

–Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и информационных  
систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/KOTB8442>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я.,

*д.т.н., профессор*

Новожиллов А. Н.,

*д.т.н., профессор*

Никитин К. И.,

*д.т.н., профессор (Россия)*

Никифоров А. С.,

*д.т.н., профессор*

Новожиллов Т. А.,

*д.т.н., профессор*

Алиферов А.И.,

*д.т.н., профессор (Россия)*

Кошкеков К.Т.,

*д.т.н., профессор*

Приходько Е.В.,

*к.т.н., профессор*

Оспанова Н. Н.,

*к.п.н., доцент*

Нефтисов А. В.,

*доктор PhD*

Омарова А.Р.,

*технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

МРНТИ 47.61.33

<https://doi.org/10.48081/NHPY1962>

**\*М. Ж. Мусагажинов<sup>1</sup>, А. В. Юрченко<sup>2</sup>, А. П. Кислов<sup>3</sup>  
А. С. Звонцов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Астана;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический  
университет, Российская Федерация, г. Томск;

<sup>3, 4</sup> Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

\*e-mail: [musagazhinov@bk.ru](mailto:musagazhinov@bk.ru)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ТРЕЩИНЫ СДВИГА В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ**

*В этой статье излагаются исследования, показывающие возможности распределенных волоконно-оптических датчиков (РВОД) в их применении для мониторинга состояния конструкции и характеристик сдвига бетонных конструкций. При мониторинге состояния конструкции получены характеристики трещины при сдвиге бетонных элементов: обнаружение, локализация и количественная оценка повреждения при сдвиге. В настоящей статье количественная оценка рассматривается путем предложения метода для получения средней ширины трещины сдвига в бетонных балках.*

*Метод основан на данных, полученных при наклеивании РВОД на бетонную поверхность. Дан пример РВОД и расчет определения деформаций.*

*Распределенные волоконно-оптические датчики – это тип сенсорной технологии, которая использует оптическое волокно в качестве чувствительной среды для обнаружения и измерения*

*различных физических параметров, таких как температура, деформация и давление. Оптический рефлектометр с обратным рассеянием (OBR) – это широко используемый метод опроса ВОД, который обеспечивает измерение с высоким разрешением на больших расстояниях.*

*Принцип, лежащий в основе РВОД, основан на том факте, что оптическое волокно, изготовленное из стекла или пластика, может передавать свет на большие расстояния с очень небольшим затуханием.*

*Свет, проходящий по волокну, взаимодействует с окружающей средой, вызывая изменения в его оптических свойствах, таких как показатель преломления, который можно измерить и соотнести с физическими параметрами.*

*Ключевые слова* Ширина трещины сдвига, волоконно-оптические датчики, рефлектометр обратного рассеяния, брюллиэновская оптическая рефлектометрия, рефлектометрия временной области.

## **Введение**

Традиционно ширина трещины измерялась с использованием метода визуального контроля или калибровочного метода, который включает в себя размещение датчика ширины трещины над трещиной и измерение ширины.

Однако эти методы имеют ограничения, поскольку они предоставляют только моментальный снимок ширины трещины в один момент времени и не учитывают изменения ширины трещины с течением времени [1].

Волоконно-оптические датчики становятся все более популярными для мониторинга различных видов гражданской инфраструктуры.

Будучи невосприимчивыми к электромагнитным помехам и демонстрируя превосходную долговечность в суровых условиях окружающей среды, оптические волокна имеют явное преимущество перед традиционными датчиками в этой области. Более того, распределенные волоконно-оптические датчики (РВОД) позволяют получать данные с плотным разнесением на очень большие расстояния с помощью одного измерительного устройства. В области гражданского строительства, где обычные датчики являются почти исключительно точечными, РВОД обещает стать революционной технологией, которая дает беспрецедентные

возможности для масштабирования систем мониторинга с относительной легкостью [5].

