

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ЗГИНАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЗАВАНТАЖЕНИХ У МЕЖАХ ВИСОТИ ПЕРЕРІЗУ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО АРМУВАННЯ

© Канюк В.М., Сорока Я.В., 2009

Проведено аналіз характеру утворення і розкриття тріщин у згинаних залізобетонних елементах без поперечного армування; виділено характерні стадії напружено-деформованого стану бетону на ділянках відриву; зроблено висновки щодо причин руйнування таких елементів.

In the article the analysis of character of education and opening of cracks is conducted in bend reinforced-concrete elements without transversal re-enforcement, the characteristic stages of the tensely deformed state of concrete are selected on the areas of tearing away, conclusions are done in relation to reasons of destruction of such elements.

Постановка проблеми. Однією з найважливіших проблем будівництва є проектування ефективних конструкцій з мінімальною затратою будівельних матеріалів та забезпечення їх надійної роботи упродовж усього періоду експлуатації. Частково ця проблема вирішується поглибленим детальним вивченням напружено-деформованого стану і характеру руйнування залізобетонних конструкцій та створення на цій основі нових досконаліх методів розрахунку.

Сьогодні недосконалою є методика розрахунку згинаних елементів, завантажених в межах висоти перерізу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує загальноприйняте припущення, щоби запобігти відриву в місцях прикладення навантаження, потрібно встановити додаткову кількість поперечної арматури. Проте розбіжності виникають під час визначення кількості і характеру розподілення додаткової арматури. Наприклад, згідно з рекомендаціями, розробленими в [1], кількість цієї арматури необхідно приймати за величиною навантаження, яке прикладене у цьому перерізі, розподіляючи її рівномірно по обидва боки від осі вантаженої консолі чи другорядної балки на ділянці – $s = 2h_1 + b_1$, де h_1 – віддаль від низу арматури розрахункового перерізу до центра стиснутої ділянки навантаженої консолі; b_1 – ширина консолі. Висота прикладення навантаження, відсоток поздовжнього армування і робота бетону при цьому не враховується.

В [2] розрахунок на відрив елементів без поперечної арматури пропонується вести з умови рівності максимальних напружень розтягу в межах площадки завантаження, розрахункового опору бетону на розтяг, а у разі із поперечною арматурою – з умови повної передачі сил відриву на поперечну арматуру. Автором цієї роботи не враховується робота бетону під час визначення площі перерізу додаткової арматури.

У дослідженнях [3] міцність згинаних елементів, завантажених в межах висоти перерізу, визначається з врахуванням роботи бетону на ділянці відриву залежно від висоти нормальної тріщини «V» та поперечної арматури, яка потрапляє на ділянку відриву. Проте в роботі не враховані сили зачеплення між берегами нормальної тріщини та робота бетону на бокових ділянках від вантажної консолі.

Мета та завдання досліджень. Провести аналіз роботи елементів, завантажених в межах висоти перерізу без поперечної арматури, та вивчити чинники, що впливають на їх міцність. На механіку руйнування залізобетонних конструкцій із зосередженим навантаженням великий вплив

мають магістральні тріщини, які потрібно включати в розрахункову модель як об'єкт вивчення, що не враховано у вищепроведених роботах. З метою вивчення роботи бетону на ділянці локального завантаження зроблено аналіз досліджень описаних у [2, 3].

Дослідні зразки серії БІ приймалися розмірами поперечного перерізу $b \times h = 120 \times 300$ мм та прольотом $l_{ef} = 540, 900$ та 1350 мм, що відповідало прольоту зрізу $a = h_0, 1,7h_0$ та $2,5h_0$. Поздовжня та поперечна арматура на ділянці, нижче від рівня прикладення навантаження, була відсутня. Для запобігання руйнуванню дослідних елементів в нормальних перерізах робоча арматура розміщувалася вище від рівня прикладення навантаження (рис. 1).

