

## СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ БЕТОНА

Азизов Т.Н. (*Уманский государственный педагогический университет имени Павла Тычины, г. Умань*)

**В статье приводится способ получения диаграмм состояния бетона с учетом нисходящей составляющей. Описан принцип конструирования установки для получения характеристических точек диаграммы « $\sigma$ - $\varepsilon$ ».**

**Постановка задачи и анализ исследований.** Использование в практике проектирования реальных диаграмм деформирования бетона « $\sigma$ - $\varepsilon$ » сдерживается из-за отсутствия надежных экспериментальных данных о ее параметрах [1,2,4]. Имеется достаточно большое количество методов получения диаграммы сжатия бетона, однако они имеют те или иные недостатки, приводящие к значительным погрешностям в закритической области [1].

В патенте [3] предложен способ получения полных диаграмм бетона в специально разработанной и запатентованной установке, которая являет собой шаг вперед в исследовании диаграмм состояния бетона. Однако и она имеет тот недостаток, что бетонный образец на начальной стадии загружается самостоятельно, а металлический кондуктор включается в работу на последних (близких к критическим) стадиях работы бетонного образца. Это связано с фактом, что если образец с самого начала будет работать совместно с металлическим кондуктором, то уже при деформациях  $\varepsilon_{BR} = 0.002$  напряжения в элементах кондуктора будут превышать расчетное сопротивление мягкой стали, из которой как правило изготавливаются установки.

В связи с вышесказанным целью настоящей статьи является разработка способа получения полных диаграмм сжатия бетона, при котором металлические элементы кондуктора загружаются совместно с исследуемым бетонным (или железобетонным) образцом с самого начала и до его полного разрушения.

**Изложение способа.** Схема предлагаемой установки показана на рис. 1.

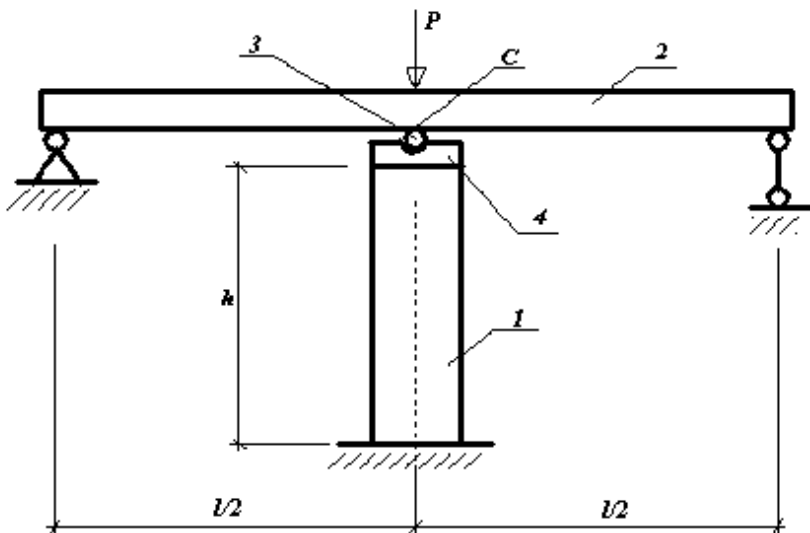


Рис.1. Схема установки для получения полных диаграмм бетона

Нагрузка  $P$  прикладывается не непосредственно к испытываемому бетонному (или железобетонному) образцу 1, а через траверсу 2 в виде статически определимой шарнирно опертой балки пролетом  $l$ . Бетонная призма может иметь оголовки 4 из листовой стали с выемкой для шарика 3, предназначенного для шарнирной передачи центральной сжимающей силы. Пролет балки  $l$  и ее изгибная жесткость  $EJ$  должны подбираться так, чтобы на всем диапазоне от нуля до максимальных деформаций бетонного образца  $\varepsilon_{b,\max}$  балка работала в упругой стадии.

Прогиб балки в точке  $C$  (в середине пролета – см. рис. 1) всегда будет равняться абсолютному перемещению бетонной призмы. Измерение перемещений в точке  $C$  в принципе вполне достаточно для построения диаграммы « $\sigma$ - $\varepsilon$ », хотя можно дополнительно на призму установить приборы для измерения перемещений.

