

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF FIBER-OPTICAL SENSORS FOR MONITORING OF THE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS DEFORMATIONS

Егоров Ф.А., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Главный конструктор ЗАО «Мониторинг-Центр»;

Неугодников А.П., заместитель Генерального директора ЗАО «Мониторинг-Центр»

Быковский В.А., Директор ООО «Мониторинг-Урал»

АННОТАЦИЯ

Изложены основные принципы систем мониторинга технического состояния строительных сооружений на базе волоконной оптики. Представлены данные по двум видам волоконно-оптических датчиков для систем мониторинга. Проанализированы данные лабораторных испытаний описанных датчиков.

ABSTRACT

The main principles of monitoring systems based on fiber optics of the structures are described. The data on two types of fiber-optic sensors for monitoring systems are presented. Data of laboratory tests described sensors are analyzed.

ВВЕДЕНИЕ

Мировой опыт применения волоконно-оптических датчиков, базирующихся на обработке различных характеристик оптического сигнала, в мониторинге технического состояния строительных сооружений (МТСС), немногим превышает десять лет [5, 8]. Тем не менее, накопленный материал дает довольно содержательную картину с точки зрения использования преимуществ волоконной оптики для контроля напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, а также в решении задач геотехнического мониторинга [6]. Возможность позиционировать преобразователи сигналов как внутри железобетонных элементов сооружений, так и снаружи, высокая точность и стабильность волоконно-оптических датчиков позволили сформулировать строителям ряд

задач, оставшихся до сих пор в сфере теоретического анализа и численного моделирования [7].



Рис. 1 Внешний вид ВОДД-1

Сегодня один из основных вопросов – какие напряжения испытывает строительная конструкция в контролируемой области – решается с помощью различных моделей в сочетании с данными традиционных датчиков, парк которых достаточно ограничен. Волоконно-оптические датчики позволили расширить рамки контроля напряженно-деформированного состояния в системе технического мониторинга строительного сооружения.

Одни из наиболее перспективных типов волоконно-оптических датчиков, применимых в строительстве, в качестве параметра, регистрируемого преобразователем, используют интенсивность световой волны [3, 4]. Степень изменения интенсивности световой волны в результате воздействия внешней среды на преобразователь позволяет однозначно определять величину этого воздействия. Причем механизм изменения оптической интенсивности может иметь различные причины – отражение, поглощение, микроизгибы и т.д.

В настоящей работе представлены результаты исследования МТСС на базе волоконно-оптических датчиков трех видов. Представленная система МТСС решает задачу контроля напряженно-деформированного состояния некоторого элемента железобетонной конструкции [2].

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЕФОРМАЦИЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ (ВОДД-1)

Принципиальная схема датчика представлена на Рис.2.