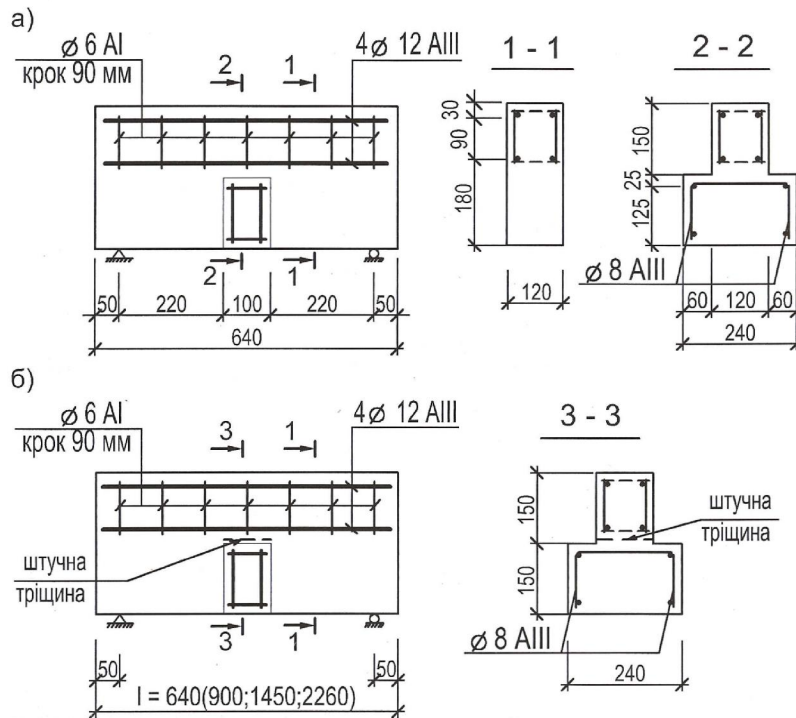


Рис. 1. Конструкція дослідних елементів серії БІ

Навантаження на елемент передавалося через консолі, що розміщалися в середині прольоту з нижньої неармованої частини балки заввишки $0,5h_0$.

В усіх зразках найбільше деформації спостерігалися у нижній частині ділянки завантаження. До появи тріщини навантаження передається по усій висоті консолі. Характер розвитку тріщин в елементах серії БІ показано на рис. 2.

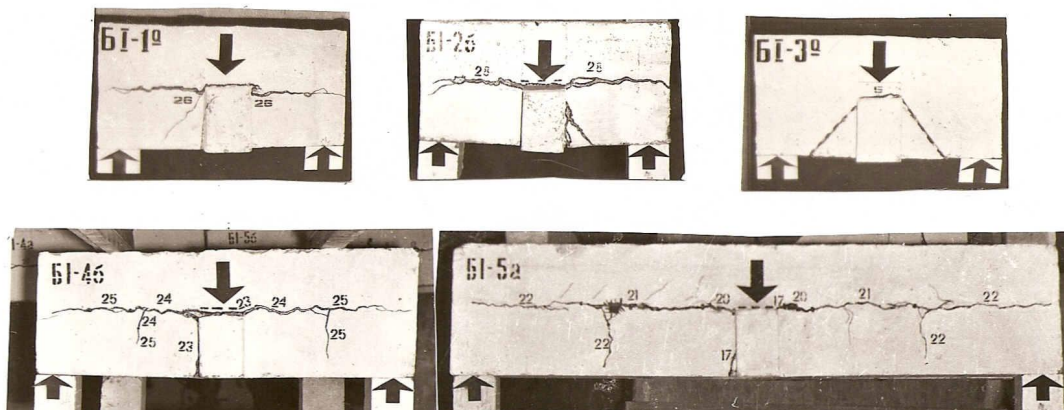


Рис. 2. Характер руйнування дослідних зв'язків серії БІ

На першій стадії роботи бетону граничні напруження біля консолі на нижній грані елемента знаходяться в межах $\sigma_x \leq R_{bt}$. Одночасно на ділянці передачі навантаження виникають значні напруження « σ_x » та « τ_{yx} » (рис. 3, а).