Допустим, что при приложении внешней силы  $P$  траверса в середине пролета прогнулась на величину  $\Delta h$ . Тогда сила  $N = P - X$  (где  $X$  – сила, приходящаяся на бетонный образец) может быть определена по известному выражению сопротивления материалов:

$$N = \frac{\Delta h \cdot 48 \cdot EJ}{l^3}. \quad (1)$$

Или, сила, приходящаяся на призму:

$$X = P - \frac{\Delta h \cdot 48 \cdot EJ}{l^3}, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости материала балки.

Диаграмма « $\sigma$ - $\varepsilon$ » строится при различных значениях силы  $P$ , а следовательно и  $X$ . При этом  $\sigma = X / A$  ( $A$  – площадь сечения призмы);  $\varepsilon = \Delta h / h$  ( $h$  – высота призмы – см. рис. 1).

При подборе сечения балки следует учитывать не только ее деформативность, но и прочность. При действии сосредоточенной силы в середине пролета (см. рис. 1) как известно условие прочности имеет вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{N \cdot l}{4W} \leq R, \quad (3)$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения балки;  $R$  – расчетное сопротивление материала балки.

Для симметричных сечений, как известно, соотношение между моментом инерции сечения  $J$  и моментом сопротивления  $W$  выглядит:

$$W = \frac{J}{a/2} = \frac{2J}{a}, \quad (4)$$

где  $a$  – высота сечения балки.

Для определения необходимого пролета балки  $l$  и ее момента инерции  $J$  следует решить совместно систему уравнений (1) и (3) с учетом (4) относительно неизвестных  $J$  и  $l$ . Решение этой системы дает выражения:

$$l = \sqrt{6 \cdot \Delta h \cdot a \cdot \frac{E}{R}}; \quad \text{а)}$$

$$J = \frac{N \cdot l \cdot a}{8R} \quad \text{б)} \quad (5)$$

Определенные по (5) пролет  $l$  и момент инерции  $J$  являются значениями, при которых действие силы  $N$  с одной стороны вызовет возникновение максимальных напряжений  $\sigma_{\max} = R$ , а с другой

стороны – вызовет требуемое перемещение середины пролета  $f = \Delta h$ .

Для придания запаса деформативности можно увеличить в  $k$  раз момент сопротивления балки  $W$  и ее пролет  $l$ . При этом ее прочность останется неизменной, а деформативность возрастет, т.к. прочность зависит от пролета линейно (см. формулу 3), а жесткость – в третьей степени (формула 1). Кроме того можно придать необходимый запас прочности балки на случай внезапного разрушения призмы. Разница зависимостей прочности и деформативности от пролета балки позволяет исследователю свободно варьировать различными прочностными и деформативными характеристиками балки.

Рассмотрим пример подбора пролета и жесткости траверсы. Пусть бетон испытываемого образца имеет призмную прочность  $R_b = 10$  МПа ( $1000 \text{ Н/см}^2$ ); размеры образца  $150 \times 150 \times 600$  мм (стандартная призма). Тогда максимальная разрушающая сила

$$N = X_{\text{max}} = R_b A = 225 \text{ кН.}$$

Максимальная деформативность бетона, как известно, составляет  $\varepsilon_{b,\text{max}} \approx 0.0035$ . Тогда максимальное абсолютное перемещение призмы составит

$$\Delta h = \varepsilon_{b,\text{max}} h = 0.0035 \cdot 600 = 2.1 \text{ мм} = 0.21 \text{ см}$$

Зададимся высотой сечения балки  $a = 30$  см.

Определим пролет траверсы по формуле 5, а:

$$l = \sqrt{6 \cdot 0.21 \cdot 30 \cdot \frac{21000000}{21000}} = 194.4 \text{ см,}$$

где модуль упругости стали  $E = 21000000 \text{ Н/см}^2$ ; расчетное сопротивление стали  $R = 21000 \text{ Н/см}^2$ .

Момент инерции траверсы определим по формуле 5, б:

$$J = \frac{225000 \cdot 194.4 \cdot 30}{8 \cdot 21000} = 7810 \text{ см}^4$$

Момент сопротивления сечения по (4):

$$W = \frac{2J}{a} = \frac{2 \cdot 7810}{30} = 520.6 \text{ см}^3$$

По сортаменту подбираем двутавровую балку №33 с геометрическими характеристиками  $J = 9840 \text{ см}^4$ ;  $W = 597 \text{ см}^3$ .