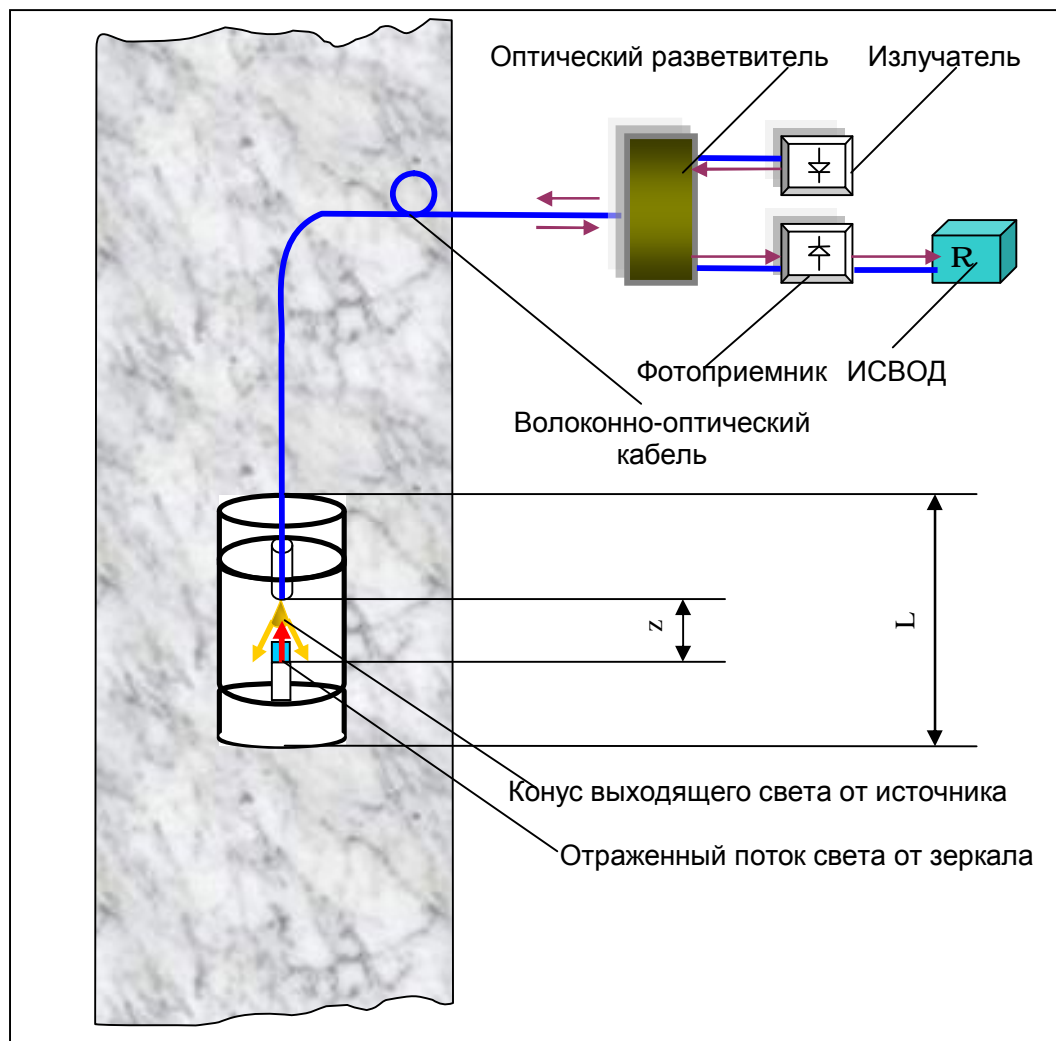


Рис. 2 Схема действия ВОДД-1

Здесь величина деформации объекта контроля ϵ равна ΔL , где ΔL – величина изменения линейного размера датчика при нагрузке. При этом геометрические и физико-механические параметры корпуса датчика рассчитаны и доработаны таким образом, что $\Delta L = \Delta z$, где Δz – приращение расстояния между торцом вмонтированного в корпус световода и зеркалом, отражающим поток света, идущий от излучателя. Регистрируемая величина интенсивности обратно отраженного светового потока имеет линейную зависимость от величины z . В результате величина интенсивности отраженного светового потока I , преобразованная фотоприемником в электрическое напряжение U , после обработки с помощью специальной программы, дает величину деформации ϵ . По изложенному алгоритму определяется искомая величина деформации элемента строительной конструкции при текущих нагрузках.



Рис.3 Испытания ВОДД-1 в бетонном кубе, в гидравлическом прессе

В данной работе представлена информация об испытаниях волоконно-оптического датчика деформаций ВОДД-1, залитого в бетонный образец. В лабораторных испытаниях бетонный кубик с ВОДД-1 подвергался нагрузкам в гидравлическом прессе до 50 тонн. При этом положение кубика варьировалось для того, чтобы исследовать показания датчика при горизонтальном и вертикальном положении по отношению к направлению главных напряжений.

На Рис. 4 и 5 представлены основные результаты испытаний: на Рис. 4 представлена зависимость выходного сигнала ВОДД-1 U от величины нагрузки на опытный образец при заделке датчика в вертикальном положении, обозначим эту зависимость $U_1(P)$; на Рис. 5а – 5б представлены зависимость выходного сигнала ВОДД-1 U от величины нагрузки на опытный образец при заделке датчика в горизонтальном положении, обозначим эту зависимость $U_2(P)$.

