

РУЙНУВАННЯ БЕТОНУ ПО ПОХИЛІЙ ТРІЩИНІ В СТАЛЕБЕТОННИХ БАЛКАХ

Петров А.М.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

В статті наводиться алгоритм перевірки бетону на змінання під упорами і на відрив по похилій тріщині та на зріз упорів в сталобетонних балках. Алгоритм дозволяє в процесі експлуатації здійснювати діагностику сталобетонних балок.

При проектуванні сталобетонних балок необхідно розробити методику їх розрахунку. Під розрахунком мається на увазі для заданого навантаження вибір оптимальних розмірів поперечного перерізу балки, вибір конструкції жорстких упорів, числа, кроку і зусиль, що виникають у них. Розрахунок сталобетонних балок з силою прикладеного посередині балки був приведений в [4]. Тут були наведені вирази для визначення максимальних напружень в сталевий смузі і в стиснутій зоні бетону, які не мають перевищувати розрахункових опорів сталі R_s і бетону R_b . Переріз балки зображено на рис.1.

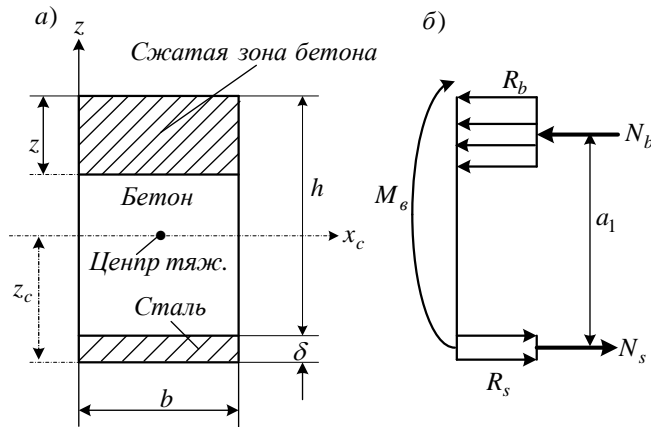


Рис.1. Переріз сталобетонної балки

Визначення зусиль, що діють на жорсткі упори, їх кроку і числа було розглянуто в [6]. Крім цього слід перевіряти міцність контакту листа і бетону, коли сили зсуву по сталевому листу Tn , можуть бути більше розрахункової сили, діючої в стиснутій зоні бетону N_b , а також перевіряти руйнування бетону по похилій тріщині і зрізі упорів за похилою тріщиною.

Всі розрахунки будуть необхідні для проведення діагностики в процесі їх експлуатації.

Необхідно визначити руйнівну силу по нормальному перерізу. Для визначення нормальної сили, що діє посередині балки, при відомих розмірах поперечного перерізу і характеристик бетону і сталі поступимо таким чином. З [4] відомо, що напруження в бетоні та сталевому листі визначаються за формулами $\sigma_b = \frac{N_b}{z \cdot b} \leq R_b$ і $\sigma_s = \frac{N_s}{\delta \cdot b} \leq R_s$. Звідси

$$N_b = R_b \cdot z \cdot b, \quad N_s = R_s \cdot \delta \cdot b. \quad (1)$$

Розрахунковий згинальний момент дорівнює

$$M^p = \frac{F_u \cdot l_p}{4}. \quad (2)$$

Звідси

$$F_u = \frac{4 \cdot M^p}{l_p}. \quad (3)$$

Внутрішній згинальний момент визначається як сума моментів від-відносно центра ваги перерізу сталевго листа (рис.1).

$$M_e = N_b \cdot a_1 = N_b \left(h - \frac{z}{2} + \frac{\delta}{2} \right). \quad (4)$$

Внутрішній згинальний момент дорівнює розрахунковому вигинає моменту. Прівіряємо (2) та (4)

$$\frac{F_u \cdot l_p}{4} = N_b \left(h - \frac{z}{2} + \frac{\delta}{2} \right). \quad (5)$$

З $\Sigma X = 0$; $N_b - N_s = R_b \cdot b \cdot z - R_s \cdot b \cdot \delta = 0$ визначаємо:

$$z = \frac{R_s \cdot \delta}{R_b}. \quad (6)$$

Підставимо в (5) вирази (6) і (1)

$$\frac{F_u \cdot l_p}{4} = R_b z b \left(h - \frac{z}{2} + \frac{\delta}{2} \right), \quad \frac{F_u \cdot l_p}{4} = R_b \frac{R_s \delta}{R_b} b \left(h - \frac{R_s \delta}{2R_b} + \frac{\delta}{2} \right).$$

Звідси

$$F_u = \frac{4R_s \cdot b \cdot \delta}{l_p} \left(h - \frac{R_s \delta}{2R_b} + \frac{\delta}{2} \right). \quad (7)$$

Руйнівна сила по нормальному перерізу F_u для балки на двох опорах, завантаженої посередині силою, з відомими розмірами поперечного перерізу і характеристиками бетону та сталі визначається за формулою (7).