Момент сопротивления балки в 1.146 раз больше требуемого значения. Увеличим во столько же раз (с округлением) пролет балки и примем его равным 220 мм.

Проверим прочность балки

$$\sigma = \frac{N \cdot l}{4W} = \frac{225000 \cdot 220}{4 \cdot 597} = 20728 < R = 21000 \text{ Н/см}^2,$$

т.е. прочность балки обеспечена.

Теперь определим перемещение середины балки

$$\Delta h = \frac{N \cdot l^3}{48 \cdot EJ} = \frac{225000 \cdot 220^3}{48 \cdot 21000000 \cdot 9840} = 0.24 > 0.21 \text{ см.}$$

Как видим, при сохранившейся достаточной прочности мы получили деформативные возможности с запасом.

Пусть теперь требуется получить диаграмму для бетона класса В35. Нормативная призмная прочность такого бетона составляет примерно 200 кг/см<sup>2</sup>.

Предварительную высоту сечения балки примем равной 450 мм. Предварительный расчет по вышеприведенной методике дает нам предварительные требуемые значения:  $W = 1275.6 \text{ см}^3$   $J = 28701 \text{ см}^4$ . По сортаменту подбираем двутавровую балку №50 с геометрическими характеристиками:  $W = 1589 \text{ см}^3$   $J = 39727 \text{ см}^4$ . При этом теоретический требуемый пролет  $L = 2966$  мм. Принимаем пролет равным 2950 мм. При окончательном расчете получаем, что максимальные напряжения в балке составляют 2088 кг/см<sup>2</sup>, что меньше расчетного сопротивления мягкой стали, из которой изготовлена балка, а максимальное перемещение при силе, требуемой для разрушения образца и изгиба балки, составляет  $f_{\text{max}} = 0.288$  см, что больше требуемого максимального перемещения призмы, равного 0.21 см.

Таким образом, мы показали, что достаточно простые расчеты позволяют подобрать достаточно прочную и деформативную балку для получения четких данных на диаграмме сжатия бетона.

При подборе геометрических характеристик балки следует провести серию расчетов для выбора безопасных напряжений (в т.ч. при внезапном обрушении призмы) и необходимой деформативности.

Перед испытанием следует также протарировать установку загрузением в упругой стадии.

Преимущества предложенного способа по сравнению с [3] очевидны, т.к. с самого начала загрузения образца и до его полного разрушения он деформируется совместно с траверсой и нет

надобности вмешательства в процесс испытания, как это предполагается в [3]. Это позволит получить четкие значения всех точек диаграммы « $\sigma$ - $\varepsilon$ », включая  $\varepsilon_{bR}$  и  $\varepsilon_{bu}$ .

Конструировать установку можно при помощи двух перекрестных траверс, можно использовать пластиковые материалы и т.д. Другими словами, установка позволяет подобрать характеристики ее элементов при каких угодно соотношениях их деформативности и прочности.

### **Выводы и перспективы исследований.**

Предложенный способ получения экспериментальных диаграмм сжатия бетона отличается своей надежностью получения параметрических точек диаграмм без риска влияния субъективного фактора экспериментатора.

В перспективе следует провести расчеты для предложения прочностных и деформативных характеристик испытательной установки с обеспеченной прочностью и деформативностью, разработку универсальных установок для всех видов бетона, а также получение новых диаграмм « $\sigma$ - $\varepsilon$ » с использованием предложенного способа и их сравнение с диаграммами, полученными известными ранее способами.

### **Литература**

1. Бамбура А.Н., Гурковский А.Б. К построению деформационной теории железобетона стержневых систем на экспериментальной основе // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 59 – Київ: НДІБК, 2003. – С. 121-130.

2. Роговий С.І. Проблеми дослідження і реалізації діаграм стану бетону в теорії розрахунку залізобетонних конструкцій // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 59 – Київ: НДІБК, 2003. – С. 137-142.

3. Спосіб одержання повних діаграм стану: Патент України 55204 А, МКІ Е04С1 / 04 \ Роговий С.І., Круглий Д.В., Пахомов Р.І. (Україна) № 2002076000. Заявл. 19.02.2002; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3 – 3 с.

4. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. НИИСК Госстроя СССР / Бамбура А.Н.