

**ЗНАЧЕННЯ СІЧНОГО МОДУЛЯ ЗСУВУ БЕТОНУ
У СКЛАДІ КРУТИЛЬНОЇ ЖОРСТОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО
ЕЛЕМЕНТУ З НОРМАЛЬНИМИ ТРІЩИНАМИ**

**Азізов Т.Н., д.т.н., проф., Парамонов Д.Ю., к.т.н.,
Вільданова Н.Р., аспірант**

Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса

Врахування реальної роботи конструкції, а не лінійного наближення, при дослідженні впливу кручення дуже важливе через істотний, іноді критичний вплив на роботу конструкції. При просторовій роботі конструкції зусилля перерозподіляються в залежності від згинальної EI і крутильної GI жорсткостей. Вплив згинальної жорсткості на просторову роботу і перерозподіл зусиль в елементах конструкцій активно вивчається. Проте фактор крутильної жорсткості залишається недослідженим незважаючи на те, що вже вітчизняні вчені Гібшман М.Е., Лантух-Лященко А.І., Назаренко Б.П., Пастернак П.Л., Проскуряков Л.Д., Тріфонов І.А., Улицький Б.Е. та ін., які досліджували просторову роботу конструкцій, відзначають зазнавання нею впливу крутильної жорсткості. Лише останні роки автор [2,4-5] вивчає фактор крутильної жорсткості на основі проведених досліджень просторової роботи, наголошуючи на істотному впливі крутильної жорсткості на перерозподіл зусиль в елементах просторової системи. У ході вишукувань на основі теорії просторової роботи залізобетонних перекриттів [5] були розроблені чисельно-аналітично методики визначення крутильної жорсткості при крученні коробчастого [6] і трикутного [7] перерізів, а також методика визначення НДС при крученні та згині з крученням залізобетонних елементів прямокутного перерізу з нормальними тріщинами [8]. Наявність тріщин не дозволяє блоку елемента працювати як цілісному перерізу [4]: нелінійність виражається вже у змінненні не лише модуля пружності, а і моменту інерції перерізу, який неможливо враховувати лінійно за формулами опору матеріалів. Дотичні напруження не можуть бути визначені у перерізі залізобетонного елемента з тріщиною [4]: оскільки суцільність перерізу порушена, некоректно враховувати момент інерції перерізу розмірами $x \times b$, адже в цьому випадку ми лінійно намагаємось описувати нелінійні процеси, що призводить до повної невідповідності розрахунків реальній картині роботи елементів. Тому був запропонований [2] метод розрахунку крутильної жорсткості

через деформації і переміщення блоків, розділених один від одного тріщиною (рис.1).

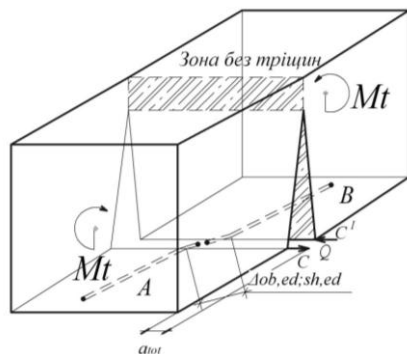


Рис.1. Схема деформування арматури та взаємного повороту блоків залізобетонного елемента (ЗБЕ) з нормальною тріщиною

Суть методики визначення жорсткості елементів з тріщинами згину полягає у тому, що після утворення нормальних тріщин, коли крутний момент передається з блоку на блок через стиснуту від згину зону бетону та поздовжню арматуру (якщо є стиснута), необхідно визначити невідомі переміщення блоків відносно суміжних, а через переміщення – крутильну жорсткість елемента.

При цьому у вищезазначених роботах не приймається до уваги **змінення модуля зсуву бетону** внаслідок розвитку деформацій пластичності в бетоні, від чого і крутильна жорсткість ЗБК при просторовому розрахунку конструкцій обчислена для модуля зсуву $G=const$.

Жорсткість є характеристикою деформативності конструкції і прямо пропорційно залежить від геометричних характеристик перерізу і модулів деформативності матеріалів, тому при розрахунках елементів без тріщин і після їх утворення важливо враховувати як змінення моменту інерції, так і зниження модуля зсуву бетону внаслідок розвитку пластичних деформацій. **Крутильна жорсткість**, яка впливає на перорозподіл зусиль у просторових системах, ще недостатньо досліджена при наявності в елементах нормальних тріщин; не враховано зазначаня 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. У роботах [3-9] наведені результати вивчення крутильної жорсткості ЗБЕ при змінній геометрії перерізу внаслідок утворення тріщин. Т.ч. дослідники [3-9] свідчать про істотний вплив крутильної жорсткості на перерозподіл

зусиль при просторовій роботі конструкцій, але не враховують зміну модуля зсуву бетону через розвиток деформацій пластичності, що не зникають повністю після припинення дії зовнішніх сил.