Полномасштабные испытания свайных фундаментов - это одно из конкретных применений, где ожидается, что РВОД окажет значительное влияние. Испытания свай проводятся на небольшом количестве рабочих свай или пробных свай на строительной площадке для проверки конструкции фундамента до начала строительства.

Испытания свай также полезны для контроля качества и постоянного улучшения конструкции свай и методов строительства.

Испытание на выдерживаемую статическую вертикальную нагрузку является одним из наиболее распространенных типов испытаний свай в научно исследовательской работе. К испытательной свае поэтапно прикладывается контролируемая сжимающая или растягивающая нагрузка, при этом регистрируется реакция сваи. Это влечет за собой измерение вертикального отклонения в верхней части сваи, а также деформации и относительного смещения внутри сваи. Внутренние измерения обычно проводятся с помощью встроенных вибропроводочных тензорезисторов и извлекаемых экстензометров, расположенных в нескольких местах вдоль сваи на расстоянии нескольких метров друг от друга [8].

Эти традиционные контрольно-измерительные системы уже много лет используются в индустрии испытаний свай и считаются надежными и прочными [11]. Однако они имеют один существенный недостаток: они состоят из точечных датчиков и, следовательно, не могут дать полной картины отклика сваи по всей ее глубине. Показания этих датчиков могут ввести в заблуждение, если в свае или в земле рядом с датчиком возникнет локальный эффект [15]. И наоборот, точечные датчики не могут обнаруживать какие-либо локальные эффекты, которые не находятся в их непосредственной близости и которые могут быть важны для оценки работы сваи. Единственный способ получить полный профиль деформации и прогиба вдоль сваи – использовать распределенную систему измерения. Именно здесь РВОД может сыграть важную роль.

### **Материалы и методы**

Принцип, лежащий в основе РВОД, основан на том факте, что оптическое волокно, изготовленное из стекла или пластика, может передавать свет на большие расстояния с очень небольшим затуханием.

Свет, проходящий по волокну, взаимодействует с окружающей средой, вызывая изменения в его оптических свойствах, таких как показатель преломления, который можно измерить и соотнести с физическими параметрами.

Одним из главных преимуществ РВОД является их способность обеспечивать распределенное зондирование, что означает, что они могут

обнаруживать изменения по всей длине волокна. Это достигается за счет использования различных чувствительных механизмов, таких как решетки Брэгга, полости Фабри-Перо или волоконно-оптические интерферометры, которые встроены в структуру волокна через равные промежутки времени.

Метод OBR используется для опроса РВОД путем отправки светового импульса вниз по волокну и измерения обратного рассеяния света, который отражается обратно к источнику. Обратное рассеянный свет несет информацию о физических изменениях, произошедших по длине волокна, что позволяет получать изображения с высоким разрешением.

РВОД и OBR широко используются в различных областях применения, включая мониторинг состояния конструкций, мониторинг нефте- и газопроводов и геофизический мониторинг. При мониторинге состояния конструкций ВОД используются для обнаружения изменений деформации и температуры в мостах, зданиях и других конструкциях, что позволяет на ранней стадии выявлять потенциальные отказы.

При мониторинге нефтяных и газовых трубопроводов ВОД используются для обнаружения утечек и изменений давления, обеспечивая раннее предупреждение о потенциальных неисправностях трубопровода. ВОД также используются в геофизическом мониторинге для обнаружения изменений деформации грунта и сейсмической активности, что позволяет своевременно предупреждать о землетрясениях и других стихийных бедствиях.

Чтобы решить эту проблему, исследователи разработали метод 2D распределенного оптического волокна, который позволяет непрерывно контролировать ширину трещины с течением времени. РВОД включает в себя встраивание тонкой оптоволоконной сетки в бетонную конструкцию, которая способна обнаруживать изменения деформации внутри конструкции.

Данный метод измерения показан на рисунке 1.