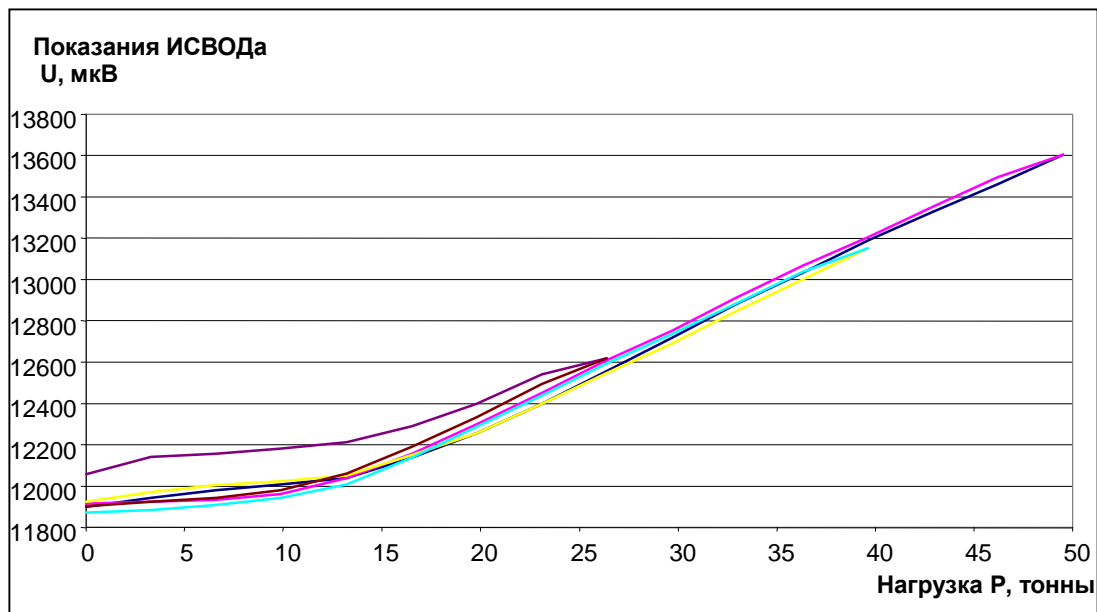


Рис.4 Три цикла испытаний ВОДД-1(вертикальное положение датчика)

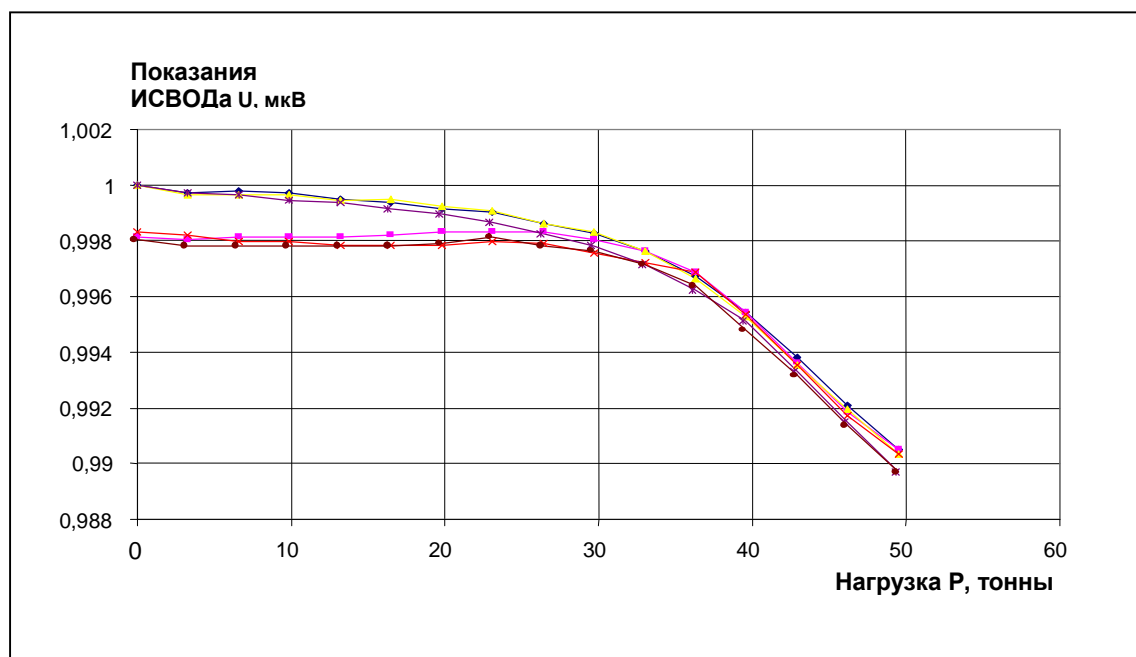


Рис. 5а Три цикла испытаний ВОДД-1(горизонтальное положение датчика)

