

## МЕХАНИЗМЫ НАПРАВЛЕННОГО НАВЕДЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Елькин А.В., Выровой В.Н.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры.*

*Проведен анализ влияния геометрической формы бетонных конструкций на характер распределения остаточных (технологических, наследственных, начальных) деформаций. Выявлено, что изменяя геометрические характеристики, можно управлять распределением интегральных деформаций изделий, изменяя тем самым характер структурообразования и свойства конструкций.*

**Введение.** Технологический период получения строительных материалов самой широкой номенклатуры (материалы на основе неорганических и органических вяжущих, керамические материалы и т.п.) и переработки их в изделия сопровождается возникновением и развитием в них начальных (первичных, технологических, предварительных, остаточных) напряжений и деформаций. Эти напряжения присутствуют в изделиях и конструкциях до приложения к ним внешних нагрузок и несут ответственность за обеспечение их эксплуатационной долговечности [1, 2].

По мнению специалистов [3,4,5] одной из причин возникновения технологических деформаций являются объемные изменения твердеющего материала. При этом отмечается, что на распределение интегральных начальных деформаций оказывает влияние геометрия изделия или конструкции. Поэтому существует реальная возможность управления распределением остаточных деформаций за счет изменения геометрических характеристик изделий и конструкций. В связи с этим была определена задача анализа – исследовать влияние особенностей геометрии конструкций на развитие интегральных технологических деформаций и проанализировать это влияние на формирование свойств бетона.

**Методика проведения исследований.** Для анализа распределения технологических деформаций в строительных изделиях и конструкциях в зависимости от их геометрических особенностей использовали графо-аналитический метод. [4]

Анализ распределения интегральных технологических деформаций проводили в бетонных изделиях размером  $100 \times 150 \times 1200$  мм с различными коэффициентами формы [6, 7]. Коэффициент формы  $K_\phi$  определяли отношением длины нижней грани образца  $l_0$  к измененной длине нижней грани  $l$ :  $K_\phi = l_0/l$ . При анализе приняты следующие значения коэффициентов формы:  $K_{\phi 1} = 1,0$ ;  $K_{\phi 2} = 0,997$ .

Контролировали прочность ультразвуковым и неразрушающим методами.

Изделия изготавливали из бетона класса В25, подвижностью П4. Плотность бетона составила 2400 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 5,9%. Твердение бетонных и железобетонных изделий проходило в нормальных условиях в течение 7 суток. После распалубки изделия хранились в естественных условиях ( $t = 20 \pm 2$  °С и относительная влажность  $\varphi = 80 \pm 15$  %) в течение 360 суток.

### **Анализ механизмов формирования интегральных остаточных деформаций.**

В качестве базового изделия принят изгибаемый элемент, геометрические характеристики которого приведены на рис.1.

Применение графо-аналитического метода позволяет проследить кинетику формирования полей деформаций по мере развития собственных объемных изменений, сопровождающих твердение цементов. При анализе кинетики развития деформаций во времени исходим из предположения, что на начальных стадиях схватывания и твердения бетонная смесь в изделиях обладает связностью и пластичностью. Это дает основания считать, что на начальных этапах твердения под действием собственных деформаций может происходить формоизменение граней изделия без нарушения целостности материала. Последующие деформации должны проявляться на гранях с измененной формой, что должно отразиться на характере формирования интегральных полей остаточных деформаций.

На рис. 1 показан поэтапный процесс формирования технологических деформаций в изгибаемых элементах с  $K_f = 1$ .

На рис. 2 показан поэтапный процесс формирования технологических деформаций в изгибаемых элементах с  $K_f = 1$ .

Изменение формы не привело к снижению градиентов деформаций, что должно уменьшить тем самым, способность материала конструкции к нарушению собственной целостности. Для экспериментального подтверждения проведенного анализа были определены прочностные свойства бетонных балок. Испытания проводились неразрушающими методами по определению скорости прохождения ультразвука и при помощи прибора ИПС-МГ 4.03. Скорость ультразвука в каждой точке вычисляли как среднее из трех определений. По методике определения прочности при сжатии, при помощи прибора ИПС-МГ 4.03, среднее значение вычисляли из шести показаний. Определена скорость ультразвука в бетонных балках с  $K_f = 1$  и  $K_f = 0,997$ .

