

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИАГРАММЫ СДВИГА БЕТОНА

Азизов Т.Н., *д. т. н., профессор*, Вильданова Н.Р., *аспирант*

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

### **Анализ публикаций и постановка задачи.**

Важность изучения крутильной жесткости элементов мостов, зданий и сооружений показана во многих работах [1, 6, 7, 9]. Показано также, что крутильная жесткость элементов с нормальными трещинами практически не изучалась. Перераспределение усилий в многократно статически неопределимых системах зависит как от крутильной, так и от изгибной жесткостей их элементов [1, 9].

Показаны способы решения задачи определения жесткости железобетонного элемента с нормальными трещинами. Одним из наиболее достоверных и общих способов является способ с применением программных комплексов (таких, как, например, «Лира»), в которых реализован метод конечных элементов.

В последних работах автора [3, 4] исследованы нелинейные свойства при рассмотрении задач о кручении железобетонных элементов с нормальными трещинами при кручении. При этом изменение модуля сдвига  $G$  осуществляется за счет теоретической зависимости от модуля упругости бетона  $E$  [4]. Однако и в [4] сказано, что такие зависимости должны быть проверены экспериментально.

Известно, что использование в практике проектирования реальных диаграмм деформирования бетона « $\sigma$ - $\epsilon$ » сдерживается из-за отсутствия надежных экспериментальных данных о ее параметрах [2, 5, 8]. Имеется достаточно большое количество методов получения диаграммы сжатия бетона, однако они имеют те или иные недостатки, приводящие к значительным погрешностям в закритической области [2]. В работе автора [2] предложен простой и доступный способ экспериментального получения диаграммы сжатия бетона. Получение же диаграммы сдвига бетона экспериментальным путем не рассматривалось.

В связи с вышесказанным **целью настоящей статьи** является разработка экспериментальной методики получения полной диаграммы сдвига бетона для использования при расчетах, связанных с определением крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами.

### Изложение основного материала.

В статье автора [2] описан новый способ экспериментального построения диаграмм сжатия бетона. Способ позволяет получить стабильные значения деформаций на нисходящей ветви диаграммы. Рассмотрим способ получения диаграммы сдвига бетона, аналогичный описанному в [2].

Схема предлагаемой установки показана на рис. 1.

Нагрузка  $P$  прикладывается не непосредственно к испытываемому бетонному образцу 1, подверженному кручению с консолью 4, а через траверсу 2 в виде статически определимой шарнирно опертой балки пролетом  $l_b$ . Под траверсой находится шарнир 3 в виде стального шарика, предназначенного для шарнирной передачи крутящей силы. Пролет балки  $l_b$  и ее изгибная жесткость  $EJ$  должны подбираться так, чтобы на всем диапазоне от нуля до максимальных перемещений конца консоли 4 от закручивания образца 1 балка 2 работала в упругой стадии.

Прогиб балки в середине пролета (рис. 1) всегда будет равняться абсолютному перемещению конца консоли 4. Измерения перемещений в этой точке в принципе вполне достаточно для построения диаграммы « $M_t$ - $\varphi$ » (где  $M_t$  – крутящий момент,  $\varphi$  – угол закручивания испытываемого бетонного образца), хотя можно дополнительно установить приборы для измерения перемещений.

Алгоритм проверки сечения траверсы, удовлетворяющего необходимой прочности и деформативности, имеет следующий вид.

Задается длина консоли 4  $l_k$ ; длина образца 1  $l_c$ ; упругий (первоначальный) модуль сдвига бетона  $G$ ; прочность бетона при растяжении  $R_{bt}$ ; момент инерции  $J_b$ , момент сопротивления  $W_b$ , расчетное сопротивление материала  $R_{bt}$  и модуль упругости  $E$  металлической траверсы 4; предельная сосредоточенная сила, которую способна воспринять металлическая траверса 4:  $P_p = 4R_{bt}W_b/l_b$ ; коэффициент запаса  $K_z$ , предназначенного для возможно большего (чем расчетное) деформирования испытываемого образца; момент инерции  $J_t$  и момент сопротивления  $W_t$  при кручении испытываемого образца 1 (желательно сечением в виде кольца).

1. Определяется максимально возможный крутящий момент

$$M_{t, \max} = R_{bt} W_t K_z \quad (1)$$

2. Определяется максимально возможная сила на конец рычага 2, закручивающая образец



3. Максимально возможный угол закручивания

$$\varphi_{max} = M_{t,max} l_c / GJ_t \quad (3)$$

$$\Delta_{max} = \varphi_{max} l_k \quad (4)$$

4. Далее задается цикл для варьирования силы  $P$  от какого-то минимального до максимально возможного (из предварительных расчетов) значения.