В этом случае датчик подвергался нагрузке перпендикулярно расположению оптического волокна. Видно, что показания датчика падают не более, чем на 1%. Если сопоставить данные Рис. 4 и 5, то можно видеть, что отношение показаний датчика при горизонтальном (поперечном) положении к показаниям при вертикальном (продольном) при нагрузке от 20 до 50 тонн находятся в пределах от 0,1 до 0,16. Некоторую оценку такого соотношения можно дать через коэффициент Пуассона, который равен отношению поперечных напряжений к продольным по модулю. Это же соотношение получается при отношении

относительных поперечных деформаций к продольным. В таком случае величина отношения приращений показаний датчика при горизонтальном (поперечном) положении к приращениям показаний при вертикальном (продольном) должна быть близка к отношению поперечных деформаций куба к продольным:

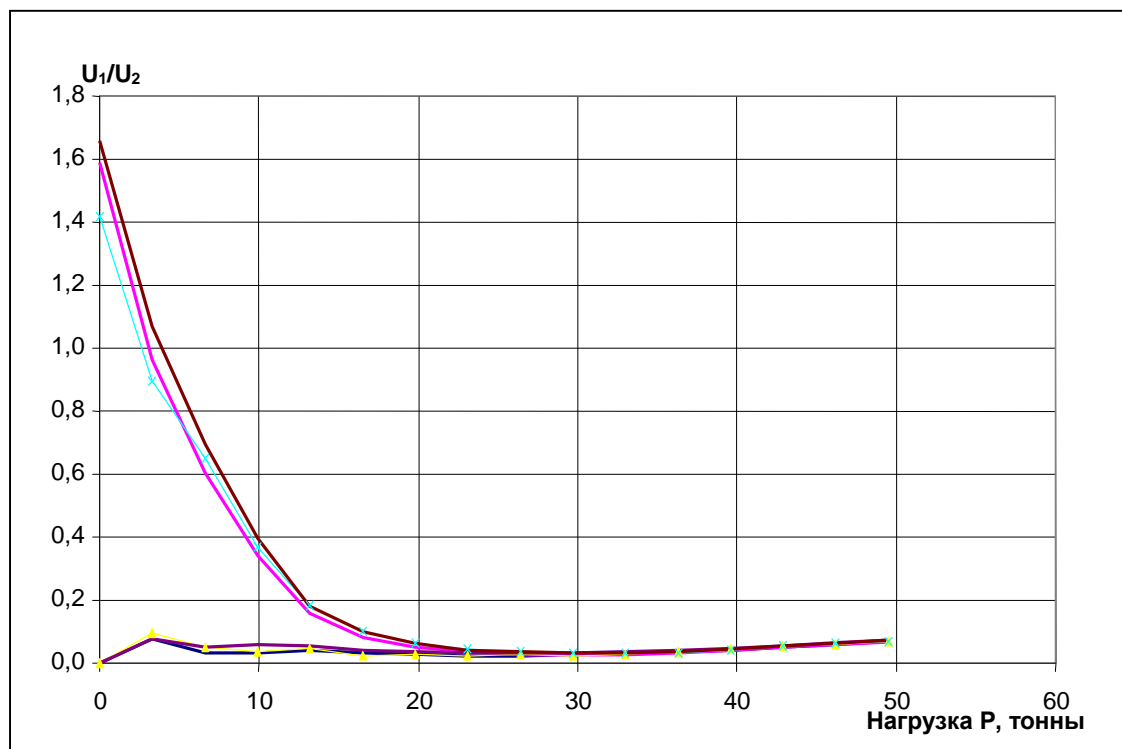


Рис. 5б Отношение U_1/U_2 при поперечном и продольном положении датчика. Три цикла испытаний ВОДД-1

Тем самым показывается связь между растяжением/сжатием датчика, что соответствует его показаниям, и линейными деформациями бетонного образца в вертикальном и горизонтальном направлениях. Коэффициент Пуассона для испытываемого образца равен 0,2. Величина, полученная из графиков Рис. 4 и 5, как было сказано выше, находится в пределах 0,1 и 0,16. На всех графиках Рис. 4-5 видна зона ярко выраженной нелинейности, лежащая в пределах [0,25] тонн. Отнеся этот эффект к процессам уплотнения анизотропного материала, сосредоточим внимание на области оси абсцисс $P > 25$. Здесь наблюдается линейный характер как при вертикальном, так и при горизонтальном расположении датчика в испытываемом образце.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЕФОРМАЦИЙ СТЕРЖНЕВОЙ (ВОДД-2)

ВОДД-2 устроен следующим образом (Рис. 6). Жестко закрепленные пластины на расстоянии L определяют контролируемую базу элемента строительной конструкции, который испытывает деформации при нагрузках. Между пластинами находится стальной стержень, один конец которого зафиксирован на одной жестко закрепленной пластине, а другой упирается в одну из обжимных пластин. Другая обжимная пластина зафиксирована на другой жестко закрепленной пластине. Между обжимными пластинами расположен чувствительный элемент, сопряженный со световодом. Чувствительный элемент имеет возможность сжиматься и разжиматься под действием обжимных пластин вследствие нагрузок.

