

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВНОЇ ДІАГРАМИ ЗСУВУ БЕТОНУ

Азізов Т.Н., Вільданова Н.Р.

Одеська державна академія будівництва та архітектури  
м. Одеса, Україна

**АНОТАЦІЯ:** У процесі експериментальних досліджень в лабораторних умовах на базі ОДАБА вперше отримані параметричні точки низхідної гілки діаграми зсуву бетону при чистому крученні елементу кільцевого перерізу.

**АННОТАЦИЯ:** В процессе экспериментальных исследований в лабораторных условиях на базе ОГАСА впервые получены параметрические точки нисходящей ветви диаграммы сдвига бетона при чистом кручении для элемента кольцевого сечения.

**ABSTRACT:** The parametric points of the stress-strain diagram for the concrete in pure torsion have been defined in the course of the tests of the concrete cylinders under laboratory conditions on the basis of the Odessa State Academy of Building and Architecture. First the points of the descending branch of this diagram have been received.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Крутильна жорсткість, деформації пластичності, діаграма зсуву бетону, низхідна гілка діаграми зсуву, чисте кручення.

### ВСТУП

**Актуальність дослідження** зумовлена значним впливом жорсткості елементів за дії кручення на перерозподіл зусиль в елементах перекриттів, для яких характерна просторова робота. Сучасні дослідники залізобетонних конструкцій надзвичайну увагу приділяють вишукуванню із дослідження міцнісних характеристик матеріалів, а також вивченню впливу згинальної жорсткості на НДС конструкцій. Науковці (В.С.Дорофєєв, М.І.Карпенко, В.М.Кобринець, Т.А.Мухамедієв, В.М.Совгіра, І.О.Узун, Т.П.Чистова, О.Ф.Яременко, Н.Н.Ячменєва,

В.Е.Яшук та ін.) інтенсивно вивчають і розробляють дво- і трилінійні діаграми стиску бетону, в той же час стан бетону за умов кручення не є дослідженим в рівній мірі; відсутнє врахування фактичних умов роботи конструкцій, що вимушені опиратись дії не лише згину і стиску, але і кручення (наприклад, при будь-якому несиметричному завантаженні елементів просторових конструкцій прольотних будов мостів, перехресно-ребристих систем, як-то вплив характеру розподілу зусиль перекриттів на бортові балки тощо). У програмних комплексах, відповідно, враховується зміна згинальної жорсткості  $EI$  на різних етапах стану бетону і ігнорується зменшення крутильної жорсткості  $GI$ . Окрім того, як показує автор у своїх дослідженнях [1, 2], на крутильну жорсткість значно впливають нормальні тріщини, що виникають в елементах конструкцій від згину: у вищезазначених роботах автора і його учнів детально розроблялась методика розрахунку залізобетонних елементів з тріщинами при впливі згину і кручення.

**Новизна** даної роботи полягає в дослідженні безпосереднього впливу зміни модуля зсуву бетону з урахуванням деформацій пластичності на крутильну жорсткість конструкцій, що дозволить використовувати більш точну діаграму роботи бетону при зсуві у практичних розрахунках, підвищуючи точність і економічність проєктів.

Існуючі теоретичні вишукування процесів, що розвиваються при крученні елементів ЗБК, як правило, не мають взагалі або мають недостатньо експериментальних підтверджень [4-7]. Тому **метою даної роботи** є експериментальне визначення модуля зсуву  $G_c$  з урахуванням нелінійних властивостей бетону. Розглядаючи діаграму зсуву бетону, що встановлює залежність між напруженнями і кутовими деформаціями бетону при короткочасній дії одноразово прикладеного навантаження до граничних руйнуючих значень, маємо її також розглядати і використовувати як узагальнену характеристику механічних властивостей бетону, подібно діаграмі стиску (рис. 1).

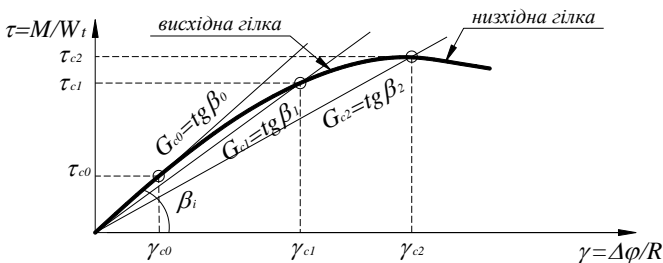


Рис. 1. Загальний вигляд деформування бетону при чистому короткочасному крученні

Сучасна нормативна база передбачає розрахунок конструкцій за пружними жорсткісними характеристиками – але залізобетонні елементи не є суцільними пружними тілами, через що цей розрахунок не відповідає справжній картині роботи елементів і вимагає удосконалення, вірної оцінки жорсткісних характеристик ЗБЕ з урахуванням непружних деформацій, розвитку тріщин, а також вимагає дослідження характеру роботи модуля зсуву на різних етапах навантаження конструкції і впровадження результатів у практику [2, 3].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

