

Теоретично-експериментальне дослідження сталезалізобетонних балок, підсилених сталевими плитами

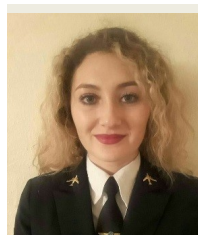
Олександра Шевченко

Національний авіаційний університет
1, просп. Любомира Гузара, Київ, Україна, 03058
brygantina0118@gmail.com, <http://rcid.org/0000-0002-3804-7264>

DOI: 10.32347/2522-4182.7.2020.76-84

Анотація. У даній статті представлено експериментально-теоретичне дослідження для розрахунку прогину сталезалізобетонних балок, підсилених сталевими плитами. Широко досліджено використання епоксидно-склеєних плит для підсилення існуючих або пошкоджених сталезалізобетонних балок. Доведено, що це корисний і надійний метод збільшення граничної здатності до згинання як пошкоджених, так і неушкоджених елементів. Фактична поведінка прогину в сталезалізобетонних балках має імовірнісний характер і вимагає статистичних методів для раціонального аналізу.

Міцність сталезалізобетонних згинальних конструкцій визначаються міцністю і деформативністю бетону і сталі, залежать від умов їх спільного деформування в складі сталезалізобетонного згинального елемента. Сталезалізобетонні згинальні конструкції, що застосовуються в громадських будівлях є «гнучкими» елементами, тому в граничному стані при згині виникають не тільки дві нейтральні осі, але і значний зсув шарів. Напружено-деформований стан нормального перерізу сталезалізобетонного елемента, крім міцнісних і деформативних властивостей бетону і сталі залежить від ступеня спільного деформування бетонної плити і сталеві балки в площині сполучення. У сталезалізобетонних конструкціях в єдиному перерізі спільно деформуються сталь і бетон з різними міцнісними і деформативними властивостями в пов'язаних умовах: вільні деформації монолітного бетону стримуються арматурними сітками, поличкою сталеві профілю; вільному деформуванню сталеві несучі балки перешкоджають монолітний бетон з арматурою.



Олександра Шевченко
асистент кафедри
комп'ютерних технологій
будівництва

У результаті між сталевим профілем і бетоном, а також між бетоном і арматурою в нормальному перерізі сталезалізобетонного елемента виникає складний напружений стан.

Ключові слова. Підсилення; сталезалізобетонна балка; несуча здатність; прогин; клейове з'єднання; зовнішня сталеві арматура

ВСТУП

Будь-який ремонт або реконструкція будівлі, як правило, супроводжується зміною навантажень на будівельні конструкції та внесенням змін до їх основних проектних рішень.

Всі ці фактори призводять до необхідності визначення їхніх стандартних залишків роботи, прийняття рішення про їх подальшу долю, як зміцнення, реконструкція або заміна.

Необхідність зміцнення або оновлення будівельних конструкцій з'являється не тільки під час реконструкції або технічного оновлення, але і в результаті передчасної корозії або механічного зносу.

Втрата справності може виникнути в результаті ускладнень або непередбачених проектом змін технології виробництва, різних пошкоджень, дефектів тощо. Це питан-

ня викликає високий інтерес до проблеми зміцнення та реконструкції існуючих будівельних конструкцій.

Переважно в процесі реконструкції зміцнення елемента виконується шляхом нарощування перерізу конструктивного елемента. Важливою проблемою є якісне зчеплення конструкції під час підсилення або підсилення матеріалом (клей), а також забезпечення їх ефективної взаємодії. Вищезазначена інформація вказує на те, що дана проблема є досить актуальною і має як практичне, так і теоретичне значення.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Історія зв'язаного зовнішнього армування у Великобританії починається з 1975 року, коли було зміцнено мости Квінтон на автостраді М5.

Ця схема послідувала за кількома роками розробки Лабораторією транспортних та дорожніх досліджень, спільно з виробниками клеїв та Департаментом транспорту. Що стосується програм тестування, дослідження та розробки продовжувались у Лабораторії та кількох академічних закладах Великобританії, особливо в Університеті Шеффілда. Теоретичні дослідження та оцінка відповідних адгезивів були пов'язані з розширеними програмами тестування балки. Попередні дослідження проводив Ірвін (1975 р.), Макдональд (1978 р.) та Макдональд і Калдер (1982 р.). Вони повідомили про випробування чотирьохточковим навантаженням на сталезалізобетоні балки довжиною 4900 мм. Ці балки використовувались для отримання даних щодо пропонуваного зміцнення мостів Квінтон, і включали два різні епоксидні клеї, дві плити товщиною 10 мм та 6,5 мм, що дають ширину до товщини (b/t) співвідношення 14 і 22, а в центрі - пластинчастий шарнір.

