

Азізов Т.Н., д.т.н., проф., Мельник О.С., ст. лаборант (Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, м. Умань)

ЗАЛІЗОБЕТОННІ БАЛКИ З ПІДВИЩЕНОЮ ЖОРСТКІСТЮ ПРИ КРУЧЕННІ

У статті приводиться опис залізобетонних балок порожнистого трикутного перерізу, методика визначення їх НДС за наявності тріщин. Показано, що такі балки мають жорсткість при крученні значно вищу аналогічної жорсткості таврових балок.

The article description over of reinforced concrete beams is brought hollow three-cornered to the cut, method of determination of them TDS at presence of cracks. It is rotined that such beams have inflexibility at twisting considerably more high analogical inflexibility of t-shaped beams.

Постановка завдання і аналіз досліджень. Відомо, що врахування просторової роботи перекриттів забезпечує істотну економію матеріалів і значно підвищує точність визначення зусиль, що діють в їх елементах [4-7]. Дослідженнями автора даної статті та інших авторів [5,6] було показано, що ефект просторової роботи збірного перекриття за дії локальних навантажень в значній мірі залежить від крутильної жорсткості його елементів. У перекриттях з П-подібних плит, плит типу Т або ТТ ефект просторової роботи достатньо низький у зв'язку з тим, що збірні плити згаданого перерізу мають вельми малу крутильну жорсткість. У перекриттях з балок-плит полого трикутного перетину, запропонованих в [1], ефект просторової роботи високий.

Для розрахунку перекриттів з урахуванням просторової роботи потрібно знати згинальну і крутильну жорсткості елементів як за наявності різного роду тріщин, так і при їх відсутності. Існуючі методики визначення жорсткості при крученні [8, 9] стосуються тільки залізобетонних елементів з просторовими (спіральними) тріщинами. У роботі автора [2] запропонована методика визначення крутильної жорсткості елементів прямокутного перерізу з нормальними тріщинами. Визначенню жорсткості елементів полого трикутного перерізу з нормальними і просторовими тріщинами не приділено уваги в літературі.

У зв'язку з вищесказаним **метою даної статті** є розробка методики визначення НДС залізобетонних елементів полого трикутного перерізу з нормальними тріщинами.

Виклад основного матеріалу. У роботах [2, 3] показано, що для визначення жорсткості елементів прямокутного перерізу за наявності

нормальних тріщин приймається схема, за якою арматура в тріщині розтинається і з умови рівності переміщень зліва і праворуч від розтину визначається невідома нагельна сила. У такій схемі крутний момент з одного блоку до іншого (які відокремлені нормальними тріщинами) передається через стиснуту від згину зону.

Застосуємо такий же підхід для визначення крутильної жорсткості елементу полого трикутного перерізу.

Розглянемо порожнистий трикутний елемент з полицею в стиснутій від згину зоні (рис. 1). Хай в результаті дії згинального моменту утворилася нормальна тріщина і висота стиснутої зони дорівнює Z (рис. 1). Тобто в загальному випадку стиснута зона може заходити в ребра елементу. Після уявного розтину арматури в тріщині крутний момент з одного блоку на іншій передаватиметься через стиснуту від згину зону висотою Z .

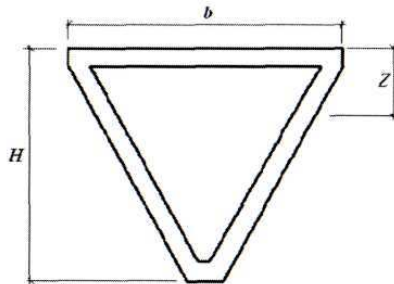


Рис. 1. Схема елемента порожнистого трикутного перерізу

Як і у разі прямокутного перерізу, основною проблемою буде визначення переміщень верхньої частини блоку щодо його нижньої частини. Для цього скористаємося схемою визначення таких переміщень, приведеною в [2, 3] для прямокутного перерізу. Розітнемо блок, відокремлений нормальними тріщинами горизонтальною площиною, яка паралельна подовжній осі X елементу і знаходиться на рівні низу стиснутої зони (рис. 2).

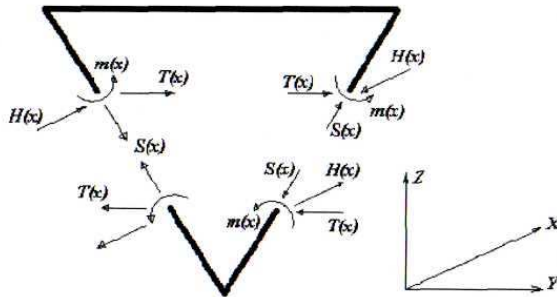


Рис. 2. Схема невідомих внутрішніх зусиль по площині розсічення елемента

У загальному випадку по площині розтину діятимуть чотири невідомі функції погонних внутрішніх зусиль (див. рис. 2): нормальні до ребер $S(x)$; дотичні уперек перерізу ребра $T(x)$; дотичні уздовж прольоту $H(x)$ і поперечні згинальні моменти $in(x)$. Для визначення цих внутрішніх зусиль можна скласти систему чотирьох диференціальних рівнянь з умови рівності зверху і знизу від перетину (з правого або з лівого боку, не має значення) наступних переміщень і їх похідних: горизонтальних переміщень (уздовж осі Y); горизонтальних переміщень уздовж прольоту (уздовж осі X); вертикальних переміщень по осі Z ; кутів повороту відносно осі X . Ці рівняння складаються по аналогії з [2], але з урахуванням кутів нахилу ребер, а також переміщень, від згину полиці і ребер.