*Методика отримання діаграми зсуву бетону* детально наведена у роботі [1]. Принцип і основні положення полягають у використанні траверси для контрольованої передачі зусиль на бетонний зразок (від 0,1 до руйнуючого з частішанням до 0,033 на останніх ступенях). Сутність процедури отримання повної діаграми зсуву і стиску бетону єдина. Складність полягає в експериментальному визначенні параметричних точок низхідної гілки діаграми після проходження пікової точки напружень через необхідність використання спеціального обладнання внаслідок раптового руйнування зразку і неможливості дослідження низхідної гілки (для проведення випробувань необхідні додаткові пристрої).

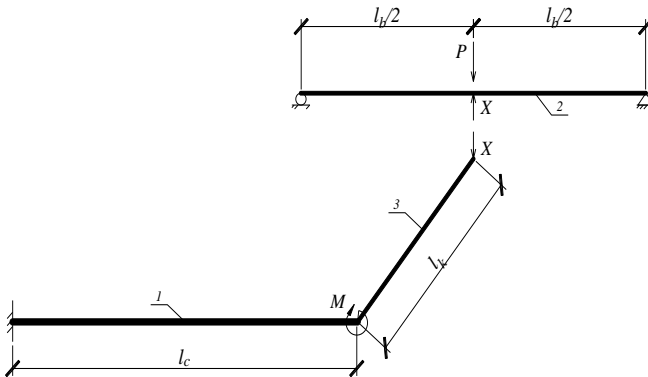


Рис. 2. Схема зусиль у статично невизначеній системі «траверса - зразок, який випробується на кручення»:

1 – бетонний зразок (циліндр-вісімка); 2 – траверса, за допомогою якої контролюється зусилля на циліндр; 3 – важіль для створення необхідного крутного моменту на «вісімку»;

$P$  – сила, прикладена до траверси;  $X$  – сила, що передається на бетонний циліндр через важіль 3;  $M$  – крутний момент, який сприймає досліджуваний зразок

Проте простіший у виконанні спосіб для достатнього отримання параметричних точок діаграм був розроблений автором [1], при цьому навантаження передається через спеціальну траверсу. На рис. 2 наведена схема, яку використано при отриманні низхідної гілки діаграми за чистого кручення.

Переваги даного способу отримання параметричних точок діаграми зсуву бетону забезпечені завдяки сумісній деформації зразку з траверсою з самого початку завантаження і відсутності необхідності втручання у процес випробування, що дозволяє отримати чіткі значення точок діаграм  $M-\varphi$  і, відповідно,  $\tau-\gamma$ , уникаючи похибок системи «експериментатор – дослідний зразок».

**Експериментальна робота** полягала у випробуванні на кручення дев'яти зразків: трьох серій по три циліндри (рис. 3). Характеристики

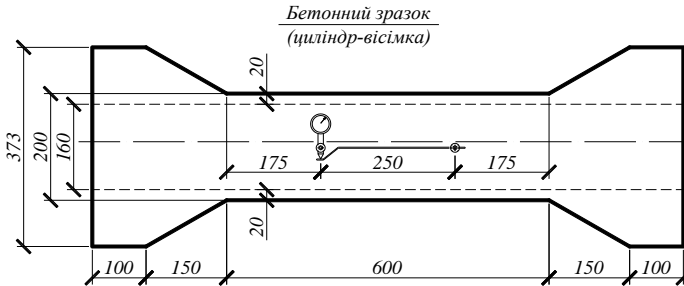


Рис. 3. Геометричні дані бетонного зразка

бетону для всіх зразків: клас С16/20,  $f_{ck}=15,3236$  МПа,  $f_{ctk}=1,3328$  МПа,  $E_{ck}=2275,961$  МПа. Геометрія зразків (рис. 3): в усіх серіях зовнішній діаметр складав  $D=20$  см, а внутрішній у 1-й серії  $d_1=11$  см, у 2-й –  $d_2=14$  см, у 3-й –  $d_3=16$  см, і, відповідно, товщина стінки циліндра дорівнювала  $t_1=4,5$  см,  $t_2=3$  см,  $t_3=2$  см. Для надійного закріплення і з метою запобігання руйнуванню зразків у припорних зонах торці були розширені і армовані (А300С,  $\varnothing=1$  см): зовнішній діаметр для всіх зразків складав 37,3 см, а внутрішній дорівнював внутрішньому діаметру зразків. Довжина досліджуваної зони складала 60 см. Для визначення деформацій зразку з обох сторін циліндра за допомогою епоксидної смоли були прикріплені індикатори з базою 25 см.

