

УДК 624.012.45

ЕФЕКТИВНІ КОНСТРУКЦІЇ МОСТОВИХ СПОРУД

*Азізов Т.Н., д.т.н., професор, Мельник О.С., викладач
Уманський державний педагогічний університет імені
Павла Тичини*

Постановка проблеми.

Відомо, що особливістю мостових споруд є те, що в них завжди діє нерівномірне навантаження і присутня просторова робота. На такі споруди затрачається значна кількість бетону і арматури. В зв'язку з цим економія матеріалів робить значний вплив на загальну економію споруди. Крім того виготовлення просторових конструкцій пов'язано з великими труднощами. Відомо також, що просторова робота мостів підвищує їх економічність та надійність.

В роботах [1,2] показано, що на перерозподіл зусиль між окремими елементами впливає їх згинальна жорсткість та жорсткість при крученні. Визначення форми поперечного перерізу мостових балок є складною та важливою задачею тому, що від форми поперечного перерізу залежить як крутильна, так і згинальна жорсткості.

У зв'язку з вищевикладеним **метою** даної статті є порівняння залізобетонних елементів різного типу перерізу у складі мостових споруд.

Викладення основного матеріалу.

В [1] показано, що просторова робота перекриттів з плит типу Т або ТТ є найменшою. Це пов'язано з малою крутильною жорсткістю таких плит.

Перекриття з плит Т або ТТ можна замінити перекриттями з балок порожнистого трикутного перерізу. Такі балки поєднують в собі функції балок і плит (рис. 1.) [1].

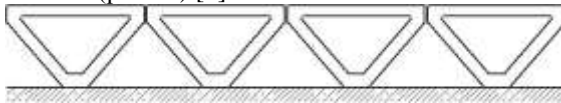


Рис. 1. Поперечний переріз перекриття зі збірних плит пустотілого трикутного профілю

Виготовлення таврових і двотаврових балок пов'язане зі значними труднощами з виготовлення опалубки. Балка пустотілого трикутного профілю, показаним на рис. 1 має усі переваги таврових балок і проста у виготовленні. Вона може виготовлятися як на заводі, так і на будівельному майданчику. Спосіб виготовлення такої балки показано в

[1].

Авторами були проведені експериментальні дослідження [4], які показали, що міцність таких балок, виготовлених збірно-монолітними є не меншою за балки, виготовлені суцільно з монолітного бетону. Результати експериментальних досліджень показані в таблиці 1.

Табл. 1. Порівняльні величини збірно-монолітних та суцільних елементів порожнистого трикутного профілю

| Марка балки | Руйнуючий момент M_t , [кН×см] | Кут повороту $\varphi \times 10^6$ [град] при крутному моменті $M_t=100$ [кН×см] |
|-------------|-----------------------------------|--|
| Б 51-1 | 180 | 160 |
| Б 61-1 | 185 | 159 |
| Б 51-2 | 180 | 140 |
| Б 61-2 | 177 | 150 |
| Б 51-3 | 200 | 125 |
| Б 61-3 | 199 | 140 |
| Б 54-1 | 240 | 85 |
| Б 64-1 | 243 | 80 |
| Б 54-2 | 230 | 80 |
| Б 64-2 | 223 | 86 |
| Б 54-3 | 250 | 145 |
| Б 64-3 | 247 | 153 |

У маркуванні балок цифра «5» чи «6» після літери «Б» позначає монолітну і збірно-монолітну балку. Геометричні параметри досліджених балок у [4] представлені у таблиці 2.

Табл. 2. Геометричні параметри дослідних балок порожнистого трикутного профілю .

| Товщина верхньої полиці (висота зони без тріщин) δ_b , мм | Товщина бокової полиці δ_b , мм | Діаметр арматури d_s , мм | Марка балки |
|--|--|-----------------------------|-------------|
| 30 | 30 | 8 | Б 1-1 |
| | | 10 | Б 1-2 |
| | | 14 | Б 1-3 |
| 45 | 45 | 8 | Б 4-1 |
| | | 10 | Б 4-2 |
| | | 14 | Б 4-3 |

Ці експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок про доцільність використання таких конструкцій в практиці будівництва.

Така балка поєднує в собі функції кроквяної конструкції і плити, оскільки ширина верхньої полиці може вільно прийматися 1.5 і більше метрів.

На просторову роботу перекриття або мосту впливає також згин полиць в поперечному напрямі. Якщо в таврових балках згин може бути істотним, то у балках із пустотілим трикутним поперечним перерізом полиця в місці стику двох балок практично не згинатиметься. Для підтвердження сказаного нижче приведено порівняння моментів інерції балок різного перерізу (табл. 3).