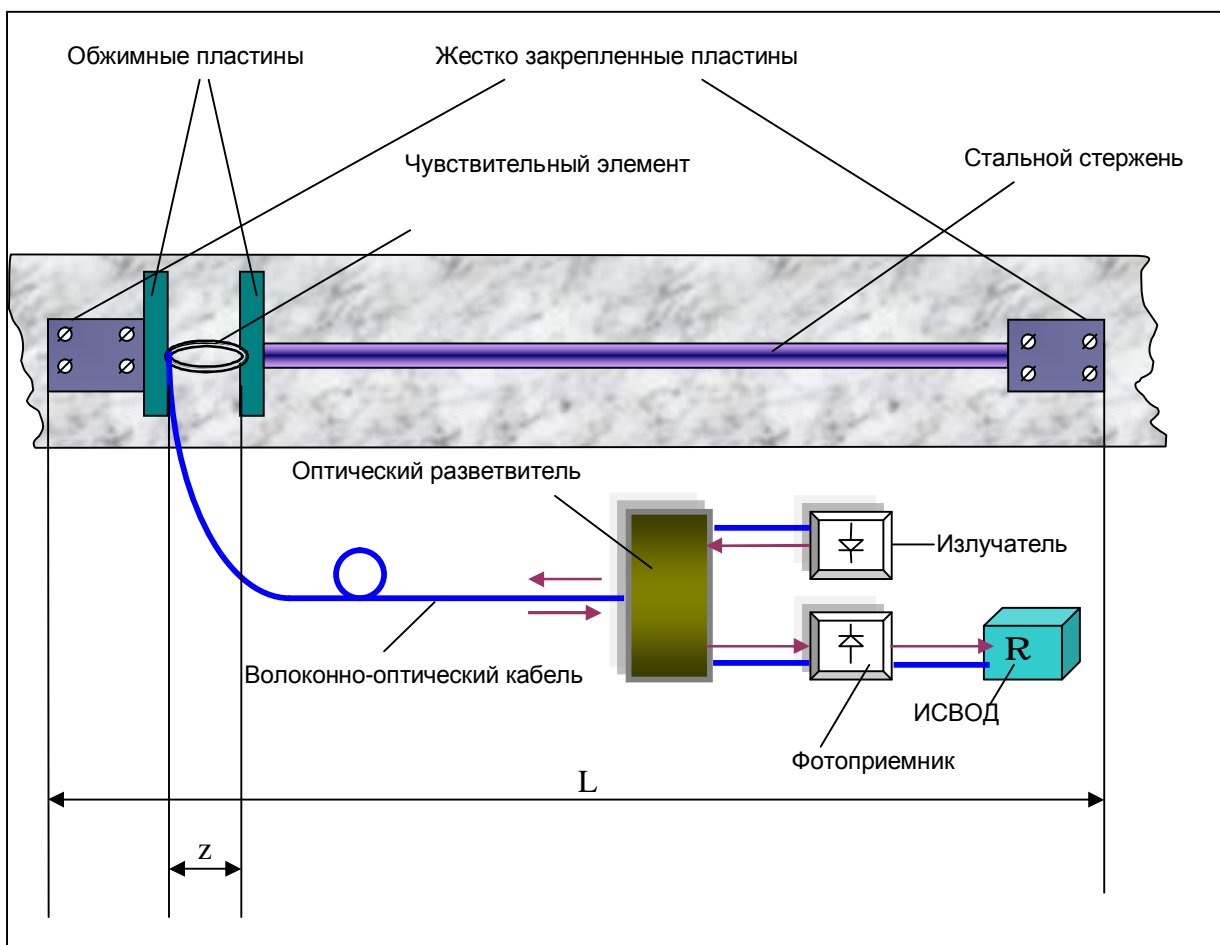


Рис. 6 Волоконно-оптический датчик деформаций стержневой

На Рис.7-8 представлена схема проведения лабораторных испытаний по измерению удлинений перемычек с помощью ВОДД-2. Схематически показан процесс образования удлинения ΔL перемычки, имеющей начальную длину L , и, соответственно, регистрации этого удлинения датчиком – вследствие перемещения стального стержня, и расхождения обжимных пластин, которые позволяют упругому преобразователю разжаться строго на