У Швейцарській федеральній лабораторії для випробувань та досліджень матеріалів у 1981 р. проводили випробування на прогин сталезалізобетонну балку довжиною 3700 мм і досліджували співвідношення ширини та товщини плити (b/t), зберігаючи постійну площу перерізу плити.

Зовнішня плита продовжувалась через опори балки і за їхніми межами, з якими вони не доторкалися, на таку відстань, щоб площа склеювання (48000 мм^2) була однаковою для кожної ширини плити. Зовнішня плита не була прикріплена до бетонної балки, за винятком районів кріплення поза опорами.

Результати чітко показали, що тонке покриття було більш ефективним, ніж товсте вузьке покриття, як зазначалося в дослідженнях, проведених у Великобританії. Було виявлено, що ефективна довжина анкерного кріплення l_a , яка дозволила плиті досягти необхідної текучості до руйнування при зсуві, є обернено пропорційною відношенню b/t .

Отже, із збільшенням b/t , довжина анкерування зменшується. Для тонких плит руйнування зазвичай відбувається при згинанні. Однак, якщо співвідношення сторін плити падає нижче певного значення, може відбутися відрив плити, починаючи з кінця плити і приводячи до зривання бетонного покриття.

Ці спостереження узгоджуються з тим фактом, що прості еластичні поздовжні напруження обернено пропорційні ширині плити.

Отже, із зменшенням ширини сталеві плити збільшуються поздовжні напруження зсуву. Крім того, жорсткість плити на прогин збільшується, збільшуючи тим самим напруження відшарування, нормальні до балки.

На кінцях плит зосереджується зсув та нормальне напруження

Концентрації зсуву та нормального напруження виникають на кінцях плити, що зазнають вплив прогину в результаті несумісності жорсткості між плитою та бетоном, що може бути змінено лише через серйозні спотворення клейового шару.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Прогин сталезалізобетонних балок, зміцнених зовнішніми сталевими пластинами, розраховується за загальними

правилами конструктивної механіки в залежності від згинальних та осьових деформованих характеристик елементів у перерізах по довжині (кривизна, кут відхилення) та обмеженої пластичності критерії деформацій.

Величина прогину сталезалізобетонних балок, підсилених зовнішньою сталеву пластину, визначається наступним рівнянням:

- на етапі проектування

$$f = f_M k_f^{pl} - f_{CP} k_f^{pl} \quad (1)$$

- на етапі армування

$$f = f_O k_f^{pl} + f_M k_f^{pl} - f_{CP} k_f^{pl} \quad (2)$$

де:

f_M - значення відхилення балки від дії зовнішнього навантаження (проектний згинальний момент M - на стадії проектування, або $M-M_0$ - на стадії армування),

f_O - значення початкового (існуючого) прогину балки (згинальний момент M_0),

f_{CP} - відхилення балки від дії сталеву пластину P_0 ,

k_f^{pl} - коефіцієнт, який передбачає залежність відхилення балки при розвитку деформацій на дні волокна поперечного перерізу балки, що перевищує критерії обмежених пластичних деформацій $\epsilon_{max} \geq 0.001$ (пружний і пластичний стан перерізу балки) і в тому випадку, коли розвиток деформацій на нижньому волокні перерізу балки не перевищує критерії обмежених пластичних деформацій $\epsilon_{max} < 0.001$ (пластичний стан проектного перерізу балки).

Для вільно обпертих балок з постійним перерізом по всій довжині елемента значення прогину f_M та f_O визначаються за наступним рівнянням, припускаючи, що кривизна змінюється пропорційно величині згинального моменту:

$$f_M = S \cdot l^2 \left(\frac{1}{r} \right) \quad (3)$$

де:

S - коефіцієнт, який визначається правилами конструктивної механіки, залежно від проектної схеми елемента та типу зовнішнього навантаження,

$\frac{1}{r}$ - кривизна в поперечному перерізі з найбільшим згинальним моментом, який використовується для визначення деформації,

l - проектний проліт конструкції.