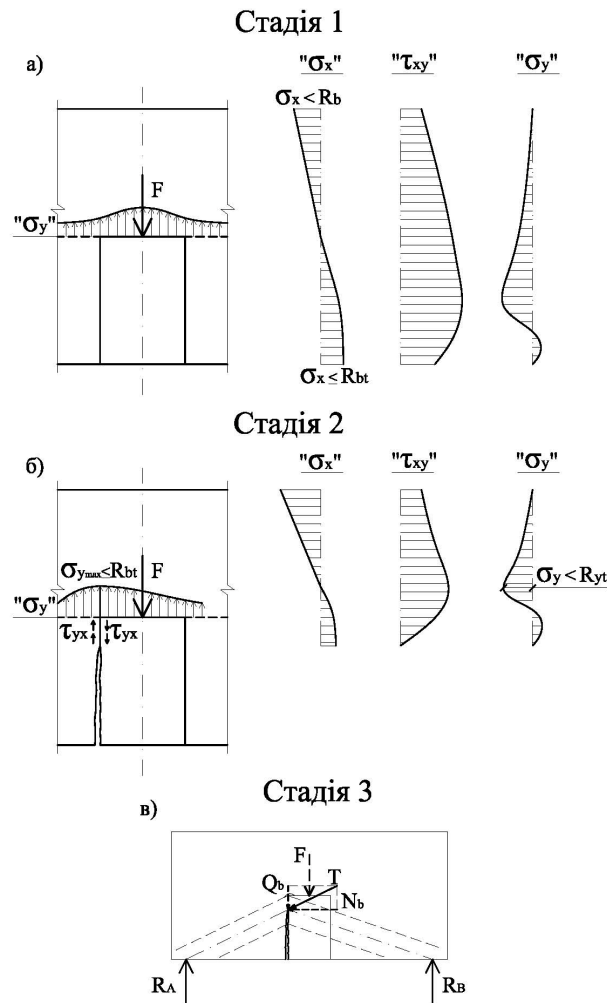


Рис. 3. Особливості розподілу напруження бетону на ділянці відриву в елементах, завантажених в межах висоти перерізу без поперечного армування

Поява та розвиток нормальних і похилих тріщин біля консолі у нижній частині ділянки завантаження пояснюється найбільшими нормальними напруженнями на нижній грані зразка та значними напруженнями на ділянці передачі навантаження від консолі на масив зразка.

Друга стадія роботи бетону характеризується появою та розвитком нормальних тріщин біля консолі. Як бачимо із характеру руйнування зразків серії БІ-1, БІ-2 (рис. 2), нормальні тріщини біля консолі змінюють напрям до площадки завантаження. Тріщини розділяють зразок на два блоки, а їх розкриття зменшує контактну площу (через яку передається навантаження на зразок) із масивом зразка, що призводить до значного зростання дотичних напружень на ділянці передачі навантаження. Цю тріщину можна вважати тріщиною першого порядку. Тріщини першого порядку розвиваються від нижньої розтягнутої грані у стиснуту (рис. 2).

Концентрацію напружень на рівні верхньої грані консолі доповнює також раптова зміна розмірів зразка виступами консолі. Враховуючи ефект концентрації місцевих напружень на краю верхньої площадки завантаження, можна допустити, що тріщини відриву формуються в крайових точках верхньої грані, які супроводжують розвиток горизонтальної тріщини, внаслідок чого відбувається активна передача навантаження на ділянки бетону біля бокових граней консолі.

Третя стадія роботи бетону – передача навантаження на бокові ділянки від площадки завантаження та руйнування зразка. Між похилою та вертикальною тріщинами утворюється смуга

бетону, через яку передається навантаження на бокові ділянки. Тобто частина зразка нижче від горизонтальної тріщини починає працювати як розпірна конструкція. Внаслідок розкриття нормальної та похилої тріщин відбувається поворот нижніх бетонних блоків навколо осі, що проходить через центр ваги затиснутих частин бетону. Виникає сила розпору « T_p », що направлена до опори, яку можна розкласти на горизонтальну складову « N_b » та вертикальну « Q_b » (рис. 3, в). Під впливом вказаних сил на верхній грані умовної призми виникають значні розтягувальні напруження, які призводять до розвитку тріщини, направленої зверху до опори – тріщини відриву. У похилій тріщині виникають сили опору зрізу бетону, а також сили зачеплення між берегами похилої тріщини, тому руйнування елементів настає внаслідок відриву умовної розпірної призми від стиснутої ділянки дослідного елемента.

У зразку БІ-4^б нормальна тріщина пройшла до верхньої грані консолі. Подальша передача навантаження з консолі на масив зразка проходить за рахунок сил зачеплення, які виникають між берегами нормальної тріщини. У точках на рівні навантаженої консолі на берегах нормальної тріщини виникає концентрація нормальних напружень σ_y , які досягають граничних значень, з'являється горизонтальна тріщина. Під час переміщення консолі вниз і повороту розділених частин бетону на верхніх берегах тріщини виникають зусилля стиску, які збільшують сили зачеплення і передають навантаження на бокові від консолі ділянки бетону. Подальший перерозподіл зусиль відбувається за описаною вище схемою.