У цій таблиці розглядається таврова балка прольотом 12 м [5]: ширина полиці 1,5 м, висота полиці 15 см, висота профілю 1 м та товщина ребра 27, 5 см. Для порівняння приведені дані порожнистої трикутної балки при еквівалентному моменті інерції при згині у вертикальному напрямку: ширина та товщина верхньої полиці однакові, товщина стінок 9,75 см та висота перерізу 1,02 м. А також коробчастого профілю: висота коробчастого профілю 81 см, товщина нижньої полиці 5 см та бокових стінок 21,4 см.

При визначених геометричних розмірах балок можна знайти об'єм затраченого бетону: на балку таврового профілю витрачається $5,5 \text{ м}^3$, а на балку порожнистої трикутної профілю – $5,48 \text{ м}^3$.

Табл. 3. Порівняння геометричних характеристик балок Т-подібного та порожнистої трикутної профілю

| Параметри порівняння | Тип профілю | | |
|-------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| | Порожнистий трикутник | Т-подібний профіль | Коробчастий профіль |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| $I_{ver} (\text{см}^4)$ | 4316000 | 4316000 | 4316000 |
| $k_1 = \frac{I_2}{I_i}$ | 1 | 1 | 1 |
| $I_{gor} (\text{см}^4)$ | 8157000 | 4366000 | 16520000 |
| $k_2 = \frac{I_2}{I_i}$ | 1 | 1,87 | 0,49 |
| $I_t (\text{см}^4)$ | 9966196.366 | 851453.783 | 889197,7832 |
| $k_3 = \frac{I_2}{I_i}$ | 1 | 11,7 | 11,2 |

З таблиці видно, що при однаковій жорсткості при згині у вертикальному напрямі I_{ver} , аналогічна жорсткість в горизонтальному напрямі I_{gor} балки Т-подібного профілю в 1.87 раза менше, а жорсткість на кручення I_t - в 11,7 разів менше аналогічної жорсткості порожнистої трикутної балки.

Крутильна жорсткість такої балки значно більша за аналогічну жорсткість таврової балки при однаковій міцності і жорсткості на згин у вертикальному напрямі. Останній чинник являється істотною перевагою, оскільки чим більше крутильна жорсткість, тим більше проявляється ефект просторової роботи при дії локальних навантажень. Крім того, при великій висоті перерізу на просторову роботу впливає жорсткість при згині балки в горизонтальному напрямку. Жорсткість в горизонтальному напрямі балки трикутного порожнистого перерізу значно більше аналогічної жорсткості таврової балки при рівній їх жорсткості на згин у вертикальному напрямку.

Завантажена балка трикутного перерізу сприйматиме значно меншу частину зовнішнього локального навантаження, ніж балка таврового перерізу, що є істотною перевагою запропонованих балок. Це дозволяє проектувати мостові споруди економічними при дії локальних навантажень.

Аналізуючи отримані дані з таблиці 3, можна сказати, що горизонтальний момент інерції в елементах порожнистого трикутного профілю при однаковому вертикальному моменті інерції менший в 2 рази в елементах коробчастого профілю. А момент інерції при крученні більший приблизно в 11 разів. Об'єм затраченого матеріалу на балку коробчастого профілю – $7,55 \text{ м}^3$, що на 37 % (!) більше за витрачений матеріал на порожнисту трикутну балку.

Вище було показано, що жорсткість на кручення і жорсткість на згин в горизонтальному напрямі збірних плит має істотний вплив на спільну роботу плит. Тому при новому будівництві слід прагнути до збільшення жорсткості при згині в горизонтальному напрямі EI_{gor} і крутильній жорсткості GI_t крайніх плит збірного перекриття, у тому числі з використанням запропонованих вище балок-плит пустотілого трикутного перерізу.

Розглянемо 2 типових конструкції пролітної будови 12м, що складається з 5 балок, армованих арматурою періодичного профілю (рис. 2). Геометричні розміри поперечних перерізів наведені вище.

В ПК «Ліра 9.6» за допомогою пластинчастих скінченних елементів було змодельовано смугове навантаження в першому ребрі прольотних мостів величиною 10 кН/м^2 .

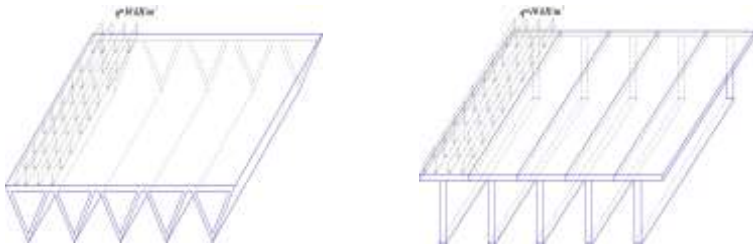


Рис. 2. Смугове навантаження мостових конструкцій.

В таблиці 4 наведено порівняння переміщень у вертикальному напрямку в розтягнутій зоні у даному навантаженню по приведеній схемі (рис.3).

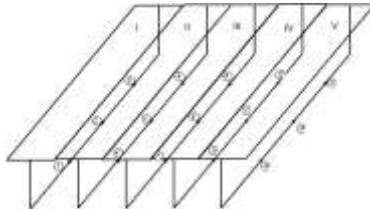


Рис. 3. Схема вузлів, де визначались переміщення.