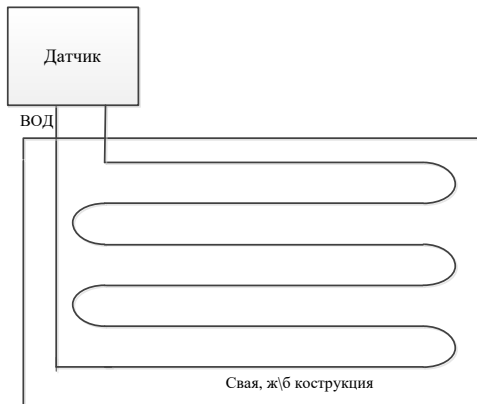


Рисунок 1 – Пример расположение кабеля в свае

Были взяты сваи, которые имели диаметр 0,9 м и длину от 25 м до 33,7 м.

Инструментарий РВОД состоял из двух типов одномодовых волоконно-оптических (ВО) кабелей, установленных параллельно: кабель с плотным соединением и кабель со свободной трубкой (четырёхжильный кабель).

Бриллюэновская оптическая рефлектометрия во временной области (БОРВО) использовалась для измерения деформации и температуры бетона от этих двух кабелей соответственно.

Два троса были установлены парой в U-образных петлях вдоль арматурных каркасов свай, прежде чем каркасы были вставлены в отверстие сваи.

Каждая петля состоит из ножки вдоль одной стороны клетки, обертки вокруг половины окружности клетки внизу и ножки вдоль противоположной стороны клетки.

Когда в бетоне образуется трещина, напряжение внутри волокнистой сетки изменяется, что регистрируется источником света на одном конце волокна и измеряется детектором на другом конце.

Анализируя изменения деформации с течением времени, исследователи могут оценить ширину трещины, показанной на рисунке 2.

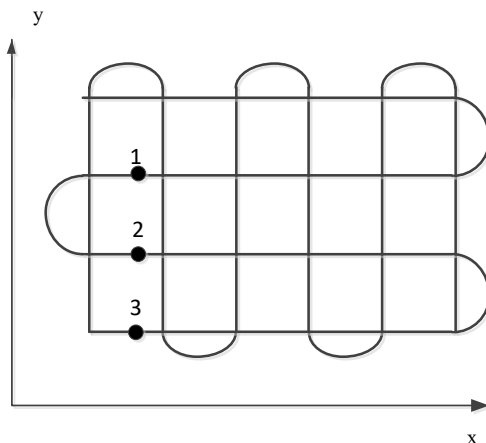


Рисунок 2 – Установка сетки с координатами

Волоконно-оптические кабели были прикреплены к арматурным стержням сваи на каждом конце сваи с помощью пластиковых кабельных стяжек и резиновых трубок с прорезями.

Между точками крепления тросы удерживались вплотную к арматуре с помощью свободных кабельных стяжек, расположенных с интервалом от 0,5 до 1 м. Перед фиксацией натяжной трос был предварительно натянут вручную между точками крепления.

Каждая свая была оборудована как минимум одной петлей оптоволоконного кабеля. Две сваи были оборудованы дополнительной петлей ВОК перпендикулярно первой, а еще две сваи были оснащены дополнительной петлей ВОК, прикрепленной к пучку арматурных стержней, размещенных в центре сваи. Отдельные кабели для измерения температуры и напряжения, выходящие из верхней части сваи, были последовательно соединены вместе либо непосредственно с помощью сварки. Таким образом, аппаратура каждой сваи состояла из одной цепи РВОД, включающей в себя датчики температуры и напряжения, которые можно было опрашивать одновременно с одного канала оптического анализатора.

