

УДК 624.048

## ФОРМА ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ОДНООСНОМ КРАТКОВРЕМЕННОМ СЖАТИИ

Е.С. СЕРГЕЕВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ)

В статье рассматриваются известные зависимости влияния относительных деформаций бетонов на напряжения, создающиеся в бетоне. На базе существующих зависимостей, с помощью программного комплекса Mathcad 15.0, были получены и проанализированы различные формы диаграмм деформирования бетона при одноосном кратковременном сжатии.

В современном мире бетон и железобетон все еще занимают лидирующие позиции и остаются основными конструкционными материалами, занимая приоритетные места в общей структуре мирового производства строительной продукции.

Бетон достаточно прочен, долговечен и надежен, однако являясь композитным материалом, все перечисленные преимущества будут зависеть непосредственно от его внутренней структуры. Бетон является композитным трехфазным искусственным камнем, который состоит из твердой (крупный и мелкий заполнитель), жидкой (вода, а также коллоидный раствор продуктов гидратации цемента) и газообразной (воздух) фаз, а также вяжущего, в качестве которого используют цемент. Важно создать как можно более идеальную структуру с минимальным количеством пор и микротрещин, поскольку именно структура бетона главным образом будет влиять на прочностные свойства бетона.

Именно диаграмма деформирования может показать механические свойства бетона. Такие диаграммы можно представить в виде математической зависимости. Сегодня существуют разные варианты их описания. Составляющими зависимостей являются базовые характеристики бетонов, полученные в результате испытаний образца.

Изучив уже известные зависимости деформаций и напряжений, используя программный комплекс Mathcad 15.0, были получены разные формы диаграмм деформирования бетона. Использованы базовые характеристики бетонов такие как: относительные деформации:  $\varepsilon_{\sigma 1}$  – относительные деформации, соответствующим пиковым напряжениям диаграммы;  $\varepsilon_{\text{гн}}$  – предельные относительные деформации бетона при сжатии, а также  $E_0$  – начальный модуль упругости бетона.

Получены следующие результаты:

1. На основе формулы Ящука В.Е. [2]. Применяется для определения напряжений в упругопластических материалах:

$$\sigma(\varepsilon) := R_1 \cdot \left( 1 - e^{-E_0 \cdot \frac{\varepsilon}{R_1}} \right), \quad (1)$$

где  $E_0$  – начальный модуль упругости;  
 $R_1$  – конечная прочность бетонного образца.

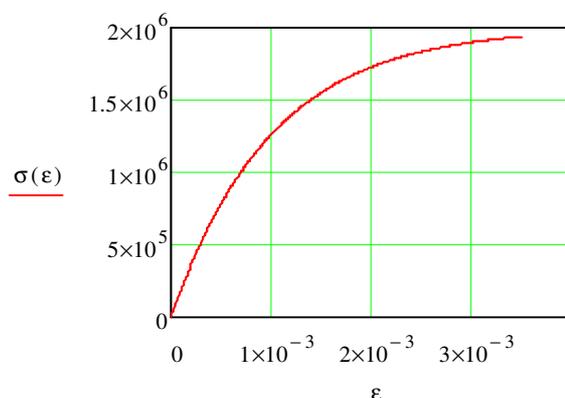
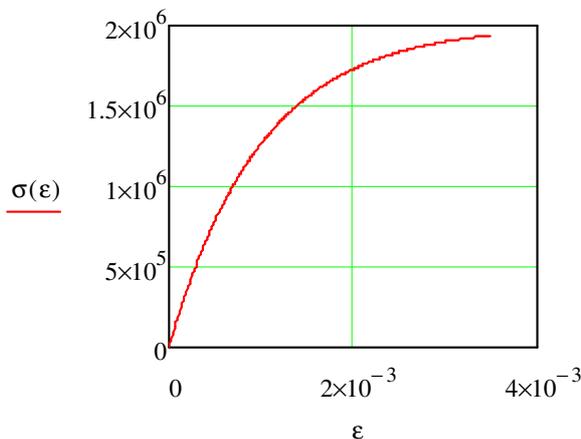


Рисунок 1. – Первая диаграмма деформирования (по В.Е. Ящуку)

2. На основе формулы Мурашкина Г.В., Мурашкина В.Г. [3,4]. Преимущество данной формулы в том, что она сочетает в себе как экспериментальные данные (коэффициенты), так и теоретические нюансы:

$$\sigma(\varepsilon) := \alpha \cdot \varepsilon^b \cdot \exp\left(b \cdot \frac{\varepsilon}{p}\right) \tag{2}$$

где  $\alpha$ ,  $b$ ,  $p$  – коэффициенты, определяющиеся из расчетных предпосылок, заложенных в [5].

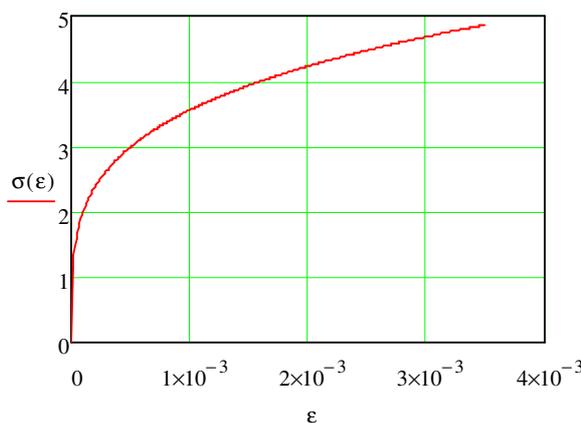


**Рисунок 2. – Вторая диаграмма деформирования (по Г.В. Мурашкину, В.Г. Мурашкину)**

3. На основе формулы А. Е. Шейкина [6]. Здесь идет учет того, что деформации ползучести бетона прямо пропорциональны величине напряжений в нем и времени действия нагрузки:

$$\sigma(\varepsilon) := \frac{\varepsilon}{E_0} + \alpha \cdot \varepsilon^2 \tag{3}$$

где  $E_0$  – начальный модуль упругости бетона;  
 $\alpha$  – коэффициент пропорциональности в соответствии с [5].