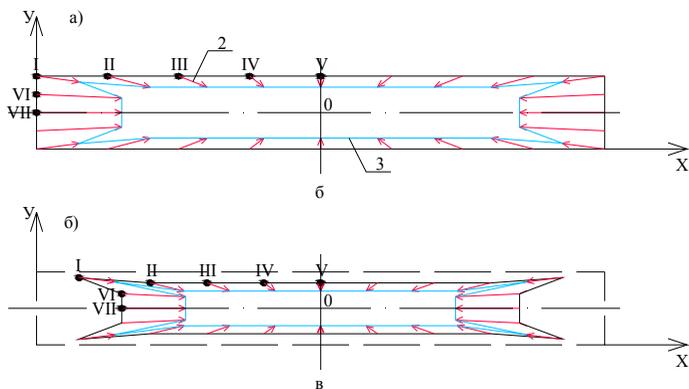


Рис. 1 Характер формирования интегральных полей интегральных остаточных деформаций в базовой балке:  
 а – начальный этап формирования технологических деформаций;  
 б – последующий этап развития технологических деформаций  
 2 – результирующая перемещений выделенных точек; 3 – конфигурация полей остаточных деформаций; I...VII – выделенные точки на поверхности центрального сечения.

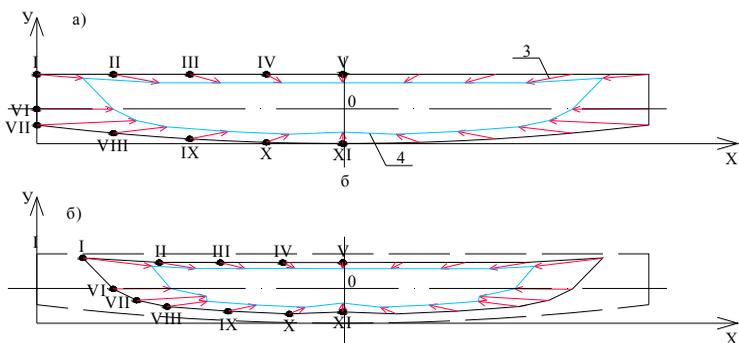


Рис. 2. Характер формирования интегральных полей интегральных остаточных деформаций в балке с измененной гранью  
 а – начальный этап формирования технологических деформаций;  
 б – последующий этап развития технологических деформаций  
 3 – результирующая перемещений характерных точек;  
 4 – вид полей остаточных деформаций; I...XI – выделенные характерные точки для анализа относительной величины и направления деформаций.

На рис. 3 приведена схема расположения характерных точек на бетонных балках в которых определяли скорость прохождения ультразвука и прочность при сжатии.

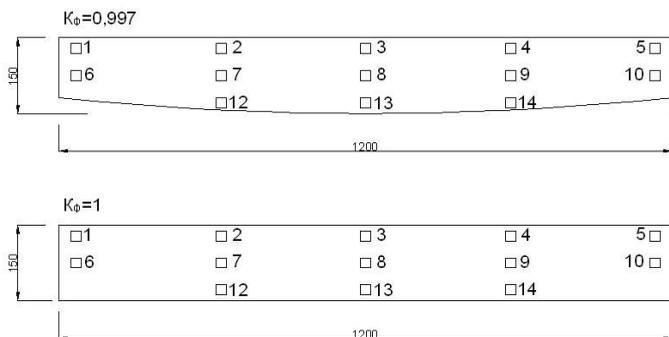


Рис.3. Точки измерения скорости в бетонных балках с  $K_{\phi}=0,997$  и  $K_{\phi}=1$

В табл. 1 приведены результаты по изменению скорости ультразвука в бетонных балках с различными коэффициентами формы нижней продольной грани.

Анализ результатов показывает, что скорость ультразвука в различных точках в бетонной балке с  $K_{\phi}=1,0$  практически одинаковы. Это свидетельствует о достаточно равномерными значениями скорости ультразвука, как вдоль балки, так и по ее различным сечениям.

Скорость ультразвука в балке с измененной формой нижней грани вдоль грани с  $K_{\phi}=1,0$  (точки 1, 2, 3, 4, 5) практически не изменяются по сравнению с балкой  $K_{\phi}=1,0$ . По мере перехода к нижней грани балки скорость ультразвука увеличивается до 11 %. Максимальных значений скорость ультразвука достигает в точках 12, 13, 14.