Для визначення прогину вільно обпертої балки значення коефіцієнта S під дією двох симетрично зосереджених сил на відстань a визначається за таким рівнянням:

$$S = \frac{1}{8} - \frac{a^2}{6l^2} \quad (4)$$

Кривизна $\frac{1}{r}$ сталезалізобетонних балок під дією зовнішнього навантаження, за винятком напружень від сталеву пластину, визначається наступним рівнянням:

$$\frac{1}{r} = \frac{M}{0.85 \cdot I_{red} E_c} \quad (5)$$

де:

M - розрахунковий момент згинання M або початковий момент M_0 , який діє на розрахунковому перерізі балки, 0,85 - коефіцієнт, який враховується при розвитку нееластичних деформацій бетону під дією короточасних навантажень і примається 0,04 під дією постійних і тривалих навантажень,

E_c - модуль пружності бетону,

I_{red} - момент інерції проектного перерізу балки, який додається до перерізу бетону і де зона розтягу виключається.

I_{red} визначається наступним рівнянням:

$$I_{red} = b_c Y_B^3 / 3 + \alpha_{a1} [I_a + A_a (Y_H - h_a / 2 - C_z)^2] + \alpha_{a2} A_{sp} C_p^2 \quad (6)$$

де:

b_c – проектна ширина поперечного перерізу бетону;

Y_B, Y_H – висоти проектного перерізу балки, що відповідає верхньому та нижньому виступам елемента до його горизонтальної нейтральної осі $h = Y_B - Y_H$;

I_a, A_a, h_a – момент інерції поперечного перерізу балки, площа та висота сталевих пластин;

A_{sp} – узагальнена площа перерізу сталевих пластин;

C_B – захисний шар бетону на нижньому виступі перерізу балки;

C_p – висота від геометричної осі поперечного перерізу сталевих пластин до горизонтальної нейтральної осі проектного перерізу балки;

α_{a1}, α_{a2} – коефіцієнти доданого сталевих пластин до перерізу балки та сталевих пластин до бетону, які визначаються наступним рівнянням:

$$\alpha_{a1} = \frac{E_a}{E_c}, \alpha_{a2} = \frac{E_{sp}}{E_c} \quad (7)$$

де:

E_c, E_a, E_{sp} – модуль пружності бетону, доданого сталевих пластин до двотаврового елемента та сталевих пластин.

Момент інерції проектного перерізу сталевих пластин до бетону, підсиленою сталевих пластиною (до появи тріщин), визначається за формулою:

$$I_{red} = b_c h_B^3 / 12 + \alpha_{a1} [I_a + A_a (Y_H - h_a / 2 - C_z)^2] + \alpha_{a2} A_{sp} C_p^2 \quad (8)$$

Використовуючи відповідні коефіцієнти S та кривизну $\frac{1}{r}$, ми можемо отримати значення прогинів f_m та f_o :

$$f_m = \frac{M}{0.85 \cdot I_{red} \cdot E_c} \cdot \left(\frac{3l^2 - 4a^2}{24} \right) \quad (9)$$

$$f_o = \frac{M_0}{0.4 \cdot I_{red} \cdot E_c} \cdot \left(\frac{3l^2 - 4a^2}{24} \right) \quad (10)$$

де: a – відстань від одиничного навантаження до опори балки;

Кривизна $\frac{1}{r}$ відхилення f_{cp} балки від дії напруги сталевих пластин P_o визначається за наступним рівнянням:

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{cp} = \frac{P_o C_p}{0.85 \cdot I_{red} E_c} \quad (11)$$

$$f_{cp} = \frac{0.125 \cdot P_o \cdot C_p \cdot l^2}{0.85 \cdot I_{red} \cdot E_c} \quad (12)$$

Значення коефіцієнта k_f^{pl} , що враховує пластично-еластичний стан проектного перерізу балки, наведено в табл. 1.

Перші значення в табл. 1 відповідають конструктивному елементу із сталевих двотаврової балки, який має симетричний поперечний переріз, другі значення – асиметричному.

