

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ

Анотація. Наведена методика розрахунку тріщиностійкості збірно-монолітних прогонових будов мостів з врахуванням постадійності навантаження.

Аннотация. Приведена методика расчета трещиностойкости сборно-монолитных пролетных строений мостов с учетом постадийности нагрузки.

Annotation. The design procedure of crack prefabricated monolithic spans of bridges considering postadiynosti load.

Останнім часом широке розповсюдження на автомобільних дорогах України і закордоном мають монолітні і збірно-монолітні залізобетонні прогонові будови мостів, які поєднують в собі основні переваги збірного і монолітного залізобетону. Найбільш трудомісткі елементи виготовляють індустриальним шляхом – на заводах, а монолітну частину, менш складну, споруджують на місці. Монолітна плита збільшує довговічність прогонової будови моста і покращує просторову роботу конструкції.

При розрахунку тріщиностійкості таких конструкцій необхідно враховувати особливості їх роботи.

Збірно-монолітні конструкції мостів розраховуються за другим граничним станом на виникнення, розкриття і закриття тріщин з урахуванням їх постадійної роботи.

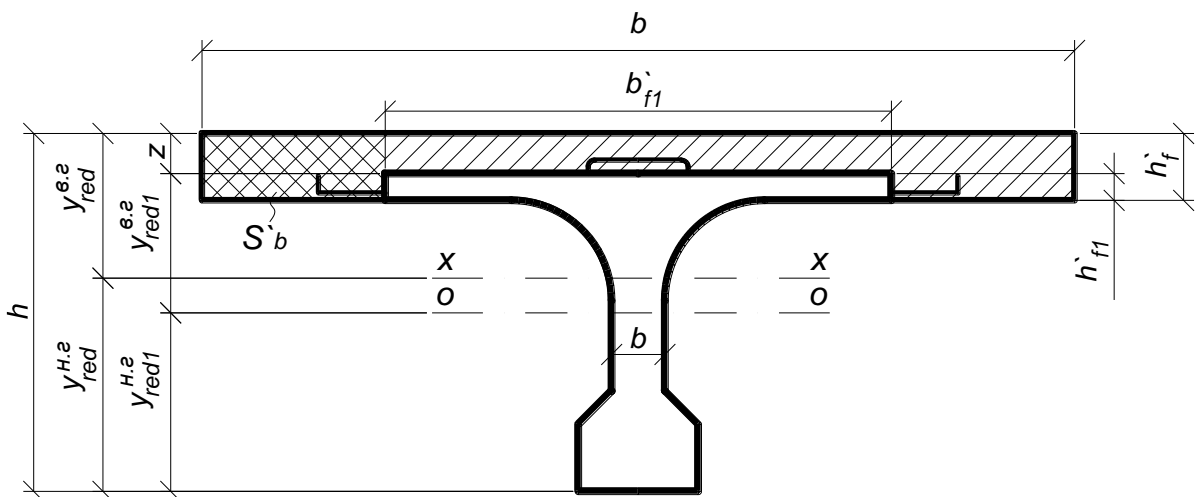


Рис. 1. Переріз збірно-монолітної балки прогонової будови моста

На стадії створення попереднього напруження працює збірна частина перерізу. При укладці монолітного бетону працює збірна частина перерізу балки (на її вагу, вагу опалубки та сили попереднього напруження).

Після набуття монолітним бетоном заданої міцності балка працює повним перерізом на навантаження, що діють на цій стадії – другу частину постійного навантаження і тимчасове навантаження.

Тому особливість перевірки на виникнення поздовжніх тріщин на стадії експлуатації у середині прогону балки від дії постійного і тимчасового навантаження полягає у виконанні цієї перевірки на рівні верхньої грані бетону збірної частини приведенного перерізу і повного приведенного (збірно-монолітного) перерізу (рисунок 1) відповідно, за формулами (стиснення зі знаком “+”)

$$(\sigma_{bc}^{e,z}) = \frac{N_0}{A_{red1}} - \frac{N_0 \cdot e_0 \cdot y_{red1}^{e,z}}{I_{red1}} + \frac{M_{g1,n} \cdot y_{red1}^{e,z}}{I_{red1}} + \frac{(M_{g,n} - M_{g1,n}) \cdot (y_{red}^{e,z} - z)}{I_{red}} \leq R_{b,mc2}, \quad (1)$$

