

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬНЮССКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА им. ГЕДЕМИНАСА
БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (УКРАИНА)
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ г. ЛЕЙРИИ (ПОРТУГАЛИЯ)
АРИЭЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (ИЗРАИЛЬ)
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОССИЯ)

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

Электронный сборник статей
международной научной конференции,
посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета

(Новополоцк, 5-6 апреля 2018 г.)

Под редакцией
канд. техн. наук, доцента А. А. Бакатовича;
канд. техн. наук, доцента Л. М. Парфеновой

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2018

Редакционная коллегия:

А. А. Бакатович (председатель), Л. М. Парфенова (зам. председателя),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Т. И. Королева, В. Е. Овсейчик

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ [Электронный ресурс] : электронный сборник статей международной научной конференции, посвященной 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Рассмотрены организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.

Компьютерный дизайн К. В. Чулковой, В. А. Крупенина.

Технический редактор О. П. Михайлова.

Компьютерная верстка Т. А. Дарьяновой.

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

УДК 621.317.39

КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ТЕНЗОМЕТРИИ

Д.Н. Шабанов, А.Н. Ягубкин, Е.А. Трамбицкий
Полоцкий государственный университет, Беларусь
email: d.shabanov@psu.by, a.yagubkin@psu.by

Рассматривается вопрос эффективности использования тензодатчиков при исследовании деформационных характеристик бетона. Описана технология изготовления глубинных датчиков. Сделан вывод о целесообразности применения данного типа датчиков при исследовании деформирования бетона. Проведена регистрация структурных изменений при нормальных напряжениях посредством глубинных тензометрических датчиков. Для оптимизации рецептурных и технологических факторов в силикатных композициях были использованы результаты проведенного 3-факторного эксперимента

Ключевые слова: бетон, деформация, тензодатчики, глубинный датчик, мониторинг, информационное моделирование, математическое планирование.

CONTROL OF STRESSED-DEFORMED STATE OF CONCRETE STRUCTURES USING THE METHOD OF TENSOMETRY

D. Shabanov, A. Yagubkin, E. Trambitsky
Polotsk state university, Belarus
email: d.shabanov@psu.by, a.yagubkin@psu.by

In this article, the effectiveness of the use of strain gauges in the study of deformation characteristics of concrete is considered. The technology of manufacturing deep sensors is described. A conclusion is made about the advisability of using this type of sensors in the study of concrete deforming. Structural changes were recorded at normal stresses by means of deep sensors. The results of the 3-factor experiment were used to optimize the formulation and technological factors in silicate compositions

Keywords: concrete, deformation, strain gauges, deep sensor, monitoring, information modeling, mathematical planning.

Введение. Обеспечение высокой надежности создаваемых конструкций и оптимизация параметров расчета в значительной степени определяются наличием информации о физико-механических свойствах используемых материалов. В настоящее время накоплено большое количество сведений о стандартных механических характеристиках поведения бетона различной прочности [6].

Механизм разрушения бетона, как известно, связан с образованием и развитием микро- и макротрещин при действии нагрузки. Причиной появления первых микротрещин является концентрация напряжений вблизи дефектов структуры: пор, включений, дислокаций. Согласно современным представлениям микротрещины появляются при низких уровнях напряжений – $\sigma_{с} = 0,3f_{ст}$. Разрушение бетона начинается с развития трещин в контактной зоне (матрица – заполнитель) с их последующим выходом в матрицу.

Контактные трещины развиваются под действием сдвиговых, а трещины в матрице – растягивающих напряжений [4].

Все эти случаи вызываются расширением (давлением) или сжатием внутриволокнистой фазы, приводящим к деформациям структуры, затем к напряжениям, при критическом значении которых в структуре образуются трещины [8].

Для корректного определения остаточного ресурса конструкций исходные данные необходимо определять по результатам натурных испытаний и измерений. К сожалению, 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 конструкции. Возникает необходимость искать достоверные оперативные способы получения исходных данных для расчетов непосредственно с натурных 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. Благодаря простоте, дешевизне и хорошему качеству выпускаемых промышленностью тензорезисторов, этот метод нашел широкое применение в практике экспериментальных исследований строительных конструкций [11].

Результаты исследований, изложенные в работах [3-6], свидетельствуют о перспективности применения глубинных датчиков для исследования напряженно-деформированного состояния бетона. Основными преимуществами являются простота их изготовления, точность и возможность использования традиционных измерительных тензометрических систем [1].