Проведенные исследования позволяют заключить, что при изменении коэффициента формы одной из продольных граней балки происходит такое распределение остаточных деформаций, при котором происходит самоуплотнение твердеющего бетона, о чем свидетельствует увеличение скорости ультразвука.

Результаты определения прочности бетона в выделенных точках с разными коэффициентами формы при помощи прибора ИПС-МГ4.03 приведены в табл.2.

Анализ полученных результатов показывает, что изменение прочности при сжатии бетона в балке с  $K_{\phi}=1,0$  не превышает 11 %. Прочность бетона в центральном сечении балки с  $K_{\phi}=1,03$  (точки 12, 13, 14) изменяет-

ся на 12,5 МПа. При этом увеличение прочности до 32 % (точка 13) соответствует участку бетонной балки с повышенной скоростью прохождения ультразвука. Проведенные исследования подтвердили влияние геометрических особенностей изгибаемого элемента на перераспределение в нем остаточных деформаций, что самопроизвольно приводит к изменению плотности и прочности бетона по сечению изделия.

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют заключить, что изменение характера формирования технологических деформаций за счет изменения геометрических характеристик изгибаемых элементов вызывает изменение прочности бетона по сечению изделия.

Экспериментальные исследования показали, что скорость ультразвука на трансформируемой грани балки выше по сравнению со скоростью ультразвука на ровной грани. При этом прочность бетона увеличилась до 32 %.

Распределение объемных изменений, вызванных физико-химическими превращениями твердеющих вяжущих, определяется формой образца, изделия или конструкции, формируя поле остаточных (наследственных, технологических, начальных) деформаций. При этом происходит взаимовлияние различных по виду и природе явлений и процессов, обуславливающих создание интегральной структуры образцов.

#### Литература

1. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168 с.
2. В.М. Виноградов. Остаточные напряжения в деталях из пластических масс / Ж. Пластические массы, 1975, №4. – С.20-31
3. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Фиц С.Б. Бетон в условиях ударных воздействий. Одесса: Внешрекламсервис, 2004.–270 с.
4. Остаточные деформации и их роль в формировании свойств композиционных материалов и конструкций. Выровой В.Н., Макарова С.С., Мартынов В.И., Дорофеев А.В., Острая Т.В., Резникова Л.И. / Сб. науч. тр. Современные строительные конструкции из металла и древесины. Часть 2. – Одесса – 2006. – С. 6-13.
5. Выровой В.Н., Дорофеев В.С., Суханов В.Г. Моделирование конструкций как сложных систем // Вестник ОГАСА, выпуск № 28, 2007. – С. 64 – 70.
6. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. Остаточные напряжения: теория и приложения. – М.: Наука, 1982. -112 с.
7. Острая Т.В., Выровой В.Н. Характер распределения технологических деформаций в строительных изделиях // Вестник ОГАСА, выпуск № 27, 2007. – С. 252 – 260.
8. И.А. Биргер. Остаточные напряжения / И.А. Биргер. - М.: Машгиз, 1963.-232 с.
9. Роуланс Р. Остаточные напряжения / Роуланс Р. // Экспериментальная механика. - М.: Мир, 1990. - С. 283-335.
10. Давиденков Н.Н. Об остаточных напряжениях / Давиденков Н.Н. // Заводская лаборатория. - 1935. - IV. - №6. - С. 688-693.

Таблица 1. Изменение скорости ультразвука в сечениях бетонных призм с различными значениями коэффициентов форм.

Балки с разл. Кф.	Скорость ультразвука, м/с, в точках															
	№ т.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кф=1		23,4	24	23,1	22,6	22,9	23,5	23	22,9	24,3	23,4	22,7	22,7	21,8	22,5	21,6
Кф=0,997		24,1	23,3	23,8	25	25,8	24,5	24	24	23,5	24,1	-	25,2	24,5	24,5	-

Таблица 2. Влияние коэффициентов формы балок на изменение прочности бетона

Балки с разл. Кф.	Предел прочности бетона при сжатии, МПа, в точках															
	№ т.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кф=1		35,6	35,8	34,9	35,6	34,8	39,2	36,1	36,2	37,1	36,2	35,9	36,1	37,0	36,8	35,9
Кф=0,997		35,8	36,1	38,0	35,9	34,0	40,0	38,8	38,9	45,0	41,0	-	43,0	48,5	47,0	-