де N_0 – рівнодійна зусиль попереднього напруження у напружуваній арматурі з урахуванням усіх витрат;

e_0 – положення рівнодійної зусиль попереднього напруження відносно центру ваги приведенного перерізу збірної частини балки для середини прогону;

A_{red1} , I_{red1} – приведена площа і момент інерції збірної частини перерізу відносно центру ваги збірної частини відповідно;

I_{red} – момент інерції повного приведенного перерізу балки відносно його центру ваги;

$y_{red1}^{e,z}$, $y_{red}^{e,z}$ – відстань від центру ваги збірної частини приведенного перерізу балки до верхньої грані бетону збірної частини перерізу і відстань від центру ваги повного приведенного перерізу балки до верхньої грані монолітного бетону відповідно;

z – товщина шару монолітного бетону над збірною частиною перерізу балки;

$M_{g1,n}$ і $M_{g,n}$ – нормативні значення згинального моменту в середині прогону від власної ваги збірно-монолітної балки і від постійного та тимчасового навантаження відповідно;

$R_{b, mc2}$ – осьове стиснення для розрахунків на запобігання утворення у конструкціях поздовжніх тріщин на стадії експлуатації [1, п. 3.99].

Перевірка для верхньої грані повного приведеного перерізу балки виконується за формулою

$$\sigma_{bc}^{e,2} = \frac{(M_{g,n} - M_{g1,n}) \cdot y_{red}^{e,2}}{I_{red}} \leq R_{b,mc2}. \quad (2)$$

Розрахунок на виникнення похилих тріщин в опорному перерізі балки на стадії експлуатації слід обов'язково виконувати на рівні центру ваги збірної частини приведенного перерізу балки, центру ваги повного приведенного перерізу балки, а також на рівні примикання стиснутих вугів до стінки балки.

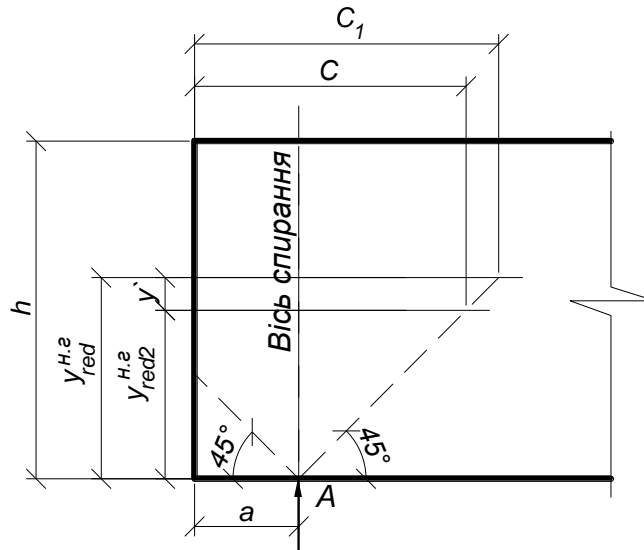


Рис. 2. Розподілення напружень у балці від опорної реакції

Напруження в бетоні на рівні центру ваги повного приведеного перерізу складаються з :

- з нормальних напружень у бетоні у напрямку осі елемента (стиснення зі знаком “+”), які вираховуються за формулою

$$\sigma_x = \frac{N_0}{A_{red2}} - \frac{N_0 \cdot e \cdot y}{I_{red2}}, \quad (3)$$

де N_0 – рівнодійна зусиль попереднього напруження у напружуваній арматурі у перерізі балки на опорі;

e – положення рівнодійної зусиль відносно центру ваги приведенного перерізу збірної частини балки;

A_{red2} , I_{red2} – приведена площа і момент інерції збірної частини перерізу на опорі відносно центру його ваги відповідно;

$y = (y_{red}^{H,2} - y_{red2}^{H,2})$ – відстань між центрами ваги повної і збірної частини приведених перерізів балки на опорі;

- з нормальних напружень у бетоні у напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі, від сил попереднього напруження у відігнутій арматурі і від опорної реакції $A = Q_n$, які визначаються за формулою

$$\sigma_y = \frac{\sigma_{po} \cdot A_{po} \cdot \sin \alpha}{u_0 \cdot b} + \frac{A}{b \cdot c_1}, \quad (4)$$

де b – товщина ребра балки на опорі.

