

УДК 624.012.4-183.2:624.94.012.45:624.046.2

АНАЛІЗ РОБОТИ КОНТАКТНОГО ШВА МІЖ БЕТОНАМИ РІЗНИХ КЛАСІВ У ЗГИНАНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТАХ

THE CONTACT SEAM WORK ANALYSIS BETWEEN CONCRETES OF DIFFERENT CLASSES IN BENT REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Романенко Д.Б., магістр з будівництва, викладач, [ORCID 0009-0004-1265-4535](https://orcid.org/0009-0004-1265-4535) (ВСП «Рубіжанський фаховий коледж» ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»); **Душин В.В.**, к.т.н., доцент, [ORCID 0000-0002-7818-9216](https://orcid.org/0000-0002-7818-9216) (Сумський національний аграрний університет)

Romanenko D.B., master's degree in construction, teacher, [ORCID 0009-0004-1265-4535](https://orcid.org/0009-0004-1265-4535) (The Separated Structural Subdivision Rubizhne Professional College of State Institution «Luhansk Taras Shevchenko National University»); **Dushyn V.V.**, PhD, Associate professor, [ORCID 0000-0002-7818-9216](https://orcid.org/0000-0002-7818-9216) (Sumy National Agrarian University)

Виконано аналіз існуючих теоретичних підходів визначення зусиль у контактному шві між бетонами різних класів у композитних залізобетонних елементах, що працюють на згин. Наведено особливості руйнування по контактному шву особисто експериментально досліджених бібетонних армованих балок.

The development of the building structure nomenclature involves the search for new types of elements made of one material or in combination of several materials for their joint mutually beneficial operation, reduction of their cost while ensuring the same load-bearing capacity, increase of manufacturability, etc. One of the methods to restore the performance of reinforced concrete bent elements is strengthening their compressed zone. That is why the replacement of stretched concrete in such structures with cheaper material, such as concrete of a lower strength class or with porous fillers, is an urgent issue. Solving the issue of joint operation of the layers of concrete structures has a decisive impact on their overall bearing capacity. Theoretically, the operation of the contact seam can be analyzed to the fullest extent possible using the design dependencies set out in existing regulatory documents. Experimental tests were carried out on five types of concrete beams with different concrete height ratios of different classes. The beams had a rectangular cross-section with dimensions $b \times h = 100 \times 150$ mm. The length of the beams was 1200 mm. The upper compressed part of the beams was made of C20/25 concrete, and the lower tensile part was made of C12/15 concrete.

The beam was reinforced with two Ø12 mm reinforcing bars of A400C class periodical profile in the tensile zone. The beams were tested in a single-span hinged-supported scheme with a clean bend in the middle of the span. The experimental results showed that beams with a height ratio of $h_{C20/25}/h_{C12/15}=3$ have the largest margin of safety.

Ключові слова: залізобетон, багатошаровий, класи бетону, контактний шов, згин, аналіз, теоретичні залежності, експеримент.
reinforced concrete, multilayer, classes of concrete, contact seam, bending, analysis, theoretical dependencies, experiment.

Вступ. Створення ресурсощадних будівельних конструкцій передбачає пошук їх нових типів з одного матеріалу чи у поєднанні декількох матеріалів для сумісної взаємовигідної їх роботи, зменшення їх вартості при забезпеченні тієї ж несучої здатності, підвищення технологічності виготовлення тощо. Під час відновлення експлуатаційних якостей залізобетонних згинаних елементів одним з методів є підсилення їх стиснутої зони влаштуванням додаткового шару бетону [3]. При цьому часто бетон підсилення має вищий клас за існуючий. У розрахунку загальної несучої здатності конструкції розтягнутий бетон не враховується [7], а тільки підвищує її вагу, а отже і затрати на виготовлення. Саме тому заміна розтягнутого бетону у таких конструкціях на більш дешевий матеріал, наприклад бетон меншого класу по міцності чи із пористими заповнювачами, є актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень. Вирішення питання сумісної роботи шарів багатошарових згинаних конструкцій має вирішальний вплив на їх загальну несучу здатність [9]. У роботі [11] наведено результати експериментального дослідження статичного та втомного руйнування межі розшарування з'єднання між бібетонними матеріалами. Досліджені бібетонні балки склалися із двох шарів: паротвердіючого та самоущільнювального бетонів. Результати досліджень показують, що процес розшарування бібетонних зразків при статичному навантаженні складається з трьох стадій: лінійна стадія, стадія прискорення і стадія крихкого руйнування. Проте у роботі не вказано зусилля на границях цих стадій. Значення втомної міцності склало 0,418 від статичного граничного навантаження при розколюванні.

