

УДК 621.317.39

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
БЕТОННОГО ОБРАЗЦА С ПОМОЩЬЮ ГЛУБИННЫХ ДАТЧИКОВ**

**Е.А. ТРАМБИЦКИЙ, В.А. ХВАТЫНЕЦ**  
(Представлено: канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ)

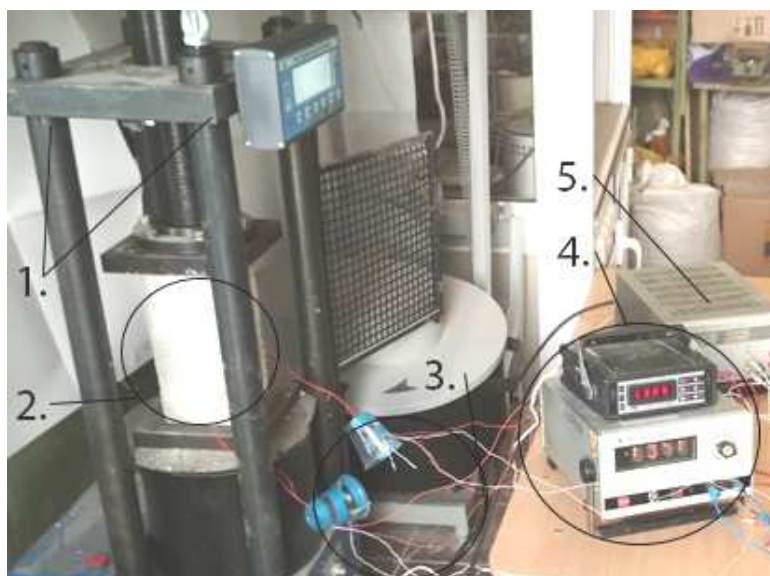
*Рассматривается вопрос эффективности использования тензодатчиков при исследовании деформационных характеристик бетона. Проведена регистрация структурных изменений бетона при нормальных напряжениях посредством глубинных тензометрических датчиков. Построен график «напряжение – деформация» для бетонной призмы с наложением на него показаний тензометрической аппаратуры.*

**Введение.** Обеспечение высокой надежности создаваемых конструкций и оптимизация параметров расчета в значительной степени определяются наличием информации о физико-механических свойствах используемых материалов [6]. Для корректного определения остаточного ресурса конструкций исходные данные необходимо определять по результатам натуральных испытаний и измерений. Однако для большинства конструкций получение достоверных исходных данных затруднено, что естественно снижает корректность расчетов. Величины напряжений, возникающих в конструкциях, как правило, принимаются по результатам формализованных расчетов, что не отражает действительной работы конструкций. Возникает необходимость искать достоверные оперативные способы получения исходных данных для расчетов непосредственно с натуральных конструкций. Выходом из создавшегося положения является применение телеметрических систем контроля за состоянием объектов [7].

В настоящее время использование тензорезисторов дает возможность следить за развитием деформаций в конструкциях. Метод тензометрирования заключается в определении напряженного состояния путем измерения деформаций, постоянных упругости и деформативности бетона с последующим вычислением напряжений [11].

**Основная часть.** Для определения напряженно-деформированного состояния бетона в качестве опытного образца использовалась бетонная призма с размерами 100×100×200 мм. Состав бетонной смеси из расчета на 1 м<sup>3</sup>: портландцемент марки 400 – 1500 кг, песок – 500 кг, вода – 300 л.

Способ изготовления глубинного датчика, его формовка и установка в тело бетона описаны в работе [13]. В лаборатории Полоцкого государственного университета была собрана испытательная установка для дальнейшего испытания бетонных образцов и определения их напряженно-деформированного состояния с помощью глубинных тензодатчиков. Общий вид установки приведен на рисунке 1.



1 – пресс гидравлический ПГМ-500МГ4А; 2 – бетонный образец с установленными глубинными датчиками; 3 – выходы проводов с глубинных датчиков; 4 – вольтметр; 5 – источник питания постоянного тока.