Табл. 4. Визначення переміщення у конкретних вузлах.

| № вузла | Тавровий профіль $\Delta z1$, см | Порожнистий трикутний профіль $\Delta z2$, см | $\frac{\Delta z1}{\Delta z2}$ |
|---------|--------------------------------------|--|-------------------------------|
| 1 | 0,437335 | 0,141225 | 3,09 |
| 2 | 0,523921 | 0,173128 | 3,026 |
| 3 | 0,437335 | 0,141225 | 3,097 |
| 4 | 0,363368 | 0,131143 | 2,77 |
| 5 | 0,379140 | 0,148510 | 2,55 |
| 6 | 0,363368 | 0,131143 | 2,77 |
| 7 | 0,240853 | 0,0841435 | 2,86 |
| 8 | 0,240914 | 0,091579 | 2,63 |
| 9 | 0,240853 | 0,0841435 | 2,86 |
| 10 | 0,108007 | 0,0343127 | 3,147 |
| 11 | 0,109954 | 0,0379024 | 2,9 |
| 12 | 0,108007 | 0,0343127 | 3,147 |
| 13 | 0,176643 | 0,00796037 | 22,19 |
| 14 | 0,186416 | 0,00983436 | 18,95 |
| 15 | 0,176643 | 0,00796037 | 22,19 |

Відповідно було визначено максимальні величини напруження N_z , згинаючих моментів M_y та крутних моментів M_{xy} у верхніх полицях завантажених дослідних балок у мостових конструкціях та зроблено їх порівняння. Результати представлені у табл. 5.

Табл. 5. Величини порівняння для смугового навантаження.

| З таврових елементів | | | | З трикутних елементів | | | | Відношення величин | | | |
|----------------------|----------|-----------|--------------|-----------------------|----------|-----------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| N_{y1} | M_{y1} | M_{xy1} | Δz_1 | N_{y2} | M_{y2} | M_{xy2} | Δz_2 | $\frac{N_{y1}}{N_{y2}}$ | $\frac{M_{y1}}{M_{y2}}$ | $\frac{M_{xy1}}{M_{xy2}}$ | $\frac{\Delta z_1}{\Delta z_2}$ |
| 0,08 | 2,14 | 0,055 | 0,816 | 0,02 | 1,16 | 0,009 | 0,26 | 3,8 | 1,84 | 5,9 | 3,1 |

Величини згинальних напружень та моментів, крутного моменту, а також переміщень у вертикальному напрямку у мостовій конструкції з балок Т-типу більші за балки порожнистого трикутного профілю у декілька разів. Це підтверджує гіпотезу про сприйняття меншої частини зовнішнього локального навантаження порожнистої трикутної балки у складі мостової конструкції.

Висновки та перспективи досліджень. При розгляді питання про доцільність застосування залізобетонних конструкцій таврового, коробчастого чи порожнистого трикутного типів необхідно мати на увазі наступне. При використанні залізобетонних конструкцій порожнистого трикутного типу вдало поєднує підвищення ступеня збірності мостових споруд із збереженням їх експлуатаційних якостей. Крім того, застосування такого типу перерізу забезпечує простоту виготовлення, економію матеріалів за рахунок зменшення геометричних розмірів; збільшення ефекту просторової роботи.

Таким чином, конструкції мостів, які складаються з балок порожнистого трикутного профілю є ефективними економічно.

У **перспективі** слід експериментально підтвердити доцільність використання балок порожнистого трикутного профілю у складі мостових конструкцій.

SUMMARY.

Comparative description of bridge buildings which consist of beams t-shaped and hollow three-cornered types is resulted in the article. It is rotined that the use of reinforced-concrete elements of hollow three-cornered type in bridge constructions effectively economic and increases the effect of spatial work of bridges.

Література

1. Азизов, Т. Н. Экономичные конструкции покрытий и перекрытий / Т. Н. Азизов. – Умань : Алми, 2002. – 64 с.
2. Азизов, Т. Н. Теория пространственной работы перекрытий / Азизов Т. Н. – К. : Науковий світ, 2001. – 276 с.
3. Азізов, Т. Н. Залізобетонні балки з підвищеною жорсткістю при крученні. / Т. Н. Азізов, О. С. Мельник // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне 2009. – Вип. 19. – С. 55-60.
4. Азізов, Т. Н. Експериментальні дослідження жорсткості та міцності залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні / Т. Н. Азізов, О. С. Мельник // Збірник наукових праць : (галузеве машинобудування, будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. – Полтава, 2011. – Вип. 2(30). – С. 47-52.
5. Инструкция по определению грузоподъемности железобетонных балочных пролетных строений эксплуатируемых автодорожных мостов: ВСН 32-89. – М.: Минавтодор, 1990. – 150 с.