В цих формулах:

σ_b - максимальне напруження в стиснутій зоні бетону; σ_s - максимальне напруження в розтягнутому сталевому листі; N_b - стискаюча сила, діюча на бетон; N_s - розтягуюча сила, що діє на сталевий лист; δ - товщина сталевго листа; b - ширина балки; l_p - розрахунковий проліт балки; R_s - розрахунковий опір сталі; R_b - розрахунковий опір бетону.

Крім руйнування по нормальному перерізу упори можуть руйнуватися, як було зазначено раніше, по контакту бетону і сталі. Для визначення міцності контакту листа і сталі розглянемо деформовану сталебетонну балку (рис. 2).

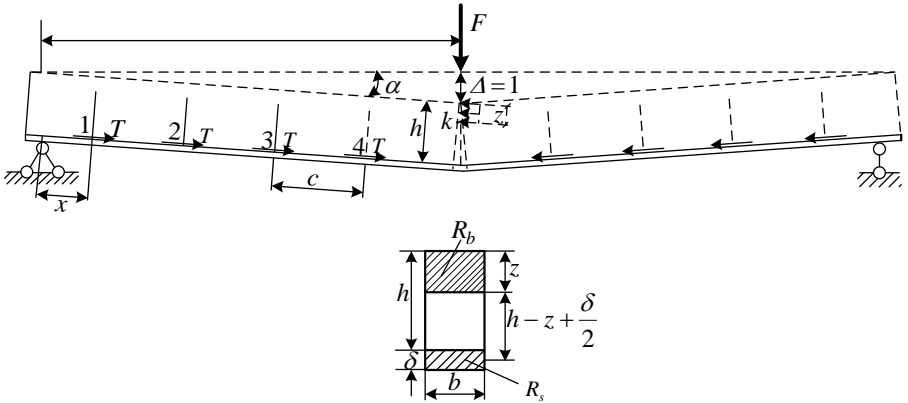


Рис.2. Деформована сталобетонна балка

Вводяться передумови:

1. Всі проміжні жорсткі упори, сприймають однакове зусилля.
2. Жорсткі упори відчують зріз, змінання.
3. Крок проміжних жорстких упорів приймається постійний.
4. Бетон під жорсткими упорами відчуває деформації зрізу і змінання.
5. Бетон між упорами відчуває деформації зрізу і розтягування.
6. Прогини малі порівняно з розмірами поперечних перерізів.

Приймаємо передумову, при якій прогини малі. Визначаємо кут повороту дисків при одиничному переміщенні Δ (рис.2).

Робота внутрішніх сил складається з роботи зсуву жорстких упорів A_y і роботи зусиль стиснутої зони бетону A_b .

Робота зсуву жорстких упорів виражається залежністю

$$A_y = 2 \cdot M'_k \cdot \alpha = 2 \cdot T \cdot n \cdot (h - z) \alpha = 2Tn(h - z) \frac{2\Delta}{l}, \quad (8)$$

де 2 – диски балки; T - сила зсуву або змінання одного упору; M'_k - момент сили T відносно точки k ; $\alpha = \frac{\Delta}{l/2} = \frac{2\Delta}{l}$ - кут повороту диска; n - число жорстких упорів.

Можна вважати граничним напруження в бетоні постійними по ширині балки b і рівним міцності бетону при одновісному стисканні (спрощення без суттєвої похибки).

Якщо визначати величину стиснутої зони бетону z з умови суми проєкцій сил на вісь X , тобто $Tn = R_{bn} \cdot z \cdot b \cdot n$, то це значення буде відрізнятися від значення, отриманого при виборі розмірів поперечного перерізу балки і визначенні числа упорів. Кількість упорів може бути не цілим числом. Цього не повинно бути. Значення це округлялось до цілого числа. При цьому змінювалися і величини z та T . Тому величину стиснутої зони бетону визначаємо за формулою (6).

Робота сил стиснутої зони бетону виражається залежністю

$$A_b = 2 \cdot M_{b(k)} \cdot \alpha = 2 \cdot R_b \cdot b \cdot \frac{z^2}{2} \alpha = 2 \cdot R_b \cdot b \cdot \frac{z^2}{2} \cdot \frac{2\Delta}{l}$$

Тут $M_{b(k)} = R_b b \frac{z^2}{2}$ - момент стисненої зони бетону відносно точки k .