У зразках групи БІ-2^а та БІ-2^б на рівні верхньої грані консолі закладалися штучні тріщини (на рис. 1 показані пунктирною лінією), які не вплинули на міцність елемента та характер його руйнування.

Поздовжня арматура у нижній частині зразків серії БІІ (рис. 4) значно підвищили їх несучу здатність порівняно із взірцями серії БІ, а також змінили характер їх тріщиноутворення.

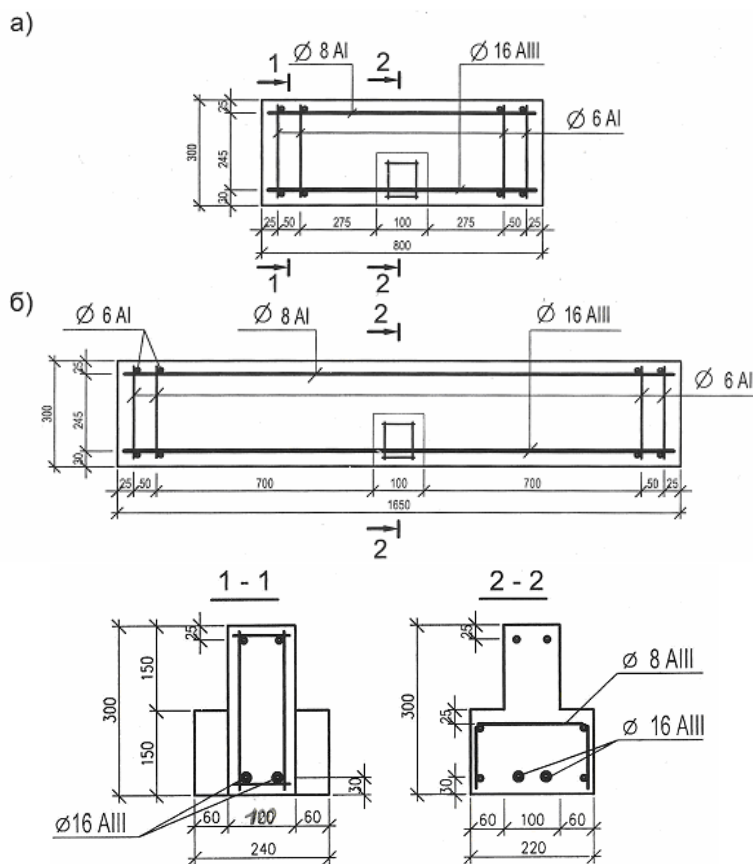


Рис. 4. Конструкція дослідних зразків серії БІІ

Поздовжня арматура сприймає зусилля розтягу та зменшує ширину розкриття тріщин на найзавантаженіших ділянках. Крім того, з'являються нормальні тріщини на бокових від консоли ділянках, які змінюють свій напрям в бік ділянки завантаження. Зменшення ширини розкриття нормальних тріщин дає можливість ефективніше включити в роботу бетон (рис. 5).