величину ΔL . Регистрируемое удлинение строго соответствует величине интенсивности принимаемого на фотоприемнике светового излучения и, соответственно, значению напряжения U на измерителе сигналов волоконно-оптических датчиков (ИСВОД).



Рис.7 Испытания ВОДД-2 на железобетонной перемычке с контролем вертикальных и горизонтальных перемещений индикаторами часового типа

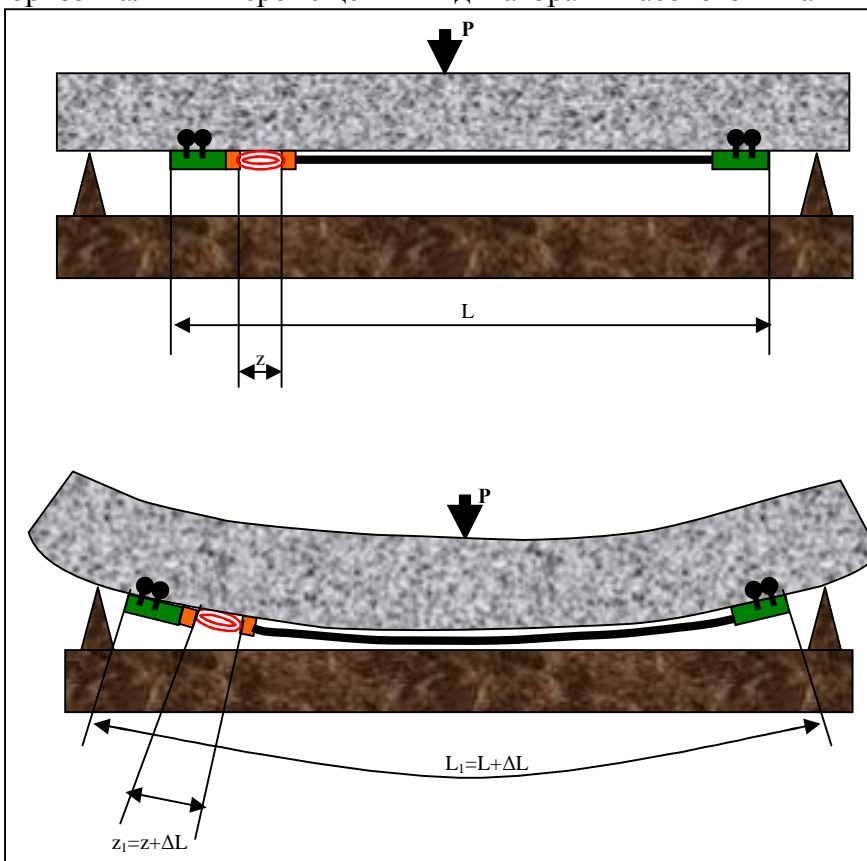


Рис.8 Схема измерения удлинения железобетонных перемычек с помощью ВОДД-2

На Рис.9 показаны величины прогибов перемычки 1ПБ-16-1 при постепенном нагружении. Индикаторы часового типа, с помощью которых производились замеры, расположены были в точках 1/5, 1/2 и 4/5 от длины перемычки. Эпюры прогибов демонстрируют симметричное нагружение. На Рис.10 представлены результаты собственно удлинения перемычки, измеренное с помощью ВОДД-2 в сравнении с расчетами.



Рис. 9 Прогибы перемычки 1ПБ-16-1 под действием нагрузки

В Некрасовской лаборатории КТБ ЖБ были произведены испытания волоконно-оптического датчика деформаций ВОДД-2. Схема испытаний была следующей. На арматурный стержень стали А500С диаметром 25 мм закреплялся датчик. Измерения сигналов производились с помощью ИСВОД (измеритель сигналов волоконно-оптических датчиков). Затем арматура с датчиком помещалась в крепления разрывной машины и арматура подвергалась растяжению (прямой ход), а затем нагрузка снималась (обратный ход). Нагрузка и разгрузка происходили пошагово, с выдержкой на каждом шаге 1 минута. Результаты испытаний представлены на диаграмме упругости (Рис.11). Отметим, прежде всего, тот факт, что качественный вид диаграммы полностью соответствует классическому виду зависимости σ - ϵ . Если говорить о количественных показателях, то предел текучести $\sigma_{0,2}$, в зависимости от завода-изготовителя стали, согласно нормам [9], находится в диапазоне 555 – 596 Н/мм², что подтверждается результатами на Рис.11.