Тому на даному етапі досліджень необхідно вдосконалити розроблені методики розрахунків введенням січного модуля зсуву замість початкового, тобто для більшої точності розрахунків у методиках мають враховуватись пластичні деформації, які розвиваються у бетоні із зростом рівня завантаження.

У роботі [8] розроблено **методику розрахунку жорсткості і міцності залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при згині з крученням**, яка враховує перерозподіл зусиль і змінення крутильної жорсткості ЗБЕ. Згідно неї був визначений фактичний розподіл згинальних і крутильних жорсткостей у ребрі, розрахованих з урахуванням тріщиноутворення. Апроксимаційна методика дозволяє достотно описати діючі в конструкції моменти: врахування фактору тріщиноутворення істотно впливає на розподіл крутильних (до 69%) і згинальних (до 36%) жорсткостей у ребрі. Методика [8] передбачає врахування впливу крутильної жорсткості залізобетонних елементів на перерозподіл зусиль, але січний модуль зсуву при вивченні перерозподілу зусиль на кожній ітерації не враховано. Для дослідження впливу змінення модуля зсуву на просторову роботу плитно-ребристих систем нижче наведені результати розрахунків плити з нормальними тріщинами за цією методикою з урахуванням січного модуля зсуву бетону і без, яка передбачає ітераційне змінення модуля зсуву бетону. Січний модуль зсуву бетону враховано за методикою О.Ф.Яременка [10], перевіреною експериментально [1].

Методика базується на тому, що зусилля між кінцевими елементами з тріщиною згину передаються його нетріснутою, цілісною частиною: розтягнута арматура вже виключена з роботи, а бетон працює нелінійно. При цьому крутильна жорсткість GI , що складається з модуля зсуву матеріалу і моменту інерції перерізу, зазнає впливу нелінійної роботи обох множників. І за різних обставин це може збільшувати значення вирішальної крутильної жорсткості, але також складові можуть і нівелювати частину нелінійного впливу один одного (що не зменшує значення крутильної жорсткості). В роботі [8] було досліджено вплив крутильної жорсткості залізобетонних елементів з нормальними тріщинами на перерозподіл зусиль без урахування змінення модуля зсуву бетону стиснутої зони, хоча це істотно впливає на роботу конструкції. Тому нижче наведені результати розрахунку плити з нормальними тріщинами [8] з урахуванням впливу змінення модуля зсуву на крутильну жорсткість ЗБЕ і перерозподіл зусиль в елементах конструкції.

Досліджено залізобетонну ребристу плиту П2-2-АмV (ГОСТ 21506-87) з розмірами 5650x1485 мм. Бокові ребра перерізом 300x100 мм, армовані стрижнями $\varnothing 14$ мм. Поперечні ребра розмірами 80x100 мм. Товщина полки плити 50 мм. Клас бетону С25. Рівномірно розподілене навантаження $q=19$ кН/м прикладено до правого бокового ребра (рис.2).

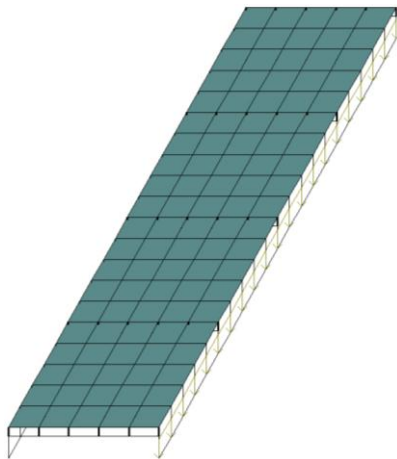


Рис. 2. Розрахункова схема ребристої плити

Розрахункова схема плити сформована розділенням поздовжніх ребер на 20 ділянок, що відповідає відстані між тріщинами $l_{cr} = 28$ см. Саме між цими ділянками на кожній ітерації було встановлено крутильну жорсткість, враховуючи при цьому і січний модуль зсуву бетону.

Завдяки симетричності завантаження конструкції епюри в елементах однієї половини балки та іншої є зворотно симетричними, тому зусилля розглядаємо для половини поздовжнього ребра плити, оскільки друга половина ребра дзеркально відображає зусилля першої.