### Результаты и обсуждение

Точка 1 (рисунок 2) соответствует снятым данным кривой 1 на рисунке 3



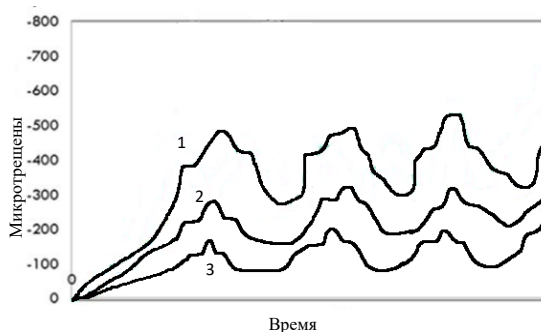


Рисунок 3 – Данные с датчика РВОД

Через координаты  $(x, y)$ , идентифицируется любая точка измерения РВОД. Эти координаты являются функцией пространственного разрешения, заданного в системе OBR, которое в данном случае составляло 1 см. В случае двумерной сетки пространственное разрешение преобразуется в приращение  $x$  и  $y$  между координатами  $x, y$  в обоих направлениях, как показано на рисунке 2. После этого на входе анализа информации, полученной с помощью системы OBR, можно добиться отслеживания картины прогрессирующего растрескивания в инструментированной зоне. Изменение деформации вдоль волокна позволяет определить момент начала растрескивания и его создания.

Оценка ширины трещины сдвига основана на интеграции данных о деформации, полученных с помощью системы OBR. Одним из примеров этих «квази» непрерывных данных (полученных с пространственным разрешением 1 см) вдоль горизонтального направления  $x$  показано на рисунке 4. Горизонтальная линия соответствует максимальному растяжению бетона. При превышении этого порогового значения появляются пики, связанные с наличием трещин.

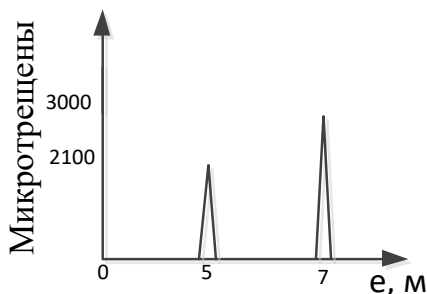


Рисунок 4 – Определение трещин в бетоне

Одной из характеристик записей OBR при испытании на сдвиг является то, что бетонная поверхность представляет значения напряжения только в трещинах, и из-за механизма напряжения сдвига бетон между трещинами в основном сжимается, это также показано на рисунке 4. На этом рисунке показана характерная длина бетона с трещинами. Считается, что трещина включает в себя всю площадь, в которой происходит растрескивание при сдвиге. Кроме того, в каждом направлении  $x$  или  $y$ . Эти длины включают только зону, в которой растягивающая деформация бетона превышена в каждом направлении  $x$  или  $y$ .

В двумерной сетке, сформированной ВОД, одна или несколько трещин обнаруживаются одновременно в двух ортогональных направлениях  $x$  и  $y$  для заданного значения испытательной нагрузки. Как уже упоминалось, в горизонтальном направлении большая часть бетона сжимается, за исключением тех мест, где были обнаружены трещины.

Чтобы определить площадь интегрирования под кривой в данном горизонтальном сечении РВОД и применить метод OBR для расчета ширины трещины сдвига, определяется деформация, связанная с максимальным напряжением бетона в направлении  $x$ .

Такой же процесс осуществляется на каждом из контролируемых горизонтальных участков. Первоначально угол  $\theta$  неизвестен, но его также можно получить благодаря данным, поступающим из ВОД. Таким образом, из (1) он может быть установлен для ВОД в обоих направлениях.

Правая часть (1) представляет среднюю деформацию в зоне трещины в их направлении как интеграл деформации в каждой из  $n$  эффективных длин  $L_x$ , где есть трещина

$$e_{mx} = \frac{1}{L_{ex}} \sum_{i=1}^n \int_0^{L_x} e_{ox} dx \quad (1)$$

где

$$L_{ex} = \sum_{i=1}^n L_x \quad (2)$$

Аналогичный процесс выполняется с данными вертикальной деформации.

В вертикальных записях присвоение длины трещины  $L_y$  осуществляется также.

РВОД обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами измерения ширины трещин. Во-первых, он обеспечивает непрерывный мониторинг ширины трещины с течением времени, позволяя на ранней стадии обнаруживать изменения ширины трещины и иметь возможность вмешаться до того, как трещина станет серьезной проблемой. Во-вторых, он неразрушающий, что означает, что волоконная сетка может быть встроена в конструкцию, не повреждая ее.