На сегодня системы мониторинга на базе волоконной оптики, разработанные в ООО «Мониторинг-Центр», присутствуют на нескольких высотных объектах Москвы [1], в Чебоксарах, в Челябинске. Разработаны проекты и готовятся к установке системы

мониторинга в Санкт-Петербурге, Казани, Сочи. В Москве системы мониторинга на базе волоконно-оптических датчиков установлены на 38-этажном офисном блоке многофункционального комплекса «МонАрх-Центр», а также идет процесс установки на таких объектах, как здания законодательной и исполнительной власти г. Москвы ММДЦ "Москва-Сити", участок №15.1, многофункциональный комплекс класса «А» Siemens-Система АФК.

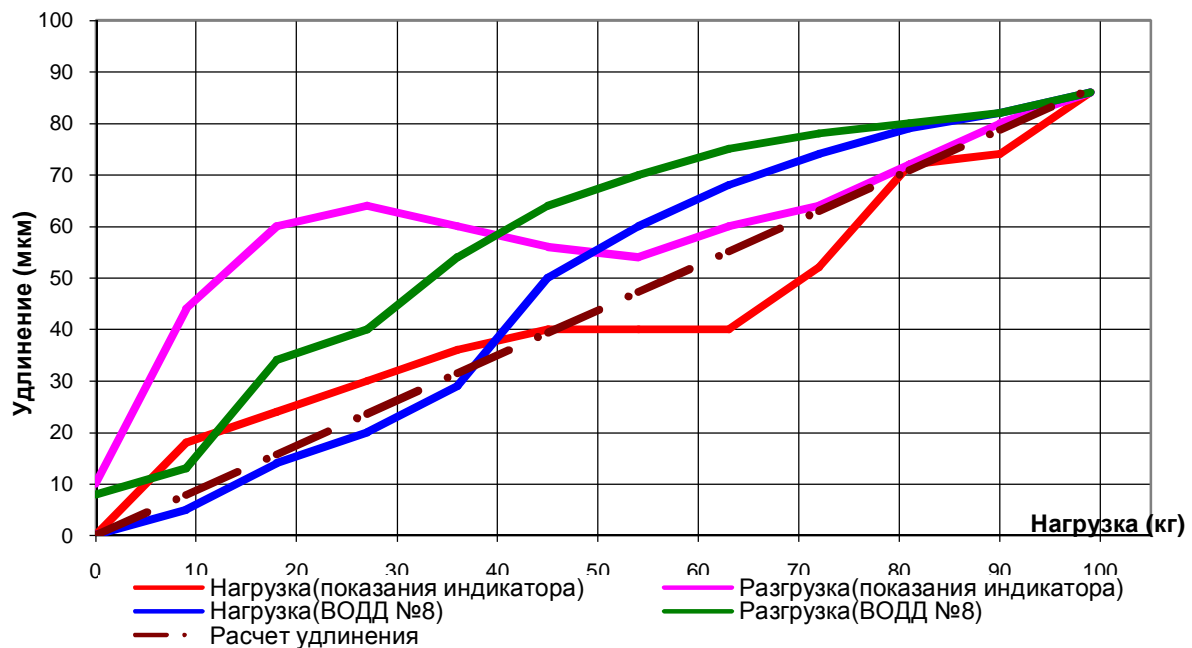


Рис.10 Измерение удлинения перемычки 8 ПБ-19-3 с помощью ВОДД-2

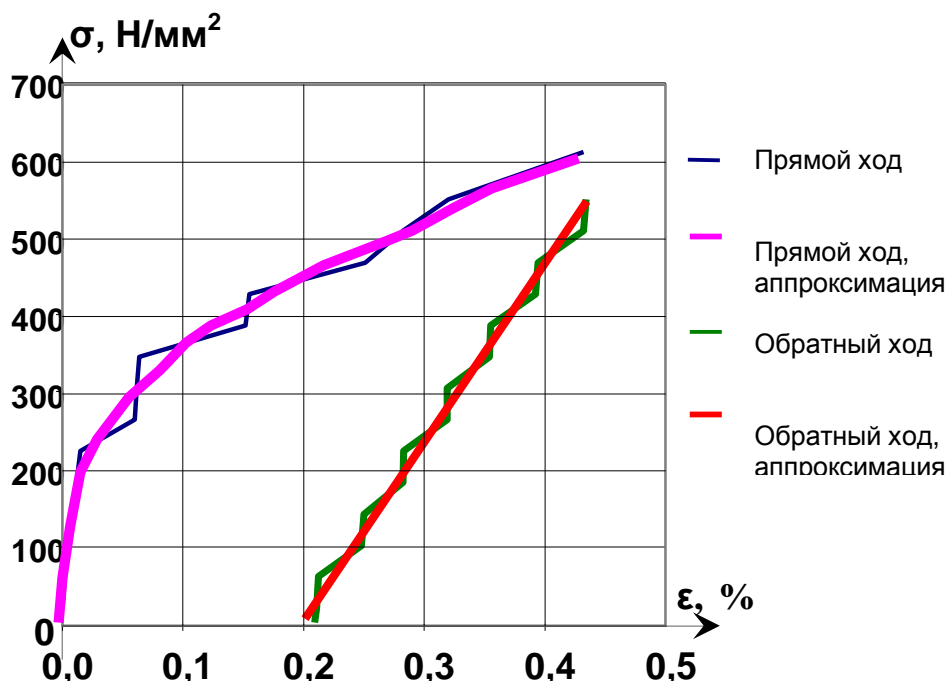


Рис. 11. Диаграмма упругости арматурной стали А500 С

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Волоконно-оптические датчики обладают высокими эксплуатационными и метрологическими свойствами для построения систем геотехнического мониторинга и мониторинга напряженно-деформированного состояния строительных сооружений.
2. Лабораторные исследования подтверждают высокие параметры точности волоконно-оптических датчиков в сравнении с расчетными моделями
3. Успешно реализован опыт построения масштабных систем мониторинга (более 500 датчиков) на базе волоконной оптики.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тер-Мартirosян З., Неугольников А. П., Егоров Ф. А., Поспелов В. И., Туляков Ю., Быковский В. А., Мониторинг напряженно-деформированного состояния многофункционального высотного комплекса волоконно-оптическими датчиками, Технологии строительства, № 2, 2007.