Основной целью является: разработка эффективного средства мониторинга напряженно-деформированного состояния бетонной конструкции, а также системы, которая позволит регистрировать и обрабатывать входящие данные.

Исследовательская часть. Для решения поставленной задачи, творческим коллективом были изготовлены прототипы глубинных тензодатчиков для более детального изучения развития деформаций в бетонных образцах.

Для изготовления, основой служила методика, предложенная Р.О. Красноровским в исследовании [2]. Данное исследование также показало, что применение такого типа датчика дает хорошую сходимость экспериментальных и теоретических данных.

Полученный таким образом глубинный тензодатчик представлен на рисунке 1.

В качестве опытного образца использовалась бетонная призма с размерами 100x100x200 мм. Состав бетонной смеси из расчета на 1м³: портландцемент марки 400 – 1500 кг, песок – 500 кг, вода – 300 л.

Для фиксации датчиков в металлической форме использовалась натянутая проволока малого диаметра. Два датчика размещались взаимно перпендикулярно друг другу (по направлениям развития главных деформаций) с зазором, чтобы они не соприкасались. Схема расположения глубинных тензодатчиков в образце-призме представлена на рисунке 2.

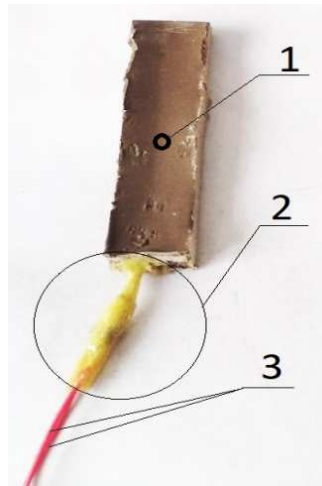


Рисунок 1. – Общий вид изготовленного глубинного датчика:
 1 – глубинный датчик; 2 – устройство изоляции, позволяющее использовать глубинные датчики в бетонных смесях; 3 – выводы проводов

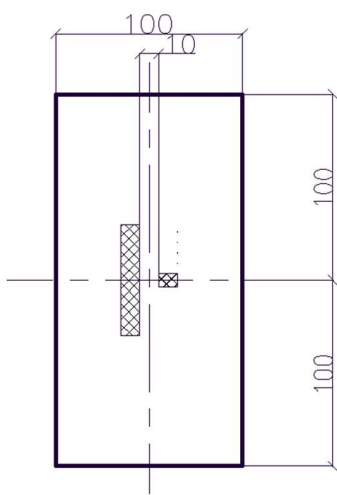


Рисунок 2. – Схема расположения глубинных датчиков в опалубке

Измерение показателей датчиков осуществлялось с помощью тензометрической системы, выполненной по схеме «полный мост».

При измерениях тензометрической аппаратурой важно обеспечить четкую запись исследуемого процесса. Перед началом и в конце измерений на вольтметре должен записываться тарировочный сигнал каждого канала аппаратуры.

Схематический вид собранной испытательной установки изображен на рисунке 3.



Рисунок 3. – Оборудование, использованное для тарирования датчиков:
 1 – вольтметр; 2 – бетонный образец с установленными глубинными датчиками;
 3 – источник питания постоянного тока

Измерение собственных деформаций бетона с применением индикатора часового типа и глубинного датчика. При контакте с жидкостью или с влажным воздухом происходит поглощение бетоном влаги путем капиллярного впитывания или капиллярной конденсации. При увлажнении, в бетоне, устанавливается капиллярное равновесие, т.е. происходит самопроизвольное внутрискруктурное перераспределение влаги. В капиллярах возникает отрицательное капиллярное давление, которое в структуре с податливыми стенками оказывает стягивающее действие на ограничивающие жидкость стенки, что приводит к значительной объемной деформации цементного камня и бетона. Если имеются препятствия проявлению набухания или они протекают неравномерно по объему, возникают напряжения. Деформации и напряжения, проявляющиеся без воздействия внешних сил и нагрузок, принято называть собственными [8].

Исследование структурных изменений бетона, удобнее всего изучить при помощи планового эксперимента. Так как выбор плана – это всегда компромиссное решение, то нами был выбран план эксперимента для полиномиальных моделей второго порядка. При решении абсолютного большинства задач анализа и оптимизации композиционных материалов необходимо получить с заданной точностью описание поведения системы. Этим условиям удовлетворяют полиномиальные модели. Полиномиальная модель должна учитывать, прежде всего, нелинейность влияния рецептурно-технологических факторов на выход и явление синергизма [9].