Приймаємо, що напруження від опорної реакції розподіляються під кутом 45° (рисунок2). Тоді

$$c_1 = a + y_{red}^{u,z}, \quad (5)$$

де, a – відстань від торця балки до осі обпирання на опорну частину;

$y_{red}^{u,z}$ – відстань від центру ваги повного приведенного перерізу балки до нижньої грані бетону.

Поперечна сила на опорі без урахування вертикальної складової зусиль попереднього напруження у відігнутих пучках становить

$$Q_1 = Q_n - \sigma_{bo} \cdot A_{po} \sin \alpha, \quad (6)$$

де Q_n – нормативна поперечна сила на опорі від постійного та тимчасового навантаження;

σ_{bo} - напруження у попередньо напруженій відігнутій арматурі з урахуванням повних втрат;

A_{po} - площа відігнутої попередньо напруженої арматури;

α – кут нахилу відігнутих пучків арматури до горизонтальної осі.

Дотичні напруження на рівні центру ваги повного приведенного перерізу балки визначаються за формулою

$$\tau = \frac{Q_n^I \cdot S_1}{I_{red2} \cdot b} + \frac{(Q_n - Q_n^I) \cdot S_1}{I_{red} \cdot b} \leq m_{b6} \cdot R_{b,sh}, \quad (7)$$

де S_1 – статичний момент збірної частини приведенного перерізу балки, що знаходиться вище центру ваги повного приведенного перерізу балки відносно нейтральної осі збірної частини приведенного перерізу;

S_1 – статичний момент повного приведенного перерізу балки, що знаходиться вище центру ваги відносно нейтральної осі повного приведенного перерізу балки;

Q_n^I - нормативна поперечна сила на опорі від власної ваги збірно-монолітної балки;

Γ_{red} – момент інерції повного приведенного перерізу балки на опорі відносно центру ваги;

$R_{b,sh}$ – розрахунковий опір бетону на сколювання при згинанні [1, п. 3.24];

m_{b6} – коефіцієнт умов роботи [1, п. 3.27].

Головні напруження стиску визначаються за формулою

$$\sigma_{bmc}^{\prime} = \frac{\sigma_x^{\prime} + \sigma_y^{\prime}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x^{\prime} - \sigma_y^{\prime}}{2}\right)^2 + (\tau^{\prime})^2} \leq R_{b,mc2}. \quad (8)$$

Головні напруження розтягу визначаються за формулою

$$\sigma_{bmt}^{\prime} = \frac{\sigma_x^{\prime} + \sigma_y^{\prime}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x^{\prime} - \sigma_y^{\prime}}{2}\right)^2 + (\tau^{\prime})^2} \leq 0,85 \cdot R_{bt,ser}. \quad (9)$$

Граничні значення головних розтягувальних напружень в залежності від відношення $\frac{\sigma_{bmc}^{\prime}}{R_{b,mc2}}$ приймаються не більшими ніж значення, наведені у таблиці 3.23 [1, п. 3.103].

$$\text{При } \frac{\sigma_{bmc}^{\prime}}{R_{b,mc2}} < 0,52 \text{ маємо, що } \sigma_{bmt}^{\prime} \leq 0,85 \cdot R_{bt,ser}, \quad (10)$$

де $R_{bt,ser}$ – опір на осьове розтягнення при розрахунках за граничними станами другої групи [1, п. 3.24].

Напруження на рівні центру ваги збірної частини перерізу визначаємо за формулами

$$\sigma_x = \frac{N_0^{\prime}}{A_{red2}}; \quad (11)$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma_{po} \cdot A_{po} \cdot \sin \alpha}{u_0 \cdot b} + \frac{A}{b \cdot c}, \quad (12)$$

$$\text{де } c = a + y_{red2}^{n,2}, \quad (13)$$

$$\tau = \frac{Q_n^I \cdot S_1^{n,1}}{I_{red2} \cdot b} + \frac{(Q_n - Q_n^I) \cdot S}{\Gamma_{red} \cdot b}; \quad (14)$$

де $S_1^{n,1}$ – статичний момент збірної частини приведенного перерізу балки, що знаходиться вище центру його ваги відносно нейтральної осі збірної частини приведенного перерізу;

S – статичний момент повного приведенного перерізу балки, що знаходиться вище центру ваги збірної частини приведенного перерізу відносно нейтральної осі повного приведенного перерізу.