Это особенно важно для таких конструкций, как мосты или здания, где использование методов разрушающего контроля может поставить под угрозу их структурную целостность.

В дополнение к измерению ширины трещины, РВОД может также использоваться для других целей структурного мониторинга, таких как измерение деформации внутри бетонной конструкции или обнаружение начала коррозии в арматурной стали.

Однако у метода ВОД есть некоторые ограничения. Во-первых, установка может быть дорогостоящей, особенно в крупных сооружениях, где может потребоваться большое количество волокнистой сетки. Во-вторых, на точность метода могут влиять такие факторы, как установка волокнистой сетки, наличие других факторов, которые могут повлиять на деформацию внутри конструкции, или изменения условий окружающей среды.

### **Выводы**

В заключение, DOFS и OBR являются мощными методами зондирования, которые обеспечивают возможности распределенного зондирования с высоким разрешением. Они имеют широкий спектр применения в различных областях, включая мониторинг состояния конструкций, мониторинг нефте- и газопроводов и геофизический мониторинг. С дальнейшим развитием волоконно-оптических технологий вполне вероятно, что в будущем РВОД и OBR станут еще более распространенными, что приведет к повышению безопасности и надежности в широком спектре отраслей промышленности.

Метод 2D распределенного оптического волокна является многообещающим инструментом для оценки ширины трещины сдвига в бетонных конструкциях. Он обеспечивает непрерывный контроль ширины трещины с течением времени, является неразрушающим и может использоваться для других целей структурного мониторинга.

Несмотря на некоторые ограничения этого метода, его преимущества делают его ценным инструментом для обеспечения безопасности и долговечности бетонных конструкций.

Обнаружение и локализация трещин при сдвиге с использованием РВОД и системы OBR показали отличную производительность.

Определение начала образования трещин в зависимости от уровня нагрузки в каждом испытании может быть произведено с хорошей точностью. Это позволило получить картину трещин при сдвиге с помощью системы OBR, которую можно было визуально сравнить с трещинами, полученными в ходе испытаний, причем корреляция также была превосходной.

Что касается результатов, полученных для ширины трещины, предложенного способа и наиболее традиционного метода, основанного на

размещении розеток смещения, то он дал аналогичные результаты того же порядка величины, что подтверждает использование РВОД с предлагаемым методом OBR для определения средней ширины трещины при нормальных эксплуатационных нагрузках.

Расширение зоны, участвующей в измерении, с помощью розеток смещения делает возможным сравнение только по средней ширине трещины. Это один из основных недостатков стандартного метода измерения с помощью розеток, которого можно избежать с помощью РВОД, где ширина трещины может быть получена для каждой отдельной зоны сдвига.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Fischer, O., Thoma S., Crepaz S.** Distributed fiber optic sensing for crack detection in concrete structures //Civil Engineering Design. – 2019. – Т. 1. – №. 3-4. – pp. 97–105. <https://doi.org/abs/10.1002/cend.201900008>.

2 **Yan, M. et al.** Strain transfer effect on measurements with distributed fiber optic sensors //Automation in Construction. – 2022. – Т. 139. – P. 104262. doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104262.

3 **Feng, X. et al.** Theoretical and experimental investigations into crack detection with BOTDR-distributed fiber optic sensors //Journal of Engineering Mechanics. – 2013. – Т. 139. – №. 12. – P. 1797–1807. doi/epdf/10.1061/%28ASCE%29EM.1943-7889.0000622.

4 **Henault, J. M. et al.** Quantitative strain measurement and crack detection in RC structures using a truly distributed fiber optic sensing system //Construction and Building Materials. – 2012. – Т.37. – P. 916–923. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.029>.

5 **Tan, X et al.** Measurement and visualization of strains and cracks in CFRP post-tensioned fiber reinforced concrete beams using distributed fiber optic sensors //Automation in Construction. – 2021. – Т. 124. – P. 103604. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103604>.