Як приклад на рис. 3 приведена схема деформації нижньої відсіченої частини від дії погонних дотичних сил $t(x)$. При цьому розглядається V -подібний елемент одиничної довжини у напрямі прольоту балки (у напрямі осі X). Переміщення A визначаються звичайним методом опору матеріалів.

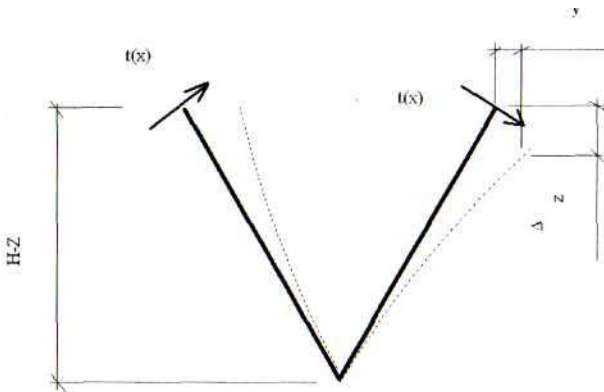


Рис. 3. Схема деформування нижньої відсіченої частини елемента порожнистого трикутника від дії дотичних сил

Слід зазначити, що якщо не враховувати депланіацію перерізу від обмеженого кручення, зусилля $H(x)$ не входять в систему рівнянь, а визначатимуться незалежно після визначення решти невідомих зусиль в перерізі. Крім того, якщо нехтувати згинальною жорсткістю ребер (що в більшості випадків тонких ребер цілком прийнятно), то система рівнянь міститиме всього два диференціальні рівняння для $T(x)$ і $S(x)$, що робить рішення задачі особливо простим. При цьому для отримання достатньо простого рішення задачі невідомі $T(x)$ і $S(x)$, а також зовнішній крутний момент слід розкласти в ряди Фур'є по косинусах. При цьому граничні умови будуть задоволені автоматично.

Переміщення D_2 та A складаються з декількох частин: від кручення балки

V-подібного перерізу; від стиску (розтягу) ребер силами $S(x)$; від згину ребер моментами $m(x)$ та дотичними зусиллями $t(x)$. Так, наприклад, переміщення від згину силами $t(x)$ правої частини ребра буде визначатись (рис. 4.):

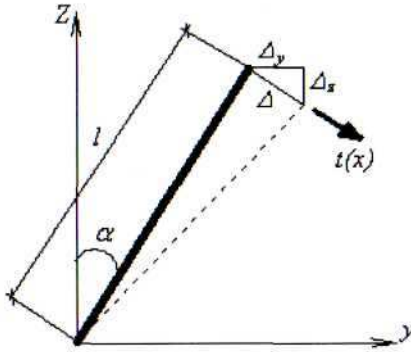


Рис. 4. Схема визначення переміщень Δ_z та Δ_y для правої частини ребра

В (2) позначено: E - модуль пружності матеріалу балки; J - момент інерції при згині смуги ребра шириною, що дорівнює одиниці і товщиною, що дорівнює товщині ребра. Тобто переміщення Δ визначаються як переміщення стержня довжиною l , жорстко защемленого в нижній частині. Довжина l - це довжина правої частини V-подібної відсіченої частини балки (див. рис. 3).

В роботі [2] виведено систему диференціальних рівнянь для визначення зусиль $T(x)$ та $S(x)$ для прямокутного перерізу балки. При цьому між сумарними зусиллями $T(x)$ і погонними дотичними зусиллями $t(x)$ існує диференціальна залежність:

$$\Delta_y = \Delta \cdot \cos\alpha ; \quad \Delta_x = \Delta \cdot \sin\alpha , \quad (1)$$

де
$$\Delta = \frac{t(x) \cdot l^3}{3 \cdot E J} \quad (2)$$

$$T(x) = \int_0^x t(x) dx \quad (3)$$

або рівнозначна залежність:

$$t(x) = T'(x) \quad (4)$$

Для отримання системи диференційних рівнянь у випадку балки з перерізом у вигляді порожнистого трикутника суть викладок [2] зберігається, але переміщення визначаються з урахуванням рівнянь (1) і (2) та рис. 4. Крім того при визначенні переміщень верхньої відсіченої частини (див. рис. 2) слід враховувати переміщення від згину верхньої стиснутої полицки балки.