У всіх випадках спіральна просторова тріщина кручення розвивалася з мікротріщини, яка утворювалась від кінця арматурного стрижня під кутом  $45^\circ$  на останніх етапах завантаження перед досягненням бетоном зразків граничної короточасної міцності; тріщина розвивалась не стрімко,

повне руйнування відбувалось наприкінці експерименту, при отриманні останніх точок низхідної гілки.

Отримано результати, які зводяться у графіки  $M_r-\varphi$  і  $\tau-\gamma$ . Нижче наведена результуюча усіх випробувань діаграма  $\tau-\gamma$  (рис. 4), оскільки вона характеризує не лише стан поточних міцнісно-деформативних характеристик бетону і геометрії зразку, а має фундаментальний характер і є істотно важливою при визначенні і дослідженні НДС бетонних конструкцій.

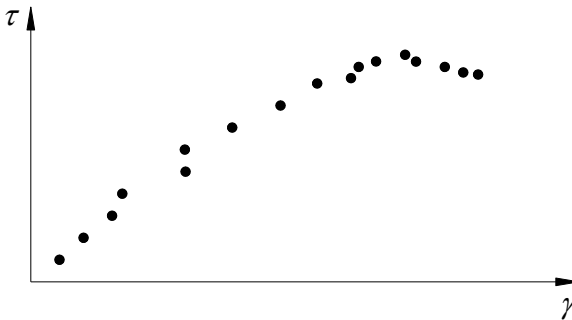


Рис. 4. Експериментальні параметричні точки діаграми зсуву бетону

**Аналіз досліджень експериментальних зразків.** Загальний вигляд діаграм зсуву і стиску тотожний, відміни просліджуються у коефіцієнтах пружньоопластичності [4, 7], через що певною мірою змінюється форма діаграми. При дослідженні кручення слід розглядати його як складний напружено деформований стан, при якому внутрішні зусилля розвиваються не лише у площині одного перерізу, як ідеалізовано представляється при зсуві. У прилягаючих волокнах під кутом  $45^\circ$  розвиваються і стиск з розтягом у протилежних частинах перерізу, тому відбуваються і зм'яття бетону від стиску, і виникнення тріщини від розтягуючих напружень за границею міцності матеріалу. Аналіз (рис. 4) свідчить про те, що низхідна гілка діаграми  $\tau-\gamma$  значно коротша за низхідну гілку діаграми  $\sigma-\varepsilon$  при стиску. Це пов'язано з тим, що бетонний зразок руйнується від дії розтягуючих напружень. Аналогію можна прослідити у «розтягнутій» частині діаграми  $\sigma-\varepsilon$ , де низхідна її частина значно коротша.

Відтак, методика, запропонована у [7], підтверджує свою достовірність, але на даному етапі досліджень автори рекомендують обривати діаграму, оскільки далі зразок руйнується, що може свідчити

саме про подібність роботи бетону після досягнення граничних внутрішніх зусиль за крученні роботі матеріалу за зсуві.

## ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Перерозподіл зусиль в системах, що деформуються просторово, впливає на крутильну жорсткість, яка недостатньо досліджена при наявності в елементах нормальних тріщин і ігнорується зазначання нею впливу від зміни модуля зсуву на різних етапах роботи конструкції, що накладає відбиток на нормативні розрахунки і моделі роботи залізобетону, закладені у програмні комплекси.

2. Аналіз діаграми на даному етапі досліджень свідчить про необхідність обмеження деформацій  $\gamma$ .

3. З метою врахування зсувної жорсткості для внесення змін у норми і сучасні методики розрахунку необхідно експериментальне підтвердження існуючих теоретичних методик розрахунку діаграми зсуву бетону і їх вдосконалення згідно з експериментальними даними. Значення даної роботи полягає у проведенні експерименту і отриманні даних для подальших досліджень крутильної жорсткості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Азизов Т.Н. Экспериментальное определение нелинейной диаграммы сдвига бетона / Т.Н. Азизов, Н.Р. Вильданова // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. - Вип. 46. - Одеса: ОДАБА, 2012. - С. 3-8.
2. Азизов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий / Азизов Т.Н. - К.: Науковий світ, 2001. - 276 с.
3. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций методом конечных элементов / Залесов А.С. - М.: ЦПП, 2008. - 20с.
4. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Карпенко Н.И. - М.: Стройиздат, 1976. - 208 с.
5. Коуэн Г.Д. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне / Г.Д. Коуэн. - М., 1972.
6. Тимофеев Н.И. Расчет железобетонных конструкций при сложных деформациях / Тимофеев Н.И. - К.: Будівельник, 1985. - 128 с.
7. Яременко О.Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані / О.Ф.Яременко, Ю.О. Школа. - Одеса: ОДАБА, 2010. - 136 с.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2013 р.