2. Егоров Ф. А., Поспелов В. И., Неугольников А. П., Быковский В. А., Тер-Мартirosян З. Г., Первый опыт контроля строительства высотного здания системой мониторинга на основе волоконно-оптических датчиков, Тезисы докладов VII Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию 2007.
3. Неугольников А. П., Егоров Ф. А., Поспелов В. И., Потапов В. Т., Контроль деформаций железобетонных конструкций с помощью амплитудных волоконно-оптических датчиков, LXI Научная сессия РНТО РЭС им. Попова А. С., посвященная Дню радио, Москва, 17—18 мая 2006 г., Сборник материалов.
4. Егоров Ф. А., Поспелов В. И., Неугольников А. П., Быковский В. А., Волоконно-оптические системы технического мониторинга строительных сооружений, Автоматизация зданий, № 6, 2007.
5. Inaudi D., State of the Art in Fiber Optic Sensing Technology and EU Structural Health Monitoring Projects, First International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure, Tokyo, November 13-15'(2003).
6. D. Inaudi, N. Casanova, S. Vurpillot, B. Glisic, P. Kronenberg, S. Lloret, Lessons learned in the use of fiber optic sensors for civil structural monitoring, International Journal for Restauration of Buildings and Monuments, (2001), Issue 3-4, p 301-320.

7. B. Glisic, D. Inaudi, J.M. Lau, Y.C. Mok, C.T. Ng, Long-term monitoring of high-rise buildings using long-gage fiber optic sensors , 7th International conference on multi-purpose high-rise towers and tall buildings, Dubai, UAM, December 10-11, 2005
8. Daniele Inaudi, Branko Glisic, Overview of Fiber Optic Sensing Technologies for Structural Monitoring , 15. Internationaler Ingenieurvermessungskurs, Graz, 17.-20 April, (2007).
9. Территориальные строительные нормы г. Москвы ТСН 102-00 "Железобетонные конструкции с арматурой классов А500С и А400 " (М., 2000 г.).