Навчаючись в аспірантурі я зі своїм науковим керівником провели таке дослідження. Для визначення несучої здатності та прогину сталевих пластин до бетону конструкцій, підсилених зовнішніми сталевими пластинами, а також впливу на міцність та деформаційність були розроблені та виготовлені такі зразки:

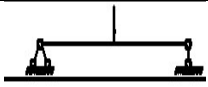
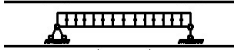
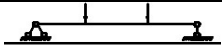
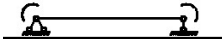
- сталевих пластин до бетону балки із застосуванням різних бетонних сумішей різного класу міцності;

- стандартні бетонні призми 100x100x400мм та куби 100x100x100мм для визначення міцності та деформації бетону.

За способом прикладання зовнішнього навантаження, зразки кожного типу поділяються на 2 серії відповідно до прийнятих геометричних характеристик експериментальних зразків. Серії (А) являли собою балки без підсилення, а серії (В) – балки із зовнішнім сталевим армуванням.

Табл. 1. Значення коефіцієнта k_f^{pl}

Table 1. Value of coefficient k_f^{pl}

№ п/п	Схема прикладання навантаження	ϵ_{max}		
		0,001	0,002	0,004
1		1,1	1,2	1,4
2		1,3-1,2	1,6-1,4	2,2-1,6
3		1,2-1,15	1,4-1,3	1,8-1,6
4		1,25-1,2	1,4-1,4	2,0-1,8
5	Рухоме навантаження	1,6-1,4		

Зразки кожної серії, в свою чергу, відрізняються один від одного наявністю та типом клейового з'єднанням.

Отже, основними факторами є: геометричні характеристики конструкції, клас міцності бетону та наявність клейового з'єднання. Таким чином, всі ці відмінності можуть впливати на величину несучої здатності клейового з'єднання, а також на

міцність та деформаційність експериментальних зразків (балок).

Під час експериментальних досліджень планується вивчити залежність несучої здатності та прогину сталезалізобетонних балок від наявності та типу клею, та способу кріплення сталевих армованих плит.



Рис.1. Вид експериментальної установки та розташування вимірювального пристрою
Fig.1. A view of the experimental set-up and the arrangement of the measurement device

Електронна універсальна випробувальна машина (MS-100) з максимальною потужністю 500 кН використовується для випробування всіх зразків на нормальне навантаження. Вид експериментальної установки та розташування вимірювальних приладів показано на рис. 1. Балки випробовуються при чотириточковому навантаженні.

Навантаження, яке прикладене до середньої точки балки, розділяється на два симетричні зосереджені навантаження і застосовується до зразків. Співвідношення довжини прольоту зсуву (800 мм) до ефективної глибини балки (200 мм) є однаковим для всіх зразків. Зразки випробовуються під монотонним навантаженням до відмови.

Під час експерименту були використані наступні вимірювальні прилади: тензодатчики, монометри для контролю величини навантаження та лінійні змінні диферен-

ціальні трансформатори для вимірювання прогину балки в середині прольоту.

ВИСНОВКИ

Отже, описуємо результати експериментів із сталезалізобетонними балками серії А (без армування) та серії В (з армуванням). Усі балки розраховані на руйнування навіть після зміцнення сталевими плитами. Співвідношення прольоту зсуву до ефективної глибини залишається постійним протягом випробування всіх балок. Характеристика відхилення навантаження та гранична навантажувальна здатність на зсув спостерігається протягом випробувань до руйнування балок.

Типовий прогин для сталезалізобетонної балки, підсиленою сталеву пластиную, показаний на рис.2.



Рис.2. Типова картина прогину та розтріскування сталезалізобетонної балки, підсиленою сталеву пластиную

Fig.2. The typical deflection and cracking pattern of reinforced concrete beam strengthened with steel plate

Схема розтріскування сталезалізобетонної балки, підсиленою сталеву пластиную, показана на рис.3.

Обговорення проводиться шляхом порівняння результатів, визначених аналітичним методом, з результатами, отриманими експериментально.