**Рисунок 3. – Третья диаграмма деформирования (по А.Е. Шейкину)**

4. На основе самой первой формулы (после закона Гука), предложенной в 1729 г. Г. Б. Бюльфингером, в последующем записанной в виде [7]:

$$\sigma(\varepsilon) := A \cdot \varepsilon^k \tag{4}$$

где:  $A$  – константа, имеющая размерность напряжений;  $k$  – показатель степени (безразмерная величина; из материала с произвольным значением  $k$ , можно автоматически получить решение для линейно-упругой и жесткопластической конструкции).

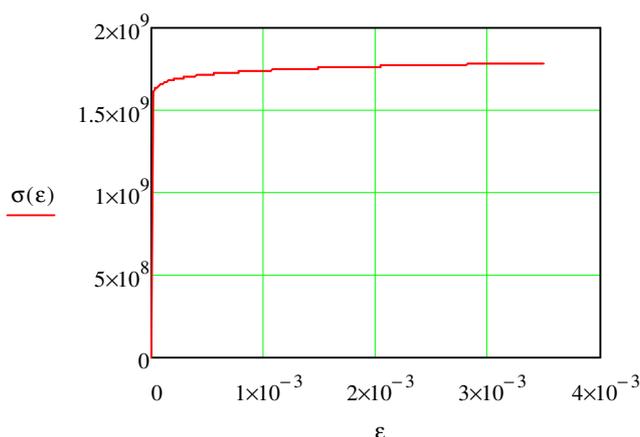


Рисунок 4. – Четвертая диаграмма деформирования (по Г.Б. Бюльфингеру)

5. На основе формулы М. Сарджина, рекомендованной Евро-Интернациональным комитетом по бетону (ЕКБ-ФИП), заложенной в [9]:

$$\sigma(\epsilon_1) := \frac{k \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_{10}} - \left( \frac{\epsilon_1}{\epsilon_{10}} \right)^2}{1 + (k - 2) \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_{10}}} \cdot f, \quad (5)$$

где:  $f$  – средняя прочность в возрасте 28 сут., табл. 3.1 [9];

$\epsilon_1$  – относительная деформация;

$\epsilon_{10}$  – относительная деформация при максимальном (пиковом) значении напряжения в соответствии с табл. 3.1 [9].

$$\eta := \frac{\epsilon_1}{\epsilon_{10}} \quad (6)$$

$$k := \frac{1.05 E_1 \cdot \epsilon_{10}}{f}. \quad (7)$$

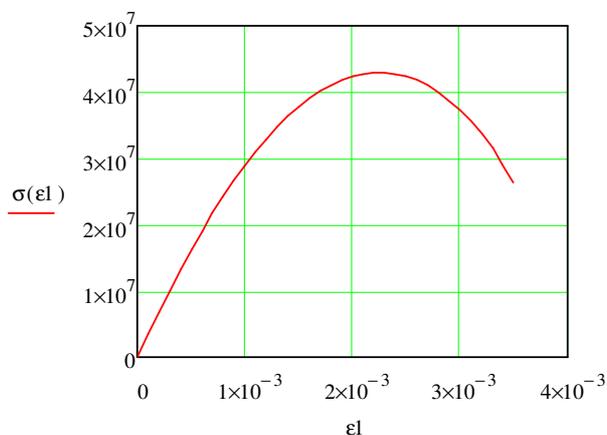


Рисунок 5. – Пятая диаграмма деформирования (по ТКП EN 1992-1-1-2009)

**Заключение.** Проанализировав основные зависимости напряжений от относительных деформаций, были получены диаграммы различного очертания. Более подробно исследовались некоторые из них. Различия в очертании объясняется тем, что зависимости описываются разными составляющими: в (2) это преимущественно константы, определяемые приблизительно, а, к примеру, (1) описывается фактическими характеристиками образца. Анализ результатов показывает возможность использования диаграмм одноосного кратковременного сжатия бетона для расчета железобетонных элементов. Применение нелинейной диаграммы деформирования бетона дает возможность определения значения прочности образца, величин напряжений в различных слоях бетона при уже известных значениях относительных деформаций. Это может оказаться полезным при расчетах эксплуатируемых конструкций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пецольд Т.М., Тур В.В. Железобетонные конструкции. Основы теории расчета и конструирования: учебное пособие для студентов строительных специальностей. – Брест, БГТУ, 2003 – 69–71 с.
2. Экспериментальные исследования инженерных сооружений. – Издательство «НАУКА» М., 1973.
3. Мурашкин Г. В., Мурашкин В. Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы НДС // Изв. вузов. Сер.: Стр-во и архитектура. – 1997. – № 10, 4–6 с.
4. Мурашкин Г. В., Алешин А. Н., Гимадетдинов К. И. Тяжело нагруженные полы из бетона, твердеющего под давлением // Изв. вузов. Строительство – 1995 – № 12, 136–139 с.
5. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции – М. Стройиздат, 1985 – 18 с.
6. Шейкин А. Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона, труды МИИТ, вып. 69, Трансжелдориздат, 1946., – 48–52 с.
7. Лукаш П. А. Основы нелинейной строительной механики М.: Стройиздат, 1978 – 202 с.
8. ТКП EN 1992-1-1-2009. Проектирование железобетонных конструкций – Минск: Стройтехнорм, 2009, – 17 с.