

Висновки

1. Вимоги норм максимального розвантаження згинаних елементів перед підсиленням та визначення їх напруженого стану до підсилення можна забезпечити запропонованою методикою визначення залишкового напруженого стану під час розвантажень.

2. Залишкові напруження, деформації в арматурі і бетоні стиснутої зони залежать від відсотка армування та рівня навантаження, з якого проводиться розвантаження.

3. При неповних розвантаженнях, величина залишкових напружень, деформацій складається із незворотних напружень, деформацій, зумовлених тріщиноутворенням та пластичними деформаціями бетону стиснутої і розтягнутої зони, а також пружних, пропорційних рівню розвантаження.

1. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Исследование деформаций железобетонных балочных плит на ветвях разгрузки. // Сб. Прочностные и деформационные характеристики элементов бетонных и железобетонных конструкций. НИИЖБ, Госстроя СССР. М.; 1981 – с. 106–127. 2. Крамарчук А.П. Влияние залишкового напруженого стану перед постановкою додаткової арматури на міцність сталевобетонних згинаних елементів. // Зб. Будівельні конструкції, будівлі та споруди. Вісник ДонДАБА, 2004(2) 44 – С. 90–98. 3. Клименко Ф.Є. Сталевобетонні конструкції із зовнішнім полосовим армуванням. – К.: Будівельник, 1984. – с. 3–20. 4. Климов Ю.А., Гольшев А.Б. Изменение №1 к СНиП 2.03.01–84* “Бетонные и железобетонные конструкции”. // Будівництво України, 1996, № 3, – с. 44–47. 5. Крылов С.М., Чижевский В.В. Особенности деформирования изгибаемых железобетонных элементов при разгрузках и повторных нагружениях. // Сб. исследование железобетонных конструкций при статических повторных и динамических воздействиях М; НИИЖБ, 1984, – С. 71–81. 6. Ремонт і підсилення несучих та огорожуючих будівельних конструкцій і основ промислових будинків і споруд. ДБН В.1.–1–2002. Держкомітет України з будівництва і архітектури. – К, 2003, – с. 1–22.

УДК 624.014.2

М.Р. Більський, М.В. Котів

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельного виробництва

РОБОТА СТАЛЕВИХ КОЛОН, ПОСИЛЕНИХ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

© Більський М.Р., Котів М.В., 2005

Наведені результати