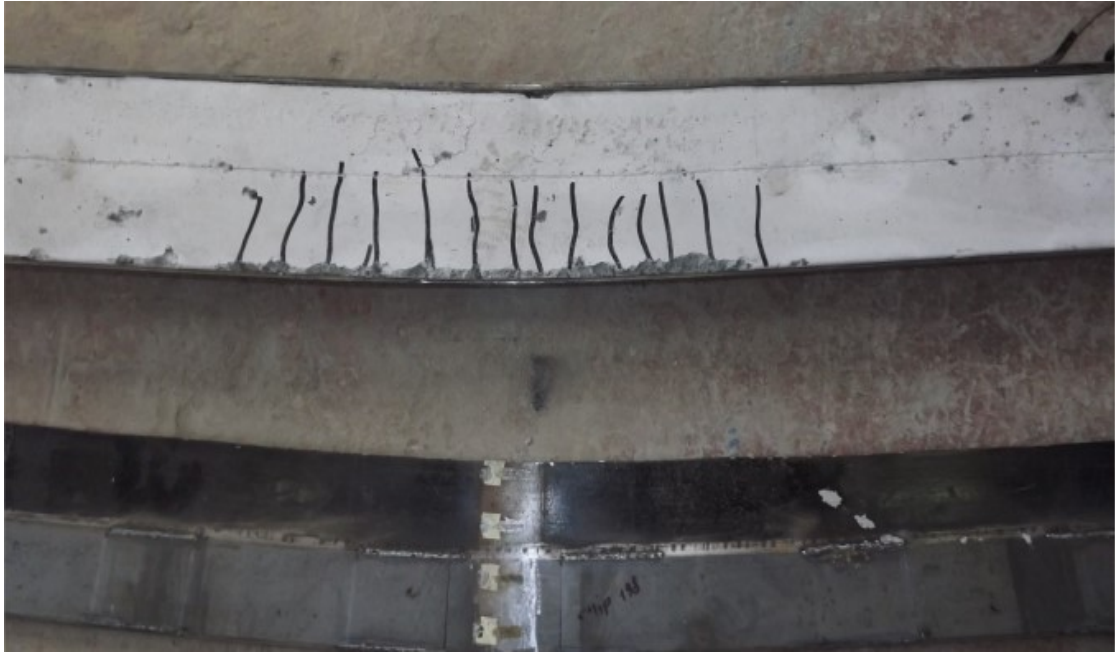


Рис.3. Зображення розтріскування сталезалізобетонної балки, підсиленою сталеву пластиную

Fig.3. The cracking pattern of reinforced concrete beam strengthened with steel plate

Крива відхилення навантаження всіх балок показана на рис.4. Вважається, що прогин балок збільшився порівняно з вихідною балкою В-5-1.

Несуча здатність зразків балок, підсиленних сталеву плитою, показана на рис.5.

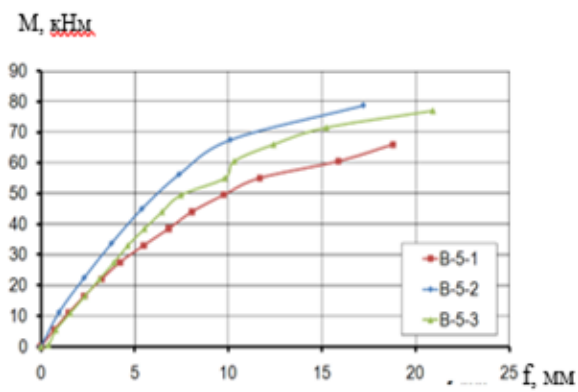


Рис.4. Крива прогину всіх балок
Fig.4. The load-deflection curve of all the beams

Однак балки з доданими плитами демонструють більшу пластичність, завдяки чому спостерігається зменшення пластичності в міру збільшення коефіцієнта армування.

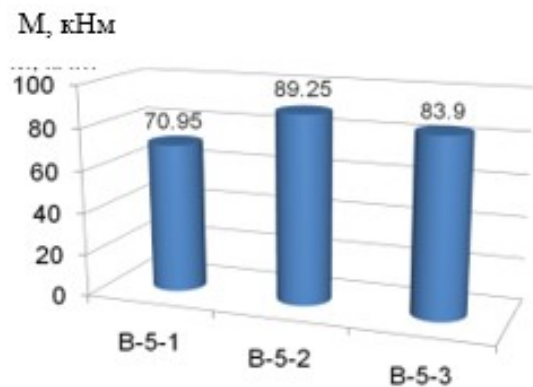


Рис.5. Несуча здатність сталезалізобетонних балок

Fig.5. The load-bearing capacity of reinforced concrete beams

Ефективність армування сталезалізобетонних балок сталевими плитами в зоні розтягування залежить від типу стику та