Рисунок 1. – Оборудование, использованное для тензометрических измерений

Измерение показателей датчиков осуществлялось с помощью тензометрической системы, выполненной по схеме «полный мост». При измерениях тензометрической аппаратурой важно обеспечить четкую запись исследуемого процесса.

Фиксация нагрузки также осуществлялась прессом гидравлическим ПГМ-500МГ4А. Пресс снабжен электрическим приводом и тензометрическим силоизмерителем. Отличительной особенностью прессы ПГМ-МГ4 являются отсутствие пульсаций в гидросистеме, микропроцессорное управление процессом нагружения, обеспечивающее автоматическое поддержание скоростей нагружения, фиксация разрушающей нагрузки, вычисление прочности с учетом масштабного коэффициента [12].

Результаты испытаний бетонной призмы фиксировались как с поверхности (с помощью гидравлического прессы ПГМ-500МГ4А), так и изнутри (при помощи вольтметра и глубинных датчиков). Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты испытаний бетонной призмы на сжатие

№ нагружения	Нагрузка, кН	Деформации, мм	Электрическое напряжение, V
1	0,92	0,601	1,27
2	8,48	1,204	1,4
3	96	1,506	1,471
4	197,64	2,018	1,483
5	247,87	2,475	1,573

По данным таблицы был построен график напряженно-деформированного состояния бетонной призмы с наложением на него показаний (рисунок 2), полученных с глубинных датчиков (рисунок 3).

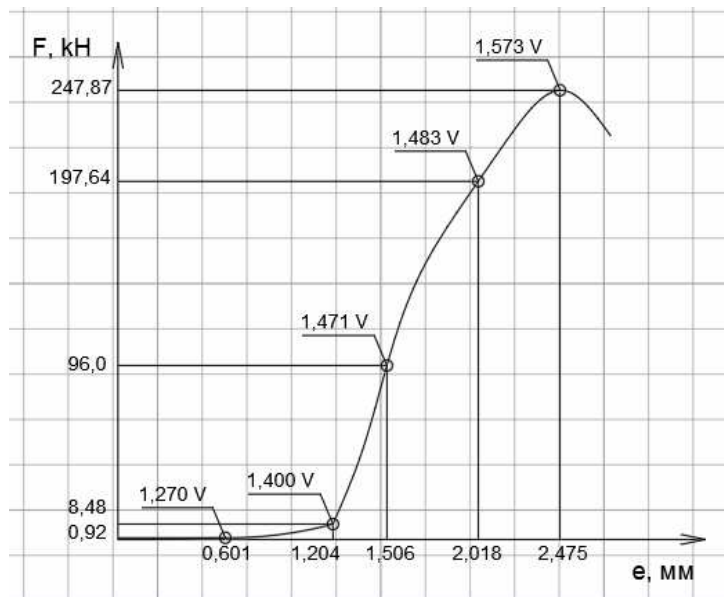


Рисунок 2. – График относительных продольных деформаций испытуемого образца



Рисунок 3 – Испытание бетонного образца с установленными в него глубинными датчиками

Из графика (см. рисунок 2) видно, что с ростом нагрузки и деформации также росли и показания вольтметра, подключенного к глубинному датчику. Из этого можно сделать вывод о том, что датчик находился в работе и воспринимал внутренние деформации бетона. Стоит отметить, что разница между нулевым и разрушающим показателем нагрузки составляет 0,303 V.

Можно предположить, что для бетона аналогичного состава с такой же прочностью на сжатие при снятии нагрузки до изменения показаний вольтметра на 0,303 V возможно избежание разрушения образца и, как следствие, конструкции. Испытание других образцов с применением глубинных датчиков будет способствовать появлению базы выходных значений, которая будет применена для оценки напряженно-деформированного состояния бетона определенного состава и характеристик в данный момент времени.