Згідно результатів визначення крутильної жорсткості при нелінійному розрахунку з урахуванням тріщин і з додатковим урахуванням модуля зсуву, значення крутильної жорсткості відрізняється на 9.52%. Епюра перерозподілу зусиль у всіх трьох випадках наведена на рис.3.

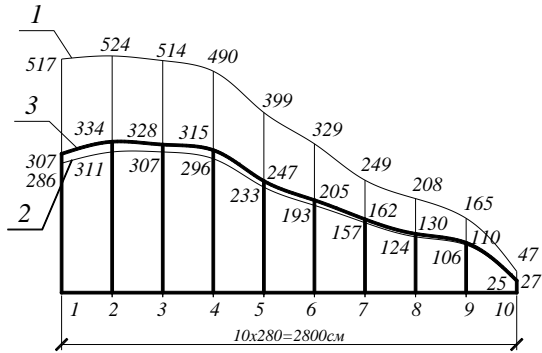


Рис.3. Перерозподіл зусиль в ребрі плити з нормальними тріщинами з урахуванням січного модуля зсуву бетону (3) і без (2) порівняно з непружним розрахунком (1)

Висновок

Порівняння результатів розрахунків підтверджує твердження про вплив модуля зсуву бетону як складової крутильної жорсткості ЗБЕ на перерозподіл зусиль в елементах конструкції. Змінення крутильної жорсткості за методикою [8] простежується до 10%, а згинальної – до 4% порівняно з розрахунком без урахування змінення модуля зсуву. Тому врахування січного модуля зсуву бетону при дослідженні впливу крутильної жорсткості елементів з тріщинами на просторову роботу конструкцій є необхідним етапом розрахунку.

Отже, січний модуль зсуву бетону, як складова крутильної жорсткості ЗБК, істотно впливає на роботу конструкцій, що підтверджує порівняння результатів досліджень перерозподілу зусиль при обчисленні крутильної жорсткості збірної плити перекриття з нормальними тріщинами з урахуванням січного модуля зсуву бетону і без. Ця робота, продовжуючи минулі дослідження з визначення крутильної жорсткості ЗБЕ через берега тріщини без змінення модуля деформацій бетону при крученні [3-9], доводить важливість врахування січного модуля зсуву бетону при розрахунку крутильної жорсткості залізобетонних конструкцій.

SUMMARY

The technique for the RCE's with normal cracks under bending with torsion torsional stiffness' determination has been improved by the consideration of the secant shear modulus of concrete. The influence of torsional stiffness as a concrete secant shear modulus' function on the

stresses' redistribution in the precast reinforced concrete overlap has been researched by usage of cracks' displacements' approximate dependences.

Література

1. Азізов Т.Н. Експериментальне дослідження діаграми зсуву бетону/ Азізов Т.Н., Вільданова Н.Р. // Вісник ОДАБА. Вип. 50 – Одеса: ОДАБА, 2013. – С. 3-8.

2. Азізов Т.Н. Использование аппроксимационных конечных элементов в расчетах конструкций/ Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2010. – № 39, ч.1. – С. 4-9.

3. Азізов Т.Н. Крутильная жесткость тавровых железобетонных элементов с нормальными трещинами/ Азізов Т.Н., Стадник В.И. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип.33. - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2009. - С.4-11.

4. Азізов Т.Н. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов с трещинами//Дороги і мости. Збірник наукових праць. Вип. 7. Том 1. - Київ: ДерждорНДІ, 2007. – С.3-8.

5. Азізов Т.Н. Теория пространственной работы перекрытий. – Киев: Науковий світ, 2001. – 276 с.

6. Мельник О.В. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Мельник О. В. – Одеса., 2012. – 255 с.

7. Мельник О.С. Жорсткість та міцність залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Мельник О. С. – Одеса., 2013. – 187с.

8. Парамонов Д.Ю. Жорсткість та міцність залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при згині з крученням [Текст] : автореферат... канд. техн. наук, спец.: 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди / Д. Ю. Парамонов. — Одеса : Одеська держ. академія будівництва та архітектури, 2012. – 24с.

9. Срібняк Н. М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 «Будівельні конструкції будівлі та споруди» / Срібняк Н. М. – Одеса., 2009. – 257с.

10. Яременко О.Ф. Несуча здатність та деформативність залізобетонних стержневих елементів в складному напруженому стані / О.Ф.Яременко, Ю.О. Школа. – Одеса: ОДАБА, 2010. – 136с.