Анализируя результаты исследований [3–6], можно сделать вывод, что показания индикатора часового типа имеют схожую зависимость с показаниями глубинных тензодатчиков, рассмотренных ранее.

В ходе исследования собственных деформаций бетона был реализован следующий трёхфакторный эксперимент и получены данные о величине средних деформациях, испытываемых бетонными образцами под действием одноосной направленной нагрузки. Боковые грани бетонных образцов были зафиксированы, поэтому изменения регистрировались на верхней поверхности и глубинными датчиком. Факторы и уровни их варьирования для данного эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Границы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Единицы измерения	Границы варьирования		
			-1	0	+1
Процент ввода вяжущего	X ₁	%	15	20	25
Время изотермического прогрева	X ₂	Час	4	7	10
Давление пара в автоклаве	X ₃	МПа	0,8	1	1,2

Данные обработаны в программе PlanExpV13-D (рис. 4). При испытании образцов отсутствовали повторные опыты, что не позволяет напрямую оценить дисперсию воспроизводимости эксперимента.

В результате были получены следующие полиномиальные модели:

$$Y=31,659 - 2,16*x_2 + 1,714*x_3 - 2,21*x_2^2 + 5,198*x_3^2 - 11,224*x_2*x_3 \dots (1)$$

$$Y=31,659-3,23*x_1+1,714*x_3+19,572*x_1^2+5,198*x_3^2+0,664*x_1*x_3 \dots (2)$$

$$Y=31,659-3,23*x_1-2,16*x_2+19,572*x_1^2-2,21*x_2^2-7,974*x_1*x_2 \dots (3)$$

2 План трехфакторного эксперимента типа "В-D13":

№ опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр		
	x1	x2	x3	Процесс	Время	Давление	Y(u, 1)	Y(u, 2)	Y(u, 3)
1	-1	-1	-1	15	4	0,8	39,4		
2	+1	-1	-1	25	4	0,8	47,6		
3	-1	+1	-1	15	10	0,8	73,5		
4	-1	-1	+1	15	4	1,2	64		
5	-1	0,19	0,19	15	7,57	1,038	55,5		
6	0,19	-1	0,19	20,95	4	1,038	36		
7	0,19	0,19	-1	20,95	7,57	0,8	36,5		
8	-0,29	+1	+1	18,55	10	1,2	28		
9	+1	-0,29	+1	25	6,13	1,2	62		
10	+1	+1	-0,29	25	10	0,942	39		

Наименование выходного параметра: Средние деформации Число измерений в опыте: 1

Рисунок 4. – Блок расчета плана эксперимента и ввода значений выходных параметров в программе PlanExpB13-D

Для данных моделей, в программе STATISTICA 10 были построены соответствующие поверхности отклика (рис. 5).