5. Из условия равенства перемещений середины траверсы 4 и конца консоли 2 определяется неизвестная сила  $X$  (рис. 2):

$$X = \frac{P \cdot l_b^3 / 48EJ}{l_k l_c / GJ_t + l_b^3 / 48EJ} \quad (5)$$

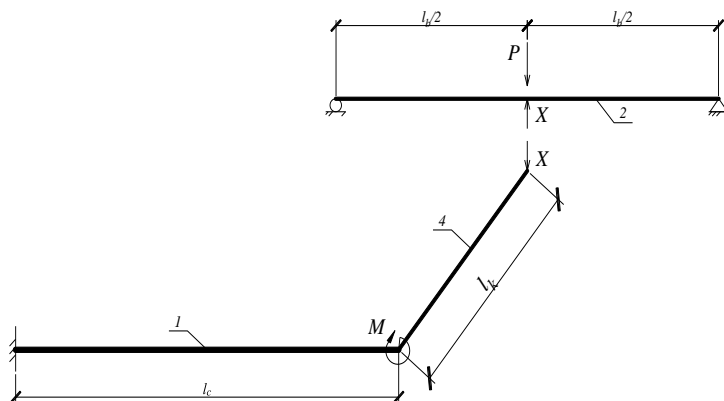


Рис. 2. Схема усилий в статически неопределимой системе «траверса-испытываемый на кручение образец»

6. Перемещение середины пролета траверсы 4:

$$\Delta = \frac{(P - X) l_b^3}{48EJ} \quad (6)$$

Если выполняется условие  $X \leq N_{max}$ , а также условие  $P \geq P_p$  то расчет заканчивается и значение  $X$  выводится на печать. Если эти условия не выполняются, то расчет повторяется с п. 4 с увеличением силы  $P$  на определенную величину.

При подборе геометрических характеристик балки следует провести серию расчетов для выбора безопасных напряжений (в т.ч. при вне-

запном обрушении бетонного образца) и необходимой деформативности.

Перед испытанием следует также протарировать установку загрузением в упругой стадии.

Преимущества предложенного способа очевидны, т.к. с самого начала загрузки образца и до его полного разрушения он деформируется совместно с траверсой и нет надобности вмешательства в процесс испытания. Это позволит получить четкие значения всех точек диаграммы « $M$ - $\varphi$ », включая предельные значения и значения на нисходящей ветви.

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 сдвига бетона отличается своей надежностью получения параметрических точек диаграмм без риска влияния субъективного фактора экспериментатора.

В перспективе предполагается апробация установки и проведение экспериментальных исследований по получению нелинейной диаграммы сдвига бетона и определению на ее основе крутильных жесткостей железобетонных элементов с трещинами.

### **Summary**

**The paper describes the way of experimental construction of the concrete shear diagram. This method allows to obtain the stable values of deformations on the descending branch of the diagram and differs with its simplicity.**

### *Литература*

1. Азизов Т.Н. Жесткость железобетонных элементов при кручении и ее влияние на пространственную работу мостов // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій// Збірник наукових

праць. НАН України. Фізико-мех.інститут ім.. В.Г. Карпенка. – Львів, 2009. – С. 576-590

2. Азизов Т.Н. Способ построения диаграмм состояния бетона // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 28 – Одеса: ОДАБА, 2007. – С. 3-8.

3. Азизов Т.Н., Мельник О.В., Червинський О.Я. НДС залізобетонних коробчатих балок з нормальними тріщинами при крученні з врахуванням не лінійності // Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Вип. 2011-4(90). Макіївка, 2011. – С. 18-23.

4. Азизов Т.Н., Парамонов Д.Ю. Расчет прочности при кручении железобетонных элементов с нормальными трещинами с применением диаграммы деформирования бетона// Проблемы современного бетона и железобетона. Матер. III международного симпозиума (Минск, 9-11.11.2011). Том. 1. – С. 20-24.

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

6. Горнов В.Н. Исследование прочности и жёсткости сборных железобетонных перекрытий из лотковых настилов // Материалы и конструкции в современной архитектуре. – М.: Стройиздат, 1950.

7. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчёт несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. – М.: Стройиздат, 1977. – 223 с.

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

9. Срібняк Н.М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами// Автореф. дис. ... канд..техн.наук: 05.23.01. Одеса, 2009. – 23.