Після визначення невідомих внутрішніх зусиль досить просто обчислюються кути повороту і переміщення верхньої частини щодо нижньої (див. рис. 2) і за методикою [2] визначається нагельна сила в подовжній арматурі. Після цього визначається горизонтальне переміщення в тріщині і еквівалентна жорсткість елемента з тріщиною аналогічно [2, 3].

Експериментальними дослідженнями збірних перекриттів, проведеними ще в 50-х роках минулого сторіччя [7], було показано, що при смуговому завантаженні перекриття навантаження на одну плиту може у декілька разів перевищувати руйнуюче навантаження окремо працюючої плити. В результаті досліджень В.М. Байковим [5] було рекомендовано влаштовувати шпонки замкнутої форми для підвищення ефективності просторової роботи.

Плити типу Т і ТТ достатньо ефективно можуть бути замінені на балки-плити полого трикутного перерізу, які описані вище. Окрім переваг просторової роботи такі перекриття мають підвищені теплозахисні властивості.

Виготовлення таврових і двотаврових балок пов'язане з труднощами виготовлення опалубки. Балка з перерізом, показаним на рис. 1 має всі достоїнства таврових балок і проста у виготовленні. Вона може виготовлятися як на заводі, так і на будівельному майданчику.

Спосіб виготовлення таких балок описаний в [1]. Верхня полиця може бути як залізобетонною, так і сталезалізобетонною. Можливий також варіант виготовлення сталезалізобетонної балки, у якої верхня полиця залізобетонна, а замість ребер - сталева решітка у вигляді ферми.

Така балка суміщає в собі функції кровляної конструкції і плити, оскільки ширина стиснутої полиці може прийматися 1.5 і більше метрів.

Крутильна жорсткість такої балки значно більша аналогічної жорсткості таврової балки при однаковій міцності і жорсткості на згин у вертикальному напрямі. Останній чинник є вельми і вельми істотною перевагою, оскільки чим більше крутильна жорсткість, тим більше виявляється ефект просторової роботи при дії локальних навантажень. Крім того, при великій висоті перерізу на просторову роботу впливає згинальна жорсткість балки в горизонтальному напрямі. А згинальна жорсткість в горизонтальному напрямі балки трикутного полого перерізу значно більша згинальної жорсткості таврової балки при рівній згинальній жорсткості у вертикальному напрямі.

На просторову роботу перекриття впливає також згин полиць в поперечному напрямі. Якщо в таврових балках він може бути істотним, то в балках із запропонованим поперечним перерізом полка в місці стику двох

балок практично не згинатиметься. Цей чинник також говорить про переваги запропонованого перерізу балки перекриття.

Якщо порівняти жорсткості таврового перерізу і перерізу у вигляді порожнистого трикутника з висотою, наприклад, 1000 мм, шириною 1500 мм і товщиною стиснутої полиці 50 мм, то при практично рівній згинальній жорсткості у вертикальному напрямі згинальна жорсткість в горизонтальному напрямі таврової балки на 65% менше. Жорсткість на кручення перерізу у вигляді порожнистого трикутника більш ніж в 60 разів більша аналогічної жорсткості таврового перерізу, хоча об'єм бетону у разі порожнистого трикутника менше об'єму бетону таврової балки. Крім того, виготовлення балок полого трикутного перерізу істотно простіше і може бути проведено як на заводі, так і на будівельному майданчику.

Висновки і перспективи досліджень.

Залізобетонні балки перекриттів і покриттів полого трикутного перерізу мають жорсткість на кручення в десятки разів перевищуючу аналогічну жорсткість таврових балок, що істотно підвищує їх ефективність. У статті приведений підхід для визначення крутильної жорсткості таких елементів за наявності в них нормальних тріщин.

У перспективі слід провести експериментальні дослідження жорсткості балок полого трикутного перерізу після утворення в них тріщин, з метою перевірки запропонованої методики визначення їх крутильної жорсткості, а також з метою перевірки їх міцності за дії згину з крученням.

1. Азізов Т.Н. Спосіб виготовлення залізобетонних балок. Патент України № 14056. Бюлл. №4. 16.04.2006.
2. 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.
3. Азізов Т.Н., Срибняк Н.І. I. Определение крутильной жесткости железобетонных элементов прямоугольного сечения с нормальными трещинами.
4. Айвазов Р.Л. Сборное панельное перекрытие, опёртое по контуру: Сб.тр. МИСИ. - М., 1971. - Вып. 90. - Пространственная работа железобетонных конструкций.
5. Байков В.Н. Исследование совместной работы сборных железобетонных элементов в системах плоских и пространственных конструкций: Дис ... докт. техн. наук. - М. 1967.
6. Верещага А.И. Напряженно-деформированное состояние и прочность сборных железобетонных перекрытий. Дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Сумский национальный аграрный ун-т. - Сумы, 2002. - 248 с.
7. Горнов В.П. Исследование прочности и жесткости промышленных конструкций жилых домов. - М: Госстройиздат. 1954. - 240 с.
8. Карпенко П.И. Общие модели механики железобетона. - М; Стройиздат. 1996. - 416 с.
9. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. - М.: Стройиздат, 1976. - 208 с