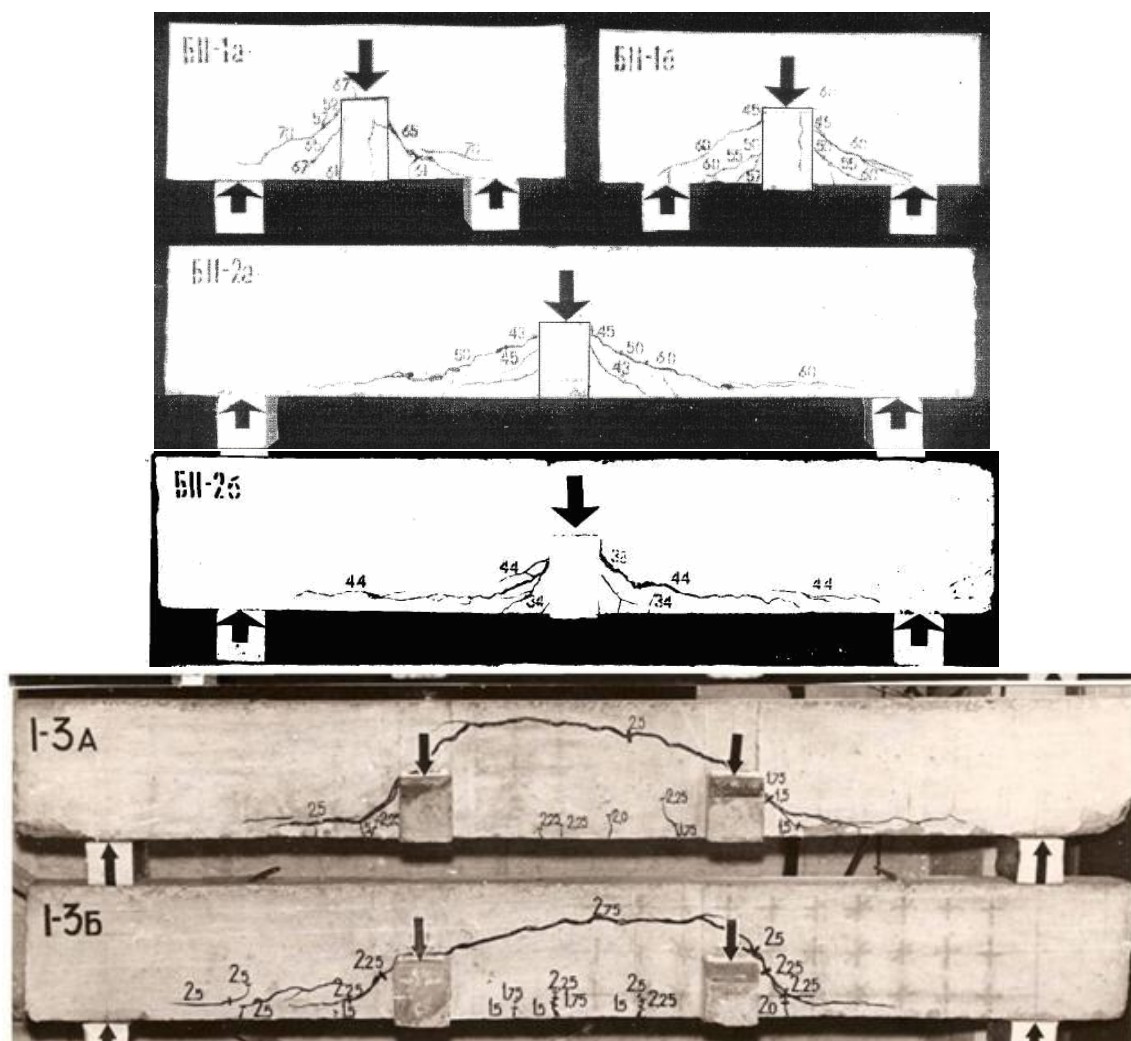


Рис. 5. Характер руйнування зразків серії БІІ та І-2АБ, І-3АБ

Характер утворення тріщин у взірцях серії БІІ на першій та другій стадіях роботи відповідає характеру розвитку тріщин в дослідних елементах серії БІ. Тріщини першого порядку з'являються на рівні робочої поздовжньої арматури, які розвиваються в бік ділянки завантаження. Із збільшенням навантаження з'являються тріщини на рівні робочої арматури консоли і розвиваються зверху до робочої арматури балки – критична тріщина відриву. Розвиток критичної тріщини відриву формується біля однієї бокової грані консоли, яка в подальшому розвивається в обидва боки.

Напружений стан на ділянці відриву промодельований за допомогою методу скінченних елементів з використанням реальних діаграм деформації бетонної арматури [4]. Отримані результати дають пояснення характеру руйнування елементів (рис. 5).

У досліді [2] балки І-2АБ та І-3АБ розміром поперечного перерізу $b \times h = 120 \times 300$ мм прольотом $l_{ef} = 2100$ мм завантажувалися через дві консоли, віддалені від опори на віддалі 700 мм. Отримані результати підтверджують вищепроведені доводи.