6 **Monsberger, C. M., Lienhart W.** Distributed fiber optic shape sensing of concrete structures //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 18. – P. 6098.. <https://doi.org/10.3390/s21186098>.

7 **Bai, H. et al.** Experimental investigation on flexural behavior of steel-concrete composite floor slabs with distributed fiber optic sensors // Journal of Building Engineering. – 2022. – Т. 54. – P.104668. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104668>.

8 **Stoerzel J., Randl N., Strauss A.** Monitoring shear-induced degradation of reinforced and pre-tensioned concrete members //IABSE Conference: Structural Engineering: Providing Solutions to Global Challenges,

Geneva, Switzerland, September, 2015. – 2015. – P. 1148–1157. <https://doi.org/2749/222137815818358394>.

9 **Zakaria, M. et al.** Experimental investigation on shear cracking behavior in reinforced concrete beams with shear reinforcement // Journal of Advanced Concrete Technology. – 2009. – Т. 7. – №. 1. – P. 79–96. <https://doi.org/10.3151/jact.7.79>.

10 **Wong, L. et al.** Utilising hydraulic transient excitation for fatigue crack monitoring of a cast iron pipeline using optical distributed sensing // Structural Control and Health Monitoring. – 2018. – Т. 25. – № 4. – P. e2141. <https://doi.org/10.1002/stc.2141>.

11 **Yan, M. et al.** Strain transfer effect on measurements with distributed fiber optic sensors // Automation in Construction. – 2022. – Т. 139. – P. 104262. doi.org/ <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104262>.

12 **Tan, X. et al.** Measurement and visualization of strains and cracks in CFRP post-tensioned fiber reinforced concrete beams using distributed fiber optic sensors // Automation in Construction. – 2021. – Т. 124. – P. 103604. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103604>.

13 **Becks, H. et al.** Application of fiber optic measurement in textile-reinforced concrete testing // Structural Concrete. – 2022. – Т. 23. – №. 4. – P. 2600–2614. [doi.org/10.1002/suco.202100252](https://doi.org/10.1002/suco.202100252).

14 **Fischer, O., Thoma S., Crepaz S.** Distributed fiber optic sensing for crack detection in concrete structures // Civil Engineering Design. – 2019. – Т. 1. – №. 3-4. – P. 97–105. <https://doi.org/10.3390/s21186098>

15 **Bai, H. et al.** Experimental investigation on flexural behavior of steel-concrete composite floor slabs with distributed fiber optic sensors // Journal of Building Engineering. – 2022. – Vol. 54. – P. 104668. [doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104668](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104668).

16 **Bogachkov, I. V., Gorlov N. I.** Methods and Means of Ensuring Information Security in Fiber-Optic Communication Lines // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 1791. – №. 1. – P. 012041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1791/1/012041>.

17 **Serikov, T. G. et al.** The analysis and modeling of efficiency of the developed telecommunication networks on the basis of IP PBX asterisk now // 2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST). – IEEE, 2016. – P. 510–515.

Поступило в редакцию 10.02.24.

Поступило с исправлениями 10.02.24.

Принято в печать 04.03.24.

\*M. Zh.Musagazhinov<sup>1</sup>, A. V.Yurchenko<sup>2</sup>, A. P. Kislov<sup>3</sup>, A. S. Zvontsov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullina,

Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation, Tomsk

<sup>3,4</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Received 02.02.24.

Received in revised form 10.02.24.

Accepted for publication 01.03.24.