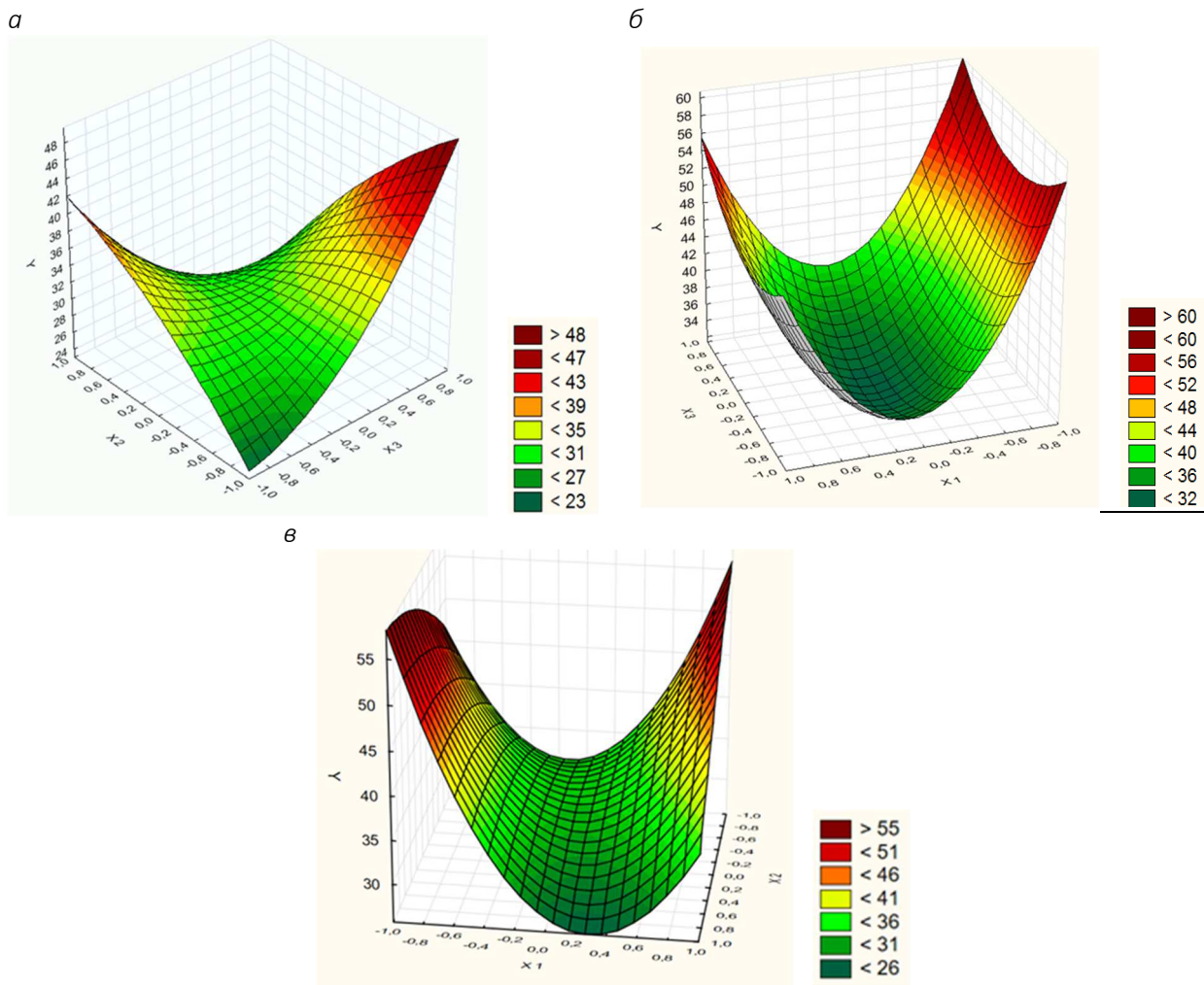


Рисунок 5. –Построенные поверхности отклика: а – x1=const; б – x2=const; в – x3=const

На основании данных поверхностей также были получены оптимальные области для фактора x_1 – 17-22,5(%); x_2 – 4-4.36(ч.), x_3 – 0,9-1,04(МПа).

По полученным экспериментальным данным, планируется выполнение компьютерного моделирования. Результаты виртуальных испытаний дадут более широкую картину происходящих процессов, чем натурный эксперимент, предоставляя больше возможностей для оптимизации и улучшения эксплуатационных характеристик. Применение численно-экспериментальных методов исследований, позволят дополнить результаты натурных испытаний результатами имитационного моделирования, которые недостижимы в натурном эксперименте [9].

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., посвященной 90-летию со дня рождения профессора Н.Н. Леонтьева и 110-летию профессора В.З. Власова. – 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.] //Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Сер. 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. Галагуря, 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. Галагуря, 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 [Электронный журнал] / И.М. Безгодов, И.А. Горбунов, П.Ю. Шульгин // Предотвращение аварий зданий и сооружений. – 2010. – Режим доступа: <http://pamag.ru/src/pressa/076.pdf>.
7. Шешуков, А.Н. Применение телеметрических систем для мониторинга напряженно деформированного состояния конструкций / А.Н. Шешуков, С.В. Мальцев, Р.П. Богуш ; под ред. Д.Н. Лазовского // Инженерные проблемы строительства и эксплуатации сооружений : сб. научн. тр. – Минск, 2001. – С. 402–404.
8. Подвальный, А.М. Механизм проявления в бетоне собственных деформаций и напряжений / А.М. Подвальный // 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: 30.03.18.
11. Ватуля, Г.Л. Тарировка и определение точности показаний глубинного датчика / Г.Л. Ватуля, Е.И. Галагуря, Д.Г. Петренко // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – Пермь, 2014. – С. 375–380.