В існуючих публікаціях підсилених залізобетонних конструкцій над бетонуванням теж виконувалось дослідження роботи контактного шва. Зокрема, під керівництвом Барашикова А.Я. виконано порівняння підсилення експериментально випробуваних різних балок: непідсилених, підсилені шаром сталевібробетону, полімербетоном, армованим полімербетоном, дрібнозернистим бетоном і арматурою та інші [1; 2]. У порівнянні з непідсиленними зразками, усі способи підсилення значно збільшили несучу здатність. Для балок, підсилених шаром армованого сталевібробетону та

полімербетону, несуча здатність збільшилася приблизно в 1,4 рази. Єрмоєнко О.Ю. у своїх дослідженнях балок підсилених шаром армованого дрібнозернистого бетону визначив, що показник збільшення несучої здатності становить близько 1,18 [5].

Слід відмітити, що підсилення залізобетонних елементів виконують не лише збільшенням поперечного перерізу при обетонуванні, а і влаштуванням попереднього напруження у зоні розтягнутого бетону [10]. Дослідження такого способу підвищення несучої здатності залізобетонних конструкцій не відповідає задачам досліджень і в подальшому не розглядався.

Виділення невирішеної частини поставленої проблеми. У проаналізованих роботах недостатньо приділено уваги загальному аналізу теоретичного підходу визначення зусиль та напружень у контактному шві багатошарових згинаних конструкцій.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є аналіз існуючих теоретичних підходів визначення зусиль у контактному шві між бетонами різних класів, що впливають на загальну несучу здатність, а також розгляд результатів власних експериментальних досліджень багатошарових залізобетонних конструкцій, що працюють на згин.

Розгляд теоретичних підходів аналізу роботи контактних швів багатошарових залізобетонних згинаних конструкцій. У багатошарових згинаних конструкціях особливої уваги заслуговує дослідження роботи контактного шва, що безпосередньо впливає на сумісну роботу бібетонних конструкцій [9]. Відомо, що в зоні контакту двох бетонів, виникає складний напружено-деформований стан. У зоні контакту виникає одночасний вплив розтягуючих або стискаючих, а також зсувних зусиль [7]. Загальну несучу здатність багатошарової конструкції може визначати величина останніх. Низька міцність зони контакту обмежує можливість застосування багатошарових залізобетонних конструкцій. Нижче наведено деякі експериментальні дослідження у цій області.

Дослідження роботи контактних швів, проведених Ковалем П.М. і Стояновичем С.В., детально наведено у [6]. Були виготовлені та випробувані п'ять дослідних балок розміром 1500×220×120 мм з нарощуванням у стиснутій зоні товщиною 50 мм. Випробування проведено для експериментального дослідження підсилених залізобетонних конструкцій з жорстким контактним швом сполучення основної та додаткової частини конструкції. На ділянці біля опори руйнування дослідних балок, у стиснутій зоні підсилених нарощуванням, відбувалося крихко за похилим перерізом зі зсувом елемента нарощування. Про абсолютну жорсткість шва свідчить відсутність деформацій зсуву у зоні контактного шва сполучення основної конструкції та бетону нарощування до моменту руйнування.

Значення зсувного зусилля у контактному шві у [6] визначали завдяки експериментальних відносних деформацій перед руйнуванням і фактичною діаграмою деформування бетону нарощування:

$$T_u^{exp} = \sum \sigma_{b,ad,i} \cdot A_{b,ad,i} \quad (1)$$

Задовільну збіжність теоретичного розрахунку дослідних балок, показує порівняння розрахункових значень граничного зсувного зусилля та руйнуючого згинального моменту у контактному шві.

Patnaik A.K. та Loov R.E. провели випробування 16 збірно-монолітних балок, які мали шорстку поверхню контакту, вивчаючи міцність на зрізування горизонтального контактного з'єднання. Випробувано шістнадцять балок, з яких дванадцять були виготовлені з бетону, який мав міцність на стиск $f_c' = 35$ МПа, ще дві $f_c' = 20$ МПа та останні дві $f_c' = 45$ МПа. Для визначення граничного опору армованого контакту, була запропонована розрахункова залежність на основі виконаних дослідів:

$$V_u = k \cdot \lambda \cdot \sqrt{(0.1 + p_v + f_y) \cdot f_c'} \leq 0.25 \cdot f_c', \quad (2)$$

де V_u - опір контакту зсуву;

$k = 0,6$ - для монолітного бетону; $k = 0,5$ - для збірно-монолітної конструкції з шорсткою поверхнею контакту;

p_v - коефіцієнт поперечного армування, яке перетинає зону контакту;

λ - коефіцієнт виду бетону.

На основі зіставлення результатів розрахунків граничних опорів зсуву за (2) з результатами випробувань дослідних зразків з початковими тріщинами автори зробили наступні висновки:

- тангенціальні переміщення у стику, які дорівнюють 0,5 мм, призводять до текучості поперечної арматури, якщо межа текучості арматури складає не більше ніж 440 МПа для балок, zaprojektovanih z urahuvanniam zaproponovanogo rivnyannya (2);

- значними були тангенціальні переміщення та напруження у поперечній арматурі випробуваних балок до тих пір, поки напруження у контактному шві не досягли значень від 1,5 до 2,0 МПа;

Згідно методики [4] перевірку міцності контактних швів між підсилюваною конструкцією та шаром підсилення виконують за формулою:

$$Q_{sh} \leq Q_{sh,u}, \quad (3)$$

де $Q_{sh,u}$ - граничне зсувне зусилля, яке сприймає контактний шов;

Q_{sh} - зсувне зусилля у шві від дії зовнішнього навантаження.

Розрахунок міцності контактних швів, для вільно лежачих конструкцій (балок і балкових плит), виконують на ділянці між вільним торцем конструкції та похилим перерізом біля опори. Зсувне зусилля у шві від дії зовнішнього навантаження визначають за формулою:

$$Q_{sh} = (M - M_{sw}) / z, \quad (4)$$

де M - момент у нормальному перерізі від зовнішнього навантаження, що перетинає кінець розглядуваного похилого перерізу біля стиснутої грані;

$M_{sw} = 0.5 \cdot (q_{sw1} + q_{sw}) \cdot c^2$ - момент, який сприймає в розглянутому похилому перерізі, поперечна арматура;

$z = 0.9 \cdot h_0$ - плече поздовжніх сил у похилому перерізі внутрішньої пари;

c - довжина проекції похилого перерізу на поздовжню ось конструкції.

Довжину поверхні зсуву l_{sh} приймають такою, що дорівнює відстані від точки у якій похилий переріз перетинає поверхню контакту до торця конструкції:

$$l_{sh} = l_0 - l_1, \quad (5)$$

де l_0 - відстань від кінця похилого перерізу біля стиснутої грані до торця конструкції;

$l_1 = c \cdot (h_{sh} / h_0)$ - відстань від кінця поверхні зсуву, до кінця похилого перерізу біля стиснутої грані;

h_{sh} - відстань від стиснутої грані конструкції до геометричного центру поверхні зсуву.

Граничне зсувне зусилля, яке сприймає контактний шов, визначають за формулою:

$$Q_{sh,u} = b_{sh} \cdot l_{sh} \cdot R_{sh}, \quad (6)$$

де b_{sh} - розрахункова ширина поверхні зсуву;

R_{sh} - розрахунковий опір зсуву контактної шва, середньої за довжиною ділянки зсуву;

l_{sh} - довжина розрахункова поверхні зсуву.

Середній сумарний розрахунковий опір зсуву контактної шва приймають за сумою у загальному випадку:

$$R_{sh} = R_{sh,n} + R_{sh,b} + R_{sh,s} \quad (7)$$

де $R_{sh,n}$ - опір шва зсуву за рахунок роботи поперечних шпонок;

$R_{sh,b}$ - опір шва зсуву за рахунок зчеплення, обтиснення бетону та механічного зачеплення;

$R_{sh,s}$ - опір шва зсуву за рахунок роботи на зрізування, що перетинає шов, поперечної арматури.

У формулу (7) може додаватися розрахункове значення опору шва зсуву за рахунок роботи клею у випадку його наявності у зоні контакту. Значення опору визначається або експериментально, або з технічної документації, яка додається до клею.

Опір шва зсуву $R_{sh,b}$ за рахунок зчеплення, обтиснення бетону та механічного зачеплення визначають за формулою:

$$R_{sh,b} = \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} \cdot f_{ctd} \cdot \left(1 + \gamma_{b4} \cdot \frac{\sigma_{bm}}{f_{ctd}} \right), \quad (8)$$

де γ_{b1} - коефіцієнт, який враховує вплив навантаження, багаторазово повторюваного;

γ_{b2} - коефіцієнт, що враховує вплив навантаження тривалої дії;

γ_{b3} - коефіцієнт, який враховує вплив стану зчеплення з бетоном на поверхні контактної шва;

f_{ctd} - опір розрахунковий бетону підсилення на розтяг;

γ_{b4} - коефіцієнт, який враховує при його обтисненні вплив стану поверхні контактної шва;

$\sigma_{bm} = Q_2 / (l_{sh} \cdot b_{sh})$ - середнє напруження обтиснення контактної шва;

l_h та b_h , - довжина поверхні контакту та ширина горизонтальної ділянки поверхні контакту;

Q_2 - опорна реакція.

Для підвищення міцності з'єднання двох бетонів можливе застосування композицій на основі епоксидного, акрилового та інших видів синтетичних клеїв, що є найменш трудомістким. Необхідність у більшості випадків визначати фізико-механічні властивості клеїв самостійно та досить висока вартість синтетичних клеїв є основними недоліками цього способу.

За рахунок роботи поперечної арматури $R_{sh,b}$, опір шва зсуву визначається:

$$R_{sh,b} = 0.65 \cdot \sqrt[3]{f_{cd}^2 \cdot E_s \cdot \mu_{sw}} \leq 0.7 \cdot \mu_{sw} \cdot R_{sw}, \quad (9)$$

де R_{sw} - опір розрахунковий поперечної арматури розтягу;

f_{cd} - опір розрахунковий бетону підсилення на стиск;

$\mu_{sw} = A_{sw} / (b_{sh} \cdot S)$ - коефіцієнт армування поперечною арматурою контактної шва.

Встановлення додаткової поперечної арматури є найбільш трудомістким улаштуванням контактної шва. Проте для значного підвищення міцності контактної шва цей спосіб є одним з найбільш ефективних.

Опір шва зсуву за рахунок роботи поперечних бетонних шпонок, горизонтальних або вертикальних, приймають меншим із значень:

$$R_{sh,n} = \frac{R_{bj} \cdot b_n \cdot h_n \cdot n}{b_{sh} \cdot l_{sh}} \quad \text{або} \quad R_{sh,n} = \frac{2 \cdot R_{btj} \cdot b_n \cdot l_{nj} \cdot n}{b_{sh} \cdot l_{sh}}, \quad (10)$$

де R_{btj} та R_{bj} - розрахункові розтягу бетону та опори стиску шпонок; n - кількість шпонок, яку вводять до розрахунку;

l_{nj} , h_n , b_n - довжина висота і ширина, шпонок.

Міцність шпонок бетону підсилення (R_{b2} , R_{bt2} , l_{n2}) і міцність шпонок підсилюваної конструкції (R_{bl} , $R_{bt,l}$, l_{nl}), враховують при розрахунку.

В залежності від характеру контактної шва - плоского або ребристого - визначають розрахункову ширину поверхні зсуву b_{sh} . При плоскому контактному шві b_{sh} приймають такою, що дорівнює ширині контакту у місці сполучення бетону підсилення та підсилюваної конструкції: $b_{sh} = b$. При ребристому контактному шві з повздовжнім ребром b_{sh} приймають по найбільш небезпечній поверхні зсуву: по всій поверхні контакту, $b_{sh} = b_1 + 2h_{r1}$, або по поверхні, яка містить поверхню контакту та бетон підсилення, $b_{sh} = b_1$ або $b_{sh} = b_1 - b_{r1} + 2h_{r2}$.

Спосіб улаштування контактної шва за допомогою шпонок може бути досить ефективним, особливо в зоні контакту синтетичних клеїв при додатковому використанні, але є досить трудомістким і потребує приділяти велику увагу при ущільненні бетону підсилення.

Результати власних експериментальних випробувань бібетонних армованих балок. Згідно поставленій задачі, а саме оптимізації геометричних параметрів бетонів різних класів по висоті перерізів згинаних залізобетонних конструкцій, було випробувано 5 типів залізобетонних однопролітних балок прямокутного поперечного перерізу розміром $b \times h = 100 \times 150$ мм [8]. Довжина балок складала 1200 мм. Верхня стиснута частина балок виконувалася із бетону класу C20/25, а нижня розтягнута частина – із бетону класу C12/15. На рисунку 1 показано поперечні перерізи досліджених 5 типів балок із різною висотою двох класів бетону. Робоче армування балок виконувалось двома арматурними стержнями $\varnothing 12$ мм періодичного профілю класу A400C у розтягнутій зоні. Завантажувалися балки двома силами рівновіддаленими від опор, таким чином, щоб посередині балки виникала ділянка із чистим згином. На кінцях балки мали шарнірні опори. На рисунках 2 і 3 показано загальний вигляд експериментально досліджених бібетонних балок та характер їх руйнування.

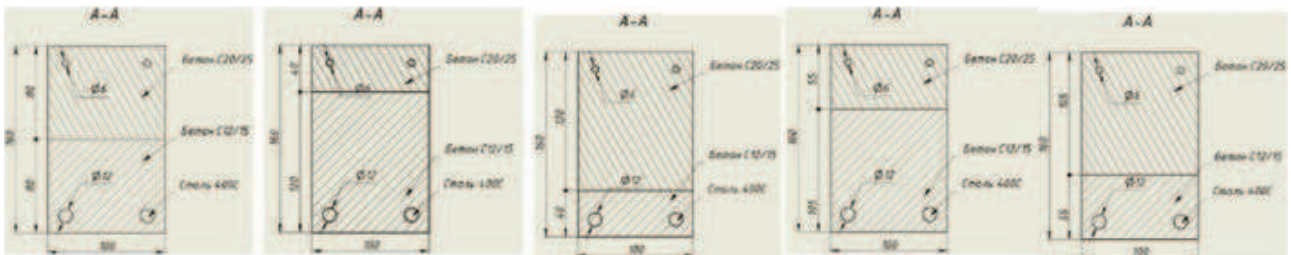
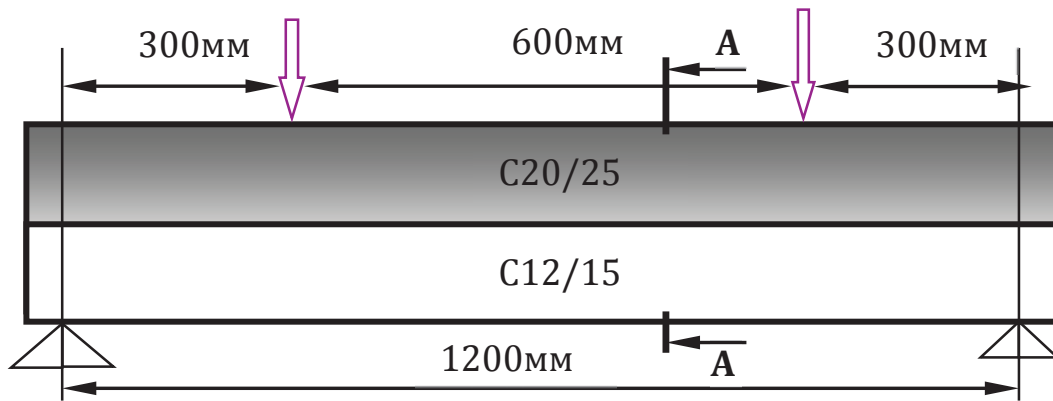


Рис. 1 – Геометричні параметри досліджених п'яти типів бібетонних балок

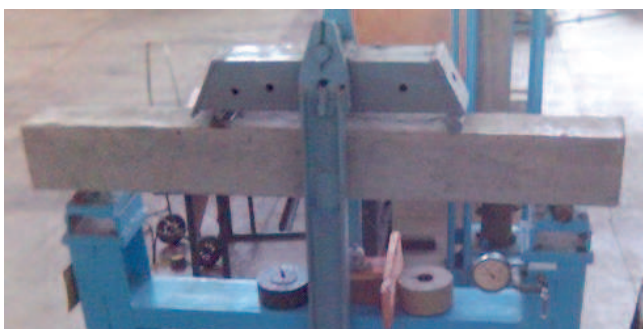


Рис. 2 – Загальний вигляд бібетонних армованих балок під час експериментальних досліджень



Рис. 3 – Загальний вигляд типового руйнування балок за похилою тріщиною по контактному шву

Висновки. Запропоноване конструктивне рішення використання багатошарових залізобетонних конструкцій дозволяє зменшити вартість виготовлення згинаних конструкцій за рахунок застосування у розтягнутій зоні бетону нижчого класу. Вирішення питання сумісної роботи шарів бібетонних конструкцій має вирішальний вплив на їх загальну несучу здатність. Існуючі теоретичні підходи аналізу роботи контактних швів багатошарових залізобетонних згинаних конструкцій дозволяють враховувати шорсткість поверхонь бетонів у шві, можливість застосування синтетичних клеїв під час виготовлення, наявність і геометричні параметри шпонок та поперечного армування у контактному шві.

Проведені експериментальні випробування п'яти типів бібетонних балок прямокутним поперечним перерізом 100×150 мм робочою довжиною 1200 мм із різним співвідношенням висот бетонів різного класу. Верхня стиснута частина балок виконувалася із бетону класу С20/25, а нижня розтягнута частина – із бетону класу С12/15. Робоче армування балок виконувалось двома арматурними стержнями Ø12 класу А400С у розтягнутій зоні. Балки випробувалися по одно пролітній шарнірно опертій схемі із ділянкою чистого згину посередині прольоту. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що балки із співвідношенням висот $h_{C20/25}/h_{C12/15}=3$ мають найбільший запас несучої здатності.

1. Барашиков, А.Я., Блалі ель Мустафа (2003). Вплив способу підсилення на міцність, тріщиностійкість та прогини залізобетонних балок. Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 9, 416-424.

Barashykov, A.YA., Blali el' Mustafa (2003). Vplyv sposobu pidsylennya na mitsnist', trishchynostiykist' ta prohyny zalizobetonnykh balok. Zb. nauk. pr. NUVHP: Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy, 9, 416-424.

2. Барашиков, А.Я., Сунак, О.П., Боярчук, Б.Я. (2000). Експериментальні дослідження згинальних залізобетонних елементів, підсилені різними способами. Зб. наук. пр. НУВГП: Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 5, 294-297.

Barashykov, A.YA., Sunak, O.P., Boyarchuk, B.YA. (2000). Eksperymental'ni doslidzhennya z'hynal'nykh zalizobetonnykh elementiv, pidsylenykh riznymy sposobamy. Zb. nauk. pr. NUVHP: Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy, 5, 294-297.

3. Гасенко, А.В., Кириченко, В.А., Крупченко, О.А. (2013). Чисельні дослідження напружено-деформованого стану пошкоджених залізобетонних ребристих плит покриття. Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво, 4 (39), Т.1, 78-83.