## **DETERMINATION OF THE WIDTH OF THE SHEAR CRACK IN CONCRETE STRUCTURES USING DISTRIBUTED FIBER-OPTIC SENSORS.**

*This article presents research to show the capabilities of distributed fiber optic sensors (DFOS) in their application to monitor the structural condition of the shear characteristics of concrete structures. When monitoring the condition of the structure to obtain the characteristics of the crack during the shift of concrete elements: detection, localization and quantification of damage during the shift. In this article, the quantitative assessment is considered by proposing a method for obtaining the average width of the shear crack in concrete beams. The method is based on the data obtained by gluing the DFOS on a concrete surface. An example of DFOS and calculation of the definition of deformations is given.*

*Distributed fiber optic sensors are a type of sensor technology that uses optical fiber as a sensitive medium to detect and measure various physical parameters such as temperature, strain, and pressure. Backscattered Optical Reflectometer (OBR) is a widely used water survey method that provides high-resolution measurement over long distances.*

*The principle underlying DFOS is based on the fact that an optical fiber made of glass or plastic can transmit light over long distances with very little attenuation. The light passing through the fiber interacts with the environment, causing changes in its optical properties, such as the refractive index, which can be measured and correlated with physical parameters.*

*Keywords: Shear crack width, fiber-optic sensors, optical backscattering reflectometer, brillouin optical time domain reflectometry, time division reflectometry.*

\* М. Ж. Мусагажиров<sup>1</sup>, А. В. Юрченко<sup>2</sup>, А. П. Кислов<sup>3</sup>, А. С. Звонцов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Астана қ.

<sup>2</sup>Ұлттық зерттеу Томск политехникалық университеті, Томск қ.

<sup>3,4</sup>Торайгыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
10.02.24 ж. баспаға түсті.

10.02.24 ж. түзетулерімен түсті.

01.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **БЕТОН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНДАҒЫ БӨЛІНГЕН ҚЫСЫЛУ ЖАРЫҚШАҒЫНЫҢ ЕНІН ТАРТЫЛҒАН ТАЛШЫҚТЫ- ОПТИКАЛЫҚ ДАТЧИКТЕРДІҢ КӨМЕГІМЕН АНЫҚТАУ**

*Аталмыш мақалада бетон құрылымдарының ығысу сипаттамаларының құрылымдық денсаулығын бақылауға қолдануда бөлінген талшықты-оптикалық сенсорлардың (ТОС) мүмкіндіктерін көрсетуге арналған зерттеулер туралы мағлұмат беріледі. Конструкцияның жағдайын бақылау кезінде бетон элементтеріндегі ығысу сызатының сипаттамаларын алуында: ығысу зақымдануын анықтау, локализациялау және сандық бағалау. Бұл жұмыста бетон арқалықтарындағы орташа ығысу сызатының енін алу әдісін ұсыну арқылы сандық бағалау қарастырылады. Әдіс БТОС бетон бетіне желімдеу кезінде алынған деректерге негізделген. БТОС және деформацияны анықтаудың есебінің мысалы келтірілген.*

*Бөлінген талшықты-оптикалық сенсорлар температура, деформация және қысым сияқты әртүрлі физикалық параметрлерді анықтау және өлшеу үшін оптикалық талшықты сезгіш орта ретінде пайдаланатын сенсор технологиясының бір түрі болып табылады. Оптикалық кері шашырау рефлексометрі*

*(ОКШР) ұзақ қашықтықтарда жоғары ажыратымдылықты өлшеуді қамтамасыз ететін кең таралған ОТС сұрау әдісі болып табылады.*

*БТОС принципі шыныдан немесе пластмассадан жасалған оптикалық талшық жарықты өте аз әлсіреумен ұзақ қашықтыққа өткізе алатындығына негізделген. Талшық арқылы өтетін жарық оның қоршаған ортасымен әрекеттеседі, мысалы, өлшенетін және физикалық параметрлермен корреляцияланатын сыну көрсеткіші негізінде оның оптикалық қасиеттерінің өзгеруін тудырады.*

*Кілтті сөздер Кесілген жарықшақ ені, талшықты-оптикалық сенсорлар, кері шашырау рефлекторы, бриллиеннің оптикалық рефлектометриясы, уақыт доменінің рефлектометриясы.*



Теруге 06.03.2024 ж. жіберілді. Басуға 29.03.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс №4204

Сдано в набор 06.03.2024 г. Подписано в печать 29.03.2024 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 4204

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz