесную связь различной степени электрокоррозии и разрушения арматуры с содержанием различных соединений железа (FeOH , Fe_2O_3 , FeCl) на поверхности [9, 10].

Таким образом, выполнив измерения на поверхности и оценив состояние арматуры, можно предсказать остаточную прочность опор в зависимости от расположения точки наибольшего коррозионного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подольский В. И. Железобетонные опоры контактной сети. Конструкции, эксплуатация, диагностика // Тр. ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. 152 с.
2. Labutin T. A., Popov A. M., Zaytsev S. M., Zorov N. B., Belkov M. V., Kiris V. V., Raikov S. N. Determination of chlorine, sulfur and carbon in reinforced concrete structures by double-pulse laser-induced breakdown spectroscopy // Spectrochimica Acta. Part B. 2014. P. 94—100.
3. Millar S., Wilsch G., Eichler T., Gottlieb C., Wiggenshauser H. Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) im Bauwesen — automatisierte Baustuffanalyse // Beton- und Stahlbetonbau. 2015. Vol. 110, Heft 8. P. 501—510.
4. Пат. 2460062 РФ. Способ определения коррозионного состояния подземной части железобетонных опор линий электропередач и контактной сети / В. А. Кандаев, К. В. Авдеева, М. А. Никифоров. 2011. Бюл. № 24.
5. Пат. 167680 РФ. Устройство для определения количественного состава продуктов коррозии арматуры на труднодоступных поверхностях железобетонных изделий / В. А. Кандаев, А. А. Кузнецов, А. В. Пономарев, О. С. Бучельникова. 2016. Бюл. № 1.
6. Пат. 896527 СССР. Устройство для контроля внутренней поверхности трубы / Л. И. Солодова, В. А. Синицкий, А. М. Бондаренко, М. А. Дубровская. 1982. Бюл. № 1.
7. Кремерс Д. А., Радziemски Л. И. Лазерно-искровая эмиссионная спектрометрия / Пер. с англ.; Под ред. Н. Б. Зорова. М.: Техносфера, 2009. 360 с.
8. Xin Zhang, Kui Xiao, Chaofang Dong, Junsheng Wu, Xiaogang Li, Yizhong Huang. In situ Raman spectroscopy study of corrosion products on the surface of carbon steel in solution containing Cl^- and SO_4^{2-} // Engineering Failure Analysis. 2011. N 18. P. 1981—1989.
9. Кузнецов А. А., Пономарев А. В., Мешкова О. Б., Бучельникова О. С. Возможности приборов ЛИЭС для определения коррозионного состояния железобетонных конструкций при длительной эксплуатации // Современные наукоемкие технологии. 2015. Ч. 4. № 12. С. 610—615.
10. Larroumet D., Greenfield D., Akid R., Yarwood J. Raman spectroscopic studies of the corrosion of model iron electrodes in sodium chloride solution // J. of Raman Spectroscopy. 2007. Vol. 38, iss. 12. P 1577—1585.

Сведения об авторах

- Андрей Альбертович Кузнецов** — д-р техн. наук, профессор; Омский государственный университет путей сообщения, кафедра теоретической электротехники; заведующий кафедрой; E-mail: kuznetsova.a.omgups@gmail.com
- Анна Сергеевна Брюхова** — аспирант; Омский государственный университет путей сообщения, кафедра теоретической электротехники; E-mail: annaivan29@gmail.com
- Юрий Васильевич Демин** — д-р техн. наук, профессор; Сибирский государственный университет водного транспорта, кафедра электрооборудования и автоматики; E-mail: kesbs@nsawt.ru

Поступила в редакцию
15.01.19 г.

Ссылка для цитирования: Кузнецов А. А., Брюхова А. С., Демин Ю. В. Система позиционирования оптического зонда для исследования внутренних поверхностей полых железобетонных конструкций // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 3. С. 272—277.