Далі за формулами (8) і (9) визначаємо головні напруження. Аналогічно виконуються всі розрахункові перевірки для перерізу в чверті прогону. Перевірка бетону на сколювання на стадії експлуатації в перерізі на опорі виконується по площині з'єднання монолітного бетону зі збірною балкою на рівні верху плити збірної балки і по боковій поверхні з'єднання збірної плити з монолітним бетоном.

Так, дотичні напруження по боковій поверхні з'єднання збірної плити з монолітним бетоном визначаються за формулою

$$\tau = \frac{(Q_n - Q_n^l) \cdot S_b}{\Gamma_{\text{red}} \cdot h_f} \leq m_{b15} \cdot R_{b,sh}, \quad (15)$$

де h_f – приведена висота верхньої полицки повного перерізу балки на опорі;
 $m_{b15}=0,5$ – коефіцієнт умов роботи на сколювання по площині з'єднання бетону замонолічування з бетоном конструкції [1, п. 3.25];

S_b – статичний момент відсіченої частини верхньої плити повного приведенного перерізу балки відносно його осі (заштрихована частина на рисунку 1).

Розглянуто роботу розрізної прогонової будови мосту, габарит якої становить Г-10 з двома тротуарами по 1 метру і довжиною 24,0 м. Прогонова будова складається зі збірних бездіафрагмових попередньо напружених балок висотою 115 см з недобетонованою плитою проїзної частини, які виготовлені в опалубці Б24 за типовим проектом 3.503.1-81 (випуск 5-7). У поперечному перерізі мосту розташовано 6 балок на відстані 2,1 м одна від одної. Товщина монолітного шару бетону плити проїзної частини над балками дорівнює 14 см. Збірні балки прогонової будови виконано з гідротехнічного бетону класу В40. Робоча арматура балок – попередньо напружена з дроту діаметром 5 мм із сталі класу Вр-II.

Балка армована 11 пучками, кожен з яких містить 24 проволоки.

Дорожній одяг складається з двох шарів щебенево-мастичного асфальтобетону товщиною 80 мм, захисного шару з піщаного асфальтобетону – 40 мм, термонаплавної гідроізоляції товщиною 5 мм. На тротуарах влаштовується покриття з піщаного асфальтобетону товщиною 40 мм.

Стискальні напруження у бетоні, які виникають на стадії експлуатації у середині прогону розрахункової балки під дією постійного і тимчасового навантаження А-15, перевіряються на виникнення поздовжніх тріщин:

– на рівні верхньої грані бетону збірної частини перерізу

$$(\sigma_{bc}^{6,2}) = 10,65 \text{ МПа} \leq R_{b,mc2} = 19,6 \text{ МПа};$$

– на рівні верхньої грані бетону збірно-монолітного перерізу балки

$$\sigma_{bc}^{6,2} = 5,7 \text{ МПа} \leq R_{b,mc2}.$$

Перевірка головних напружень опорного перерізу балки на стадії експлуатації на дію постійного і тимчасового навантаження А-15 виконується на рівні центру ваги приведенного перерізу збірної частини балки головні напруження стиснення

$$\sigma_{bmc} = 8,45 \text{ МПа} \leq R_{b,mc2} = 19,6 \text{ МПа}.$$

Головні напруження розтягу виявились напруженнями стискальними

$$\sigma_{bmt} = 1,63 \text{ МПа}.$$

На рівні центру ваги приведенного збірно-монолітного перерізу балки головні напруження стиснення становлять

$$\sigma_{bmc} = 5,05 \text{ МПа} \leq R_{b,mc2} = 19,6 \text{ МПа},$$

а головні напруження розтягу:

$$\sigma_{bmt} = 1,63 \text{ МПа (розтяг)} < 0,85 \cdot R_{bt,ser} = 1,79 \text{ МПа}.$$

При перевірці бетону на сколювання по боковій поверхні з'єднання плити збірної балки з монолітним бетоном на стадії експлуатації від постійного і тимчасового навантаження А-15, для опорного перерізу балки дотичні напруження склали

$$\tau = 0,13 \text{ МПа} < m_{b15} \cdot R_{b,sh} = 1,8 \text{ МПа}.$$

Література

1. ДБН В.2.3-14:2006. Мости і труби. Правила проектування. – К.: Держбуд. 2006.-359с.
2. Лившиц Я. Д., Онищенко М. М., Шкуратовский А. А. Примеры расчета железобетонных мостов. – К.: Вища школа, 1986.-263с.