товщини сталеві плити. З отриманих результатів можна зробити висновок, що несуча здатність балок, підсилених сталевією плитою, збільшується на 20% порівняно з вихідною балкою.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Yoshida E., Murakoshi J., Tanaka Y** Structural Testing of Deteriorated Reinforced Concrete Girders Strengthened by Externally Bonded Steel Plates. - *Proc. JSCE Annual meeting, V, 2010.* - Pp.377-378.
2. **Sano M., Miura T.** A study on a design method for strengthening concrete members by steel-plate-bonding. - *Proc. of JSCE, 550, Nov. 1996.* - Pp. 117-129.
3. **Shutenko L.N., Zolotov M.S., Psurceva N.F.** Concrete and reinforced concrete joints. // *Charkov.: Building industry, 1999.*-P. 72.
4. **Swamy R.N., Jones R., Charif A.** Contribution of externally bonded steel plate reinforcement to the shear resistance of reinforced concrete beams. Repair and Strengthening of Concrete Members with Adhesive Bonded Plates.// *SP-165, ACI, 1999.* - Pp. 1-24.
5. **Barashikov A.I.** Technical state evaluation of building structures and facilities. // *A.I. Barashikov, A.N. Malishev. – K.: Vipol, 1998.* – P. 232.
6. **Shutenko L.N., Zolotov M.S., Psurceva N.F.** Concrete and reinforced concrete joints. // *Charkov.: Building industry, - 1999.*-P. 72.
7. **Стороженко Л.І.** Проектування й будівництво сталезалізобетонних конструкцій у незнімній опалубці./ Л.І.Стороженко, О.І.Лапенко // *Будівельні конструкції: Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. – К.: НДІБК, 2007.- Вип.67. – С. 750 - 758.*
8. **Storozhenko L., Butsky V., Taranovsky O.** Stability of Compressed Steel Concrete Composite Tubular Columns with Centrifuged Cores // *Journal of constructional steel research; 46, 1/3; 484; Second World Conference on Steel in Construction ; 1998.*
9. **Gorik, A. V.** Theoretical and experimental deformation parameters of composite beams with account of deplanation of cross sections in bending. // *Mechanics of Composite Materials, - Vol. 39, № 1. – Pp.57-64.*
DOI:10.1023/A:1022935521805

10. **Kochkarev D.** Calculation methodology of reinforced concrete elements based on estimated resistance of reinforced concrete. // *D. Kochkarev, T. Galinska // Matec Web of Conferences 116, 02020 (2017), Materials science, engineering and chemistry, Transbud-2017, Kharkiv, Ukraine, April 19–21, 2017.*
11. **Бондарчук Т.Б.** Експериментальне дослідження несучої здатності похилих перерізів сталобетонних балок без поперечної арматури. // *Проблеми теорії і практики залізобетону. – Полтава, 1997.– С. 47-48.*
12. **Клименко Ф.Е., Гайдаш Н.А.** Исследование сталежелезобетонных изгибаемых элементов с листовой сталью. // *Вестн. Львов. политех. ин-та. вопр. соврем. стр-ва. – 1971. – № 51.– С. 71-74.*
13. **Аметов Ю.Г.** Вплив режиму навантаження і тривалого витримування під навантаженням на несучу здатність сталобетонних балок. // *Автореф. дис. канд. техн. наук. – Київ, 2003. – 20 с.*
14. **Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І.** Металеві конструкції. // *За ред. Ф.Є. Клименка: Підручник. 2-ге вид., випр. і доп.– Львів: Світ, 2002.– 312 с.*
15. **Eurocode 4.** Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.

REFERNCES

1. **Yoshida E., Murakoshi J., Tanaka Y** Structural Testing of Deteriorated Reinforced Concrete Girders Strengthened by Externally Bonded Steel Plates. - *Proc. JSCE Annual meeting, V, 2010.* - Pp.377-378.
2. **Sano M., Miura T.** A study on a design method for strengthening concrete members by steel-plate-bonding. - *Proc. of JSCE, 550, Nov. 1996.* - Pp. 117-129.
3. **Shutenko L.N., Zolotov M.S., Psurceva N.F.** Concrete and reinforced concrete joints. // *Charkov.: Building industry, 1999.*-P. 72.
4. **Swamy R.N., Jones R., Charif A.** Contribution of externally bonded steel plate reinforcement to the shear resistance of reinforced concrete beams. Repair and Strengthening of Concrete Members with Adhesive Bonded Plates.// *SP-165, ACI, 1999.* - Pp. 1-24.