**Заключение.** В ходе проведенного эксперимента установлено, что глубинные датчики способны воспринимать деформации той среды, в которую они помещены. Требуется дальнейшее исследование и совершенствование методов фиксации и регистрации показаний с глубинных датчиков для определения напряженно-деформированного состояния бетонных образцов. Например: установка глубинных датчиков в различных направлениях развития внутренних напряжений, а именно в форме «розетки»; испытание новых форм и конструкций датчиков; применение более современных тензорезисторов.

Важным вопросом также является создание многоканальной измерительной системы, способной автоматически снимать показания сразу с нескольких глубинных датчиков, регистрировать их в журнал испытаний и обрабатывать результаты экспериментов, что существенно сократит продолжительность измерений и уменьшит трудоемкость данного процесса.

В дальнейшем планируется связать результаты, полученные на данной установке, с возможностями компьютерного моделирования, для последующей визуализации и анализа происходящих структурных изменений в теле исследуемого бетона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко, С.Ю. Применение глубинных датчиков на основе тензорезисторов при исследовании деформаций ползучести тяжелого бетона / С.Ю. Макаренко // Теория и практика расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и численные методы : материалы науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения проф. Н.Н. Леонтьева и 110-летию профессора В.З. Власова ; МГСУ. – М. : МГСУ, 2017. – С. 74–77.
2. Красновский, Р.О. О методике испытания железобетонных балок на действие поперечных сил / Р.О. Красновский // Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона, арматуры и железобетонных конструкций. – М. : Госстройиздат, 1962. – С. 160–173.
3. Исследование деформативности бетонных колонн методом глубинной тензометрии / Г.Л. Ватуля [и др.] // Зб. наук. праць Полтавського нац. техн. ун-ту ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. – к. 3 (2). – С. 30–36.
4. Ватуля, Г.Л. Определение деформаций бетона с помощью глубинных датчиков / Г.Л. Ватуля, Е.И. Галагурия, Д.Г. Петренко // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – к. 2. – С. 48–56.
5. Ватуля, Г.Л. Определение механических характеристик конструкций с помощью глубинных датчиков / Г.Л. Ватуля, Е.И. Галагурия, Д.Г. Петренко // Будівельна механіка і гідравліка : зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2016. – Вып. 138. – С. 231–235.
6. Безгодов, И.М. К вопросу о методике исследования бетона в условиях трехосного сжатия / И.М. Безгодов, И.А. Горбунов, П.Ю. Шульгин // Предотвращение аварий зданий и сооружений [Электронный журнал]. – 2010. – Режим доступа: <http://pamag.ru/src/prensa/076.pdf>.
7. Шешуков, А.Н. Применение телеметрических систем для мониторинга напряженно деформированного состояния конструкций / А.Н. Шешуков, С.В. Мальцев, Р.П. Богущ // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений : сб. науч. тр. ; под ред. Д.Н. Лазовского. – Минск, 2001. – С. 402–404.
8. Механизм проявления в бетоне собственных деформаций и напряжений / А.М. Подвальный [и др.] // Бетон и железобетон. – 2007. – № 4. – С. 13–16.
9. Физико-механические, силовые, энергетические и структуроформирующие параметры бетона / К.А. Пирадов [и др.] // Бетон и железобетон. – 2002. – № 2. – С. 10–12.
10. Инженерный анализ средствами T-FLEX [Электронный ресурс] / – 2016. – Режим доступа: <http://tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=3941>. – Дата доступа: 30.03.2018.
11. Ватуля, Г.Л. Тарировка и определение точности показаний глубинного датчика / Г.Л. Ватуля, Е.И. Галагурия, Д.Г. Петренко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – Пермь, 2014. – С. 375–380.
12. Пресс испытательный гидравлический малогабаритный ПГМ-500МГ4 [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: <http://belavalon.by/katalog/product/view/5/336>. – Дата доступа: 01.10.2018.
13. Шабанов, Д.Н. Контроль напряженно-деформированного состояния бетонных конструкций с использованием метода тензометрии / Д.Н. Шабанов, А.Н. Ягубкин, Е.А. Трамбицкий // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электрон. сб. ст. междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоц. гос. ун-т ; под ред. А.А. Бакаловича, Л.М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – С. 242–248.