$$A_b = 2 \cdot R_b \cdot b \frac{z^2 \Delta}{l}. \quad (9)$$

Повна робота внутрішніх зусиль

$$A = A_y + A_b = \frac{2\Delta}{l} [2Tn(h-z) + R_b b z^2]. \quad (10)$$

Робота зовнішніх сил

$$A_v = F_k \cdot \Delta. \quad (11)$$

Робота зовнішніх сил повинна дорівнювати роботі внутрішніх сил

$$F_k \cdot \Delta = \frac{2\Delta}{l} [2Tn(h-z) + R_b b z^2].$$

Звідси руйнівне значення контактної навантаження від зсуву бетону щодо сталевий смуги

$$F_k = \frac{2}{l} [2Tn(h-z) + R_b b z^2]. \quad (12)$$

За формулою (12) визначаємо руйнуючу контактну силу, якщо вона прикладена посередині балки. Порівнюємо величину контактної сили F_k з руйнуючою силою F_n по нормальному перерізу. Ці сили, а також розрахункова сила F_p можуть незначно відрізнятись, а можуть бути рівні між собою. Якщо сил менше від розрахункової сили більш ніж на 5%, то в якості розрахункової сили необхідно приймати цю силу.

Згідно [7], елементи із зовнішнім листовим армуванням в зоні дії поперечних сил необхідно перевіряти на руйнування бетону в балці по похилій тріщині поверх упору та на зріз упорів за похилою тріщиною.

Тут потрібно розглядати два випадки. Кілька упорів можуть розташовуватися в межах похилої тріщини. Другий випадок, коли в межах похилої тріщини упори відсутні.

Розглянемо перший випадок. Припустимо, що в межах похилої тріщини розташований упор. Відрив нижнього блоку від верхнього блоку утримує кілька сил. Це сила зрізу бетону посередині балки Q_b , сила розтягування упору N_y (передбачається, що сила тертя між упором і бетоном більше цієї сили) та сила, що розтягує Q_c . Відриваючою силою від верхнього нижнього блоку є сила N_b (рис. 3,б).

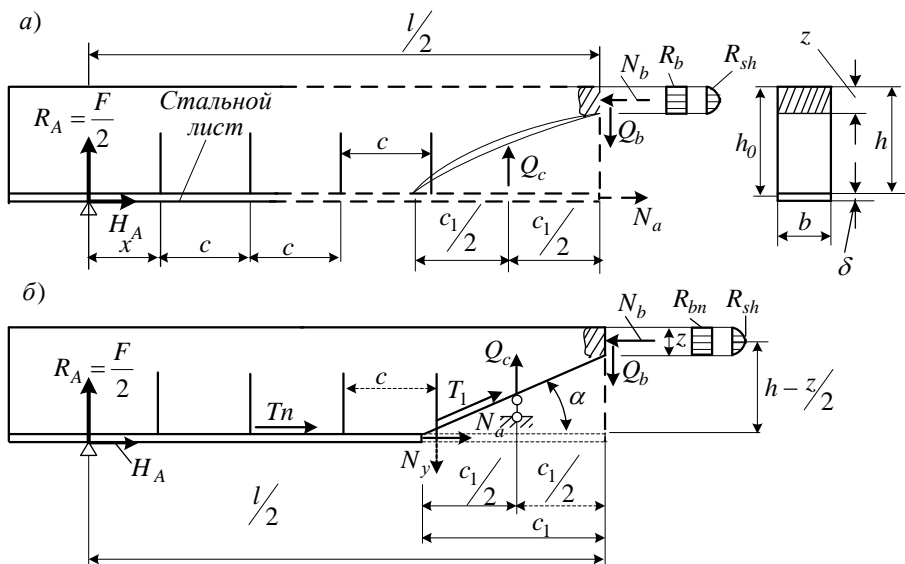


Рис.3. Руйнування сталобетонної балки по похилій тріщині

Руйнування бетону по похилій тріщині, згідно [7], відбувається від дії розтягуючих напружень в ньому. Для визначення розтягуючих напружень спочатку необхідно визначити розтягуючу силу Q_c . Для цього розглянемо рівновагу відірваного бетонного блоку поверх похилої тріщини (рис.3,б). Бетонний блок спирається на сталевий лист і відірваний блок всією площиною. Тому точна розрахункова схема являє собою балку на суцільній пружній основі (на сталевому листі і відірваному бетонному блоці).

Спрощену розрахункову схему представимо у вигляді балки на двох опорах, що спираються на сталевий лист і відірваний бетонний блок. Запишемо рівняння статки.

$$\Sigma M_a = 0; \quad -Q_c \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{c_1}{2} \right) + Q_b \left(\frac{l}{2} \right) - N_b \left(h - \frac{z}{2} \right) + N_y \cdot \left(\frac{l}{2} - c_1 + b_1 \right) = 0;$$

Звідси

$$Q_c = \frac{-N_b(2h - z) + Q_b \cdot l + N_y(l - 2c_1 + 2b)}{l - c_1}. \quad (13)$$

Проекція похилої тріщини взята, згідно [4]. Вона визначається з умови зсуву бетону поверх упору.

$$\frac{h_{yn}}{c_1} = \frac{1}{2}; \quad c_1 = 2h_{yn} = 2(h - z) = 2(0,162 - 0,045675) = 0,233 \text{ м}. \quad (14)$$

В цій формулі Q_b являє собою стискаючу силу верхнього блоку на нижній блок по похилій тріщині бетону. Визначається ця сила за формулою

$$Q_b = \frac{2}{3} b \cdot z \cdot R_{bh}. \quad (15)$$

Якщо в результаті розрахунку ця сила виявиться негативною, то по похилій тріщині відбудеться відрив нижнього блоку.

Сила розтягування упору визначається за формулою $N_y = A_{sh} \cdot R_s$. Величина N_b відома. У разі позитивної реакції опори Q_c відбувається тиск верхнього блоку на нижній блок, і відрив по похилій тріщині не відбудеться.

У цьому випадку із загальної площі перерізу упорів визначаємо напруження при їх зрізі від дії сили N_b . Отриманий результат повинен бути менше, або дорівнювати розрахунковому упору сталі при зрізі.

$$\sigma_{sh} = \frac{N_b}{nA_{sh}} \leq R_{sh}. \quad (16)$$

Розглянемо другий випадок, коли в межах похилої тріщини упори відсутні. В цьому випадку сила N_y відсутня. З формули (13) визначаємо значення Q_c . У разі позитивної реакції опори Q_c , відрив по похилій тріщині не відбудеться. Напруження в упорах перевіряють за формулою (16)

Але може бути такий випадок, що реакція опори Q_c буде негативною і упор в межах похилої тріщини відсутній. Відбудеться відрив нижнього блоку від верхнього блоку. У цьому випадку може відбутися руйнування балки від зрізу анкерів за похилою тріщиною між опорою і похилою тріщиною, тобто $T_1 = 0$. Перевіряємо умову зрізу балки по зрізу упорів за похилим перерізом (рис. 3,б).

З рівняння статки

$$\sum X = 0; \quad Tn - N_b + T_1 \cos \alpha = Tn - N_b + 0 = 0.$$

Якщо $Tn \geq N_b$, то зріз упорів не відбудеться. В іншому випадку необхідно збільшити число упорів.

Висновки

1. Даний алгоритм дозволяє при проектуванні сталобетонних балок здійснювати перевірку бетону на зминання під упорами і на відрив по похилій тріщині, а також на зріз сталевих упорів.

2. Алгоритм дозволяє в процесі експлуатації здійснювати діагностику сталобетонних балок. Особливо після тривалого терміну експлуатації і при змінних навантаженнях, так як в цьому випадку змінюються розрахункові опори бетону та сталі.

Список використаних джерел

1. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. М.: Высшая школа.- 1975. - 654с.
2. ДБН В.2.6-160:2010. Сталезалізобетонні конструкції. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 93 с.
3. Вахненко Л.Ф., Хілобок В.Г., и др. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий. «Будівельник»: 1987. - 423с.
4. Петров А.Н., Кобзева Е.Н., Красюк А.Г. Выбор оптимальных по стоимости параметров сталобетонных балок. Матеріали III міжнародної науково - практичної конференції. –Харків - Красний Ліман, 2015.- 317 с. С.330-336. 5. Стрелецкий Н.Н. Сталезалізобетонные пролетные строения мостов. М.: Транспорт. - 1981.- 360с.
6. A. Petrov, M. Pavliuchenkov, A. Nanka, A.Paliy Construction of an algorithm for the selection of rigid stops in steel concrete beams // Eastern-European Journal of Enterprise technologies. – 2019. – 1/7 (97). – P. 41–49.
7. Голосов В.Н., Залесов А.С., Бирюков Г.П. Расчет конструкций с внешним армированием при действии поперечных сил. – «Бетон и железобетон» №6, 1977-с.14-17.

Аннотация

РАЗРУШЕНИЕ БЕТОНА ПО НАКЛОННОЙ ТРЕЩИНЕ В СТАЛЕБЕТОННЫХ БАЛКАХ

Петров А.Н.

В статье приведен алгоритм проверки бетона на сминание под упорами и на отрыв по наклонной трещине, а также на срез упоров в сталебетонных балках. Алгоритм позволяет в процессе эксплуатации производить диагностику сталебетонных балок.

Abstract

DESTRUCTION OF CONCRETE ALONG AN INCLINED CRACK IN STEEL- CONCRETE BEAMS

A. Petrov

The article presents an algorithm for checking concrete for creasing under stops and for tearing along an inclined crack, as well as for cutting cuts in steel-concrete beams. The algorithm allows during operation to diagnose steel-concrete beams.