5. **Barashikov A.I.** Technical state evaluation of building structures and facilities. // *A.I. Barashikov, A.N. Malishev. – K.: Vipol, 1998. – P. 232.*
6. **Shutenko L.N., Zolotov M.S., Psurceva N.F.** Concrete and reinforced concrete joints. // *Charkov.: Building industry, - 1999.-P. 72.*
7. **Storozhenko L.I.** Proektuvannia y budivnytstvo stalezalizobetonnykh konstruktsii u nezimnii opalubtsi./ *L.I.Storozhenko, O.I.Lapenko // Budivelni konstruktsii: Naukovo-tekhnichni problemy suchasnoho zalizobetonu. – K.: NDIBK, 2007.- Vyp.67. – S. 750-758.*
8. **Storozhenko L., Butsky V., Taranovsky O.** Stability of Compressed Steel Concrete Composite Tubular Columns with Centrifuged Cores // *Journal of constructional steel research; 46, 1/3; 484; Second World Conference on Steel in Construction ; 1998.*
9. **Gorik, A. V.** Theoretical and experimental deformation parameters of composite beams with account of deplanation of cross sections in bending. // *Mechanics of Composite Materials, - Vol. 39, № 1. – Pp.57-64. DOI:10.1023/A:1022935521805*
10. **Kochkarev D.** Calculation methodology of reinforced concrete elements based on estimated resistance of reinforced concrete. // *D. Kochkarev, T. Galinska // Matec Web of Conferences 116, 02020 (2017), Materials science, engineering and chemistry, Transbud–2017, Kharkiv, Ukraine, April 19–21, 2017.*
11. **Bondarchuk T.B.** Eksperymentalne doslidzhennia nesuchoi zdatnosti pokhylykh pereriziv stalebetonnykh balok bez poperechnoi armatury. // *Problemy teorii i praktyky zalizobetonu. – Poltava, 1997.– S. 47-48.*
12. **Klimenko F.E., Gaydash N.A.** Issledovanie stalezhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s listovoy stalyu. // *Vestn. Lvov. politeh. in-ta. vopr. sovrem. str-va. – 1971. – № 51.– S. 71-74.*
13. **Ametov Yu.H.** Vplyv rezhymu navantazhennia i tryvaloho vytrymuvannia pid navantazhenniam na nesuchu zdatnist stalebetonnykh balok. // *Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. – Kyiv, 2003. – 20 s.*
14. **Klymenko F.Ie., Barabash V.M., Storozhenko L.I.** Metalevi konstruktsii. // *Za red. F.Ie. Klymenka: Pidruchnyk. 2-he vyd., vypr. i dop.– Lviv: Svit, 2002.– 312 s.*
15. **Eurocode 4.** Common Unified Rules for Composite Steel and concrete Structures

European Committee for Standardization. (CEN) ENV. 1994 – 1-1:1992. – 180 p.

Theoretical and experimental research of steel reinforced concrete beams, strengthened by steel plates

Oleksandra Shevchenko

Summary. This paper presents experimental and theoretical research for calculating of reinforced concrete beams strengthened bonded steel plates. The use of epoxy-bonded plates to strengthen existing or damaged steel reinforced concrete beams has been extensively researched. It has been proven to be a useful and reliable method of increasing the ultimate flexural capacity of both damaged and undamaged members. The actual deflection behavior in steel reinforced concrete beams is probabilistic in nature and requires statistical methods for a rational analysis.

The strength of steel reinforced concrete bending structures are determined by the strength and deformability of concrete and steel, depend on the conditions of their joint deformation in the composition of steel reinforced concrete bending element. Steel reinforced concrete bending structures are used in public buildings are "flexible" elements, so in the extreme state when bending there are not only two neutral axes, but also a significant shift of the layers. The stress-strain state of the normal cross-section of a steel reinforced concrete element, in addition to the strength and deformability properties of concrete and steel depends on the degree of joint deformation of the concrete slab and steel beam in the plane of the joint. In steel reinforced concrete structures, steel and concrete with different strength and deformable properties are jointly deformed in a single cross-section under related conditions: free deformations of monolithic concrete are restrained by reinforcing mesh, steel profile shelf; free deformation of the steel load-bearing beam is prevented by monolithic concrete with reinforcement.

As a result, between the steel profile and concrete, as well as between concrete and reinforcement in the normal cross section of the reinforced concrete element there is a complex stress state.

Keywords. Strengthening; steel reinforced concrete beam; bearing capacity; deflection; adhesive-bonded joint; external steel reinforcement.