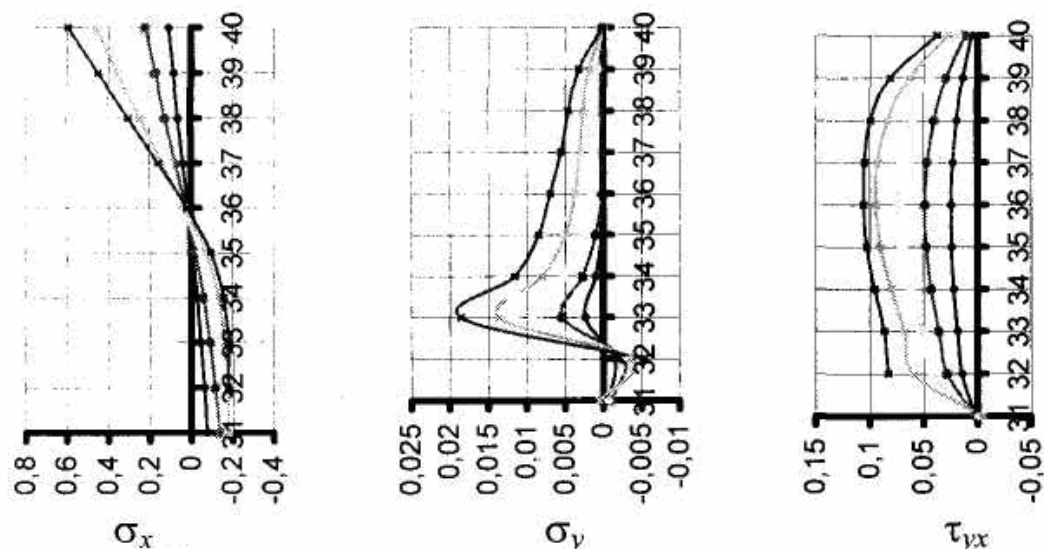


Рис. 6. Розподіл напружень по висоті поперечного перерізу, одержаний за методом скінченних елементів, з урахуванням реальної діаграми « $\sigma - \epsilon$ » бетону та арматури

Руйнування елементів І-2АБ та І-3АБ проходить з боку максимальних поперечних сил від вантажної консолі до опори. Тріщина відриву між консолями є результатом після дії (що не впливає на несучу здатність елемента). Між консолями, де поперечна сила відсутня, виникають тільки нормальні тріщини.

Висновки:

1. За локально завантажених згинаних елементах без поперечної арматури в межах висоти перерізу можна виділити три напружено-деформовані стадії роботи:

– перша стадія – відсутність тріщин, що забезпечуються умовами: $\sigma_x \leq R_{bt}$; $\sigma_y \leq R_{bt}$;

– друга стадія – розвиток нормальних та похилих тріщин у нижній частині ділянки завантаження; головні напруження розтягу на рівні верхньої грані площадки завантаження досягають граничних значень бетону під час роботи на розтяг: $\sigma_{mt} \leq R_{bt}$;

– третя стадія – поява похилих тріщин на рівні робочої арматури консолі, що призводять до розвитку критичної тріщини відриву.

2. Робоча поздовжня арматура розподіляє зусилля розтягу по довжині балки. Зменшує висоту розвитку тріщин, що збільшує силу зачеплення між її берегами та забезпечує передачу навантаження з боків від консолі.

3. Нагальний ефект під час роботи елемента на відрив не враховується, оскільки він проявляється на стадії руйнування.

4. Під час розрахунку міцності згинаних елементів, завантажених в межах висоти перерізу елемента без поперечної арматури, потрібно розглядати робочу висоту бетону в межах площадки завантажень.

1. Биришанський М.С. Рекомендации по расчету балок с нагрузкой приложенной в прольотах высоты сечения: Научно-технический отчет / НИИЖБ / Наряд №101-65-63Б. – М., 1965. 2. Ониськів Б.М. Исследование прочности изгибаемых железобетонных элементов на действие поперечных сил при различном положении сосредоточенных нагрузок на высоте сечения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 052301/НИИСК/Госстроя СССР. – К., 1976. – 18 с. 3. Канюк В.М. Міцність залізобетонних згинаних елементів, завантажених в межах висоти перерізу: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 052301/НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2002. 4. Канюк В.М. Напружено-деформований стан залізобетонних балкових елементів, завантажених у межах висоти перерізу // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: РДТУ. – 2001. – №6. – С. 167–172.