Hasenko, A.V., Kyrychenko, V.A., Krupchenko, O.A. (2013). Chysel'ni doslidzhennya napruzhenno-deformovanoho stanu poshkodzhennykh zalizobetonnykh rebrystyx plyt pokryttya. Zb. nauk. pr. PNTU. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo, 4 (39), Т.1, 78-83.

4. ДБН В.2.6-98:2009. (2009). Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України.

DBN V.2.6-98:2009. (2009). Betonni ta zalizobetonni konstruktsiyi. Osnovni polozhennya proektuvannya. Kyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy.

5. Єр'оменко, О.Ю. (2006). Ефективність варіантів підсилення у стиснутій зоні залізобетонних елементів, що працюють на згин (Автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01). КНУБА, Київ, 20 с.

Yer'omenko, O.YU. (2006). Efektyvnist' variantiv pidsylennya u stysnutiy zoni zalizobetonnykh elementiv, shcho pratsuyuyut' na z'hyn (Avtoref. dys. na zdobuttya stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.23.01). KNUBA, Kyiv, 20 s.

6. Коваль, П.М., Стоянович, С.В. (2012). Алгоритми розрахунку збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з урахуванням стадійності їх виготовлення та монтажу. Зб. наук. пр. ПНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво, 3 (33), 106-114.

Koval', P. M., Stoyanovych, S.V. (2012). Alhorytmy rozrakhunku zbirno-monolitnykh prohonovykh budov avtodorozhnikh mostiv z urakhuvannyam stadiynosti yikh vyhotovlennya ta montazhu. Zb. nauk. pr. PNTU. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo, 3 (33), 106-114.

7. Кочкар'ов, Д.В. (2017). Інженерні методи розрахунку залізобетонних статично невизначених стержневих систем. Зб. наук. пр. УкрДУЗТ. 170, 98-104.

Kochkar'ov, D.V. (2017). Inzhenerni metody rozrakhunku zalizobetonnykh statychno nevyznachnykh sterzhnevyykh system. Zb. nauk. pr. UkrDUZT. 170, 98-104.

8. Романенко, Д.Б. (2023). Чисельне дослідження міцності бібетонних армованих балок, що працюють на згин. Зб. наук. пр. КНТУ: Центральнотраїнський науковий вісник. Серія: Технічні науки, 8 (39), Ч. 2, 70-76. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.70-76](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.70-76).

Romanenko, D.B. (2023). Chysel'ne doslidzhennya mitsnosti bibetonnykh armovanykh balok, shcho pratsuyuyut' na z'hyn. Zb. nauk. pr. KNTU: Tsentral'noukrayins'kyu naukovy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky, 8 (39), v.2, 70-76. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.70-76](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.70-76).

9. Семко О.В., Гасенко А.В., Дарієнко В.В., Богуш О.І. Поєднання сталеві та бетонної частин сталезалізобетонних конструкцій за допомогою анкерів системи Nelson. Наук.-техн. зб. «Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура». Харків : ХНАМГ, 2011. Вип. 97. С. 77 – 82.

Semko O.V., Hasenko A.V., Dariienko V.V., Bohush O.I. Poiednannia stalevoi ta betonnoi chastyn stalezalizobetonnykh konstruktsii za dopomohoiu ankeriv systemy Nelson. Nauk.-tekhn. zb. «Komunalne hospodarstvo mist. Seriya: Tekhnichni nauky ta arkhitektura». Kharkiv : KhNAMH, 2011. Vyp. 97. S. 77 – 82.

10. Hasenko, A.V., (2021). Previous self-stresses creation methods review in bent steel reinforced concrete structures with solid cross section. Academic journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2 (57), 82-89. <https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2589>.

11. Hong Zhao, Youjun Xie, Guangcheng Long, Shengyang Zhu, Zhuo Tang, Gang Ma, Tong Yang, Zhiqing Cheng, Hussaini Abdullahi Umar & Zhi Wu (2023). Experimental study on the static and fatigue splitting failure behaviors of bonding interface between bi-concrete materials. Journal of Building Engineering, 1 (76), 107326. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107326>.