SYSTEM OF OPTICAL PROBE POSITIONING FOR DIAGNOSING INTERNAL SURFACE OF HOLLOW REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

A. A. Kuznetsov¹, A. S. Bryukhova¹, Yu. V. Demin²

¹Omsk State Transport University, 644046, Omsk, Russia,
E-mail: annaivan29@gmail.com

²Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Russia

Actual problems of diagnosing the corrosion condition of hollow reinforced concrete structures are considered using reinforced concrete supports of the contact network as an example. Existing methods of diagnosing hollow reinforced concrete structures are discussed, advantages and disadvantages of these methods are revealed. The method of laser spectroscopy is reported to be the most promising approach to solving the problem due to its high reliability and the possibility to transmit laser radiation by fiber optic cable. A new design solution is proposed for positioning an optical probe inside a hollow structure to check the surface of the underground part of the reinforced concrete support. The optical probe is designed to determine the quantitative composition of corrosion products released to the surface of concrete by means of laser spectroscopy. A diagram of the optical sensor of the proposed device is presented, the sensor design is described. The proposed device allows to obtain quantitative information on the concentrations of corrosion products on the surface of reinforced concrete structure. Thus, by performing measurements on the surface and evaluating the condition of the reinforcement, it is possible to predict the residual strength of the supports, depending on the location of the point of greatest corrosion attack.

Keywords: reinforced concrete structure, corrosion, laser-induced breakdown spectrometry, positioning system, optical probe, fiber optic cable

REFERENCES

1. Podol'skiy V.I. *Zhelezobetonnyye opory kontaktnoy seti. Konstruktsii, ekspluatatsiya, diagnostika* (Reinforced Concrete Supports of the Contact Network. Design, Operation, Diagnostics), Moscow, 2007, 152 p. (in Russ.)
2. Labutin T.A., Popov A.M., Zaytsev S.M., Zorov N.B., Belkov M.V., Kiris V.V., Raikov S.N. *Spectrochimica Acta. Part B*, 2014, pp. 94–100.
3. Millar S., Wilsch G., Eichler T., Gottlieb C., Wiggenshauser H. *Beton- und Stahlbetonbau*, 2015, no. 8(110), pp. 501–510.
4. Patent RU 2460062, *Sposob opredeleniya korrozionnogo sostoyaniya podzemnoy chasti zhelezobetonnykh opor liniy elektroperedach i kontaktnoy seti* (Way of Definition of a Corrosion Condition of an Underground Part of Reinforced Concrete Support of Power Lines and Contact Network), V.A. Kandayev, K.V. Avdeyeva, M.A. Nikiforov, Priority 11.01.2011, Bulletin 24. (in Russ.)
5. Patent RU 167680, *Ustroystvo dlya opredeleniya kolichestvennogo sostava produktov korrozii armatury na trudnodostupnyye poverkhnostyakh zhelezobetonnykh izdeliy* (A Device for Determining the Quantitative Composition of Reinforcement Corrosion Products on Hard-To-Reach Surfaces of Reinforced Concrete Products), V.A. Kandayev, A.A. Kuznetsov, A.V. Ponomarev, O.S. Buchel'nikova, Priority 29.01.2016, Bulletin 1. (in Russ.)
6. Patent USSR 896527, *Ustroystvo dlya kontrolya vnutrenney poverkhnosti truby* (Device to Control the Internal Surface of the Pipe), L.I. Solodova, V.A. Sinitskiy, A.M. Bondarenko, M.A. Dubrovskaya, Published 1982, Bulletin 1. (in Russ.)
7. Cremers D.A., Radziemski L.J. *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*, NY, John Wiley & Sons, 2006.
8. Xin Zhang, Kui Xiao, Chaofang Dong, Junsheng Wu, Xiaogang Li, Yizhong Huang. *Engineering Failure Analysis*, 2011, vol. 18, pp. 1981–1989.
9. Kuznetsov A.A., Ponomarev A.V., Meshkova O.B., Buchel'nikova O.S. *Modern High Technologies*, pt. 4, 2015, no. 12, pp. 610–615. (in Russ.)
10. Larroumet D., Greenfield D., Akid R., Yarwood J. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2007, no. 12(38), pp. 1577–1585.

Data on authors

- | | |
|----------------------------|--|
| Andrey A. Kuznetsov | — Dr. Sci., Professor; Omsk State University of Transport, Department of Theoretical Electrical Engineering; Head of the Department;
E-mail: kuznetsovaa.omgups@gmail.com |
| Anna S. Brukhova | — Post-Graduate Student; Omsk State University of Transport, Department of Theoretical Electrical Engineering; E-mail: annaivan29@gmail.com |

Yuriy V. Demin

— Dr. Sci., Professor; Siberian State University of Water Transport, Department of Electrical Equipment and Automatics; E-mail: kesbs@nsawt.ru

For citation: Kuznetsov A. A., Bryukhova A. S., Demin Yu. V. System of optical probe positioning for diagnosing internal surface of hollow reinforced concrete structures. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 3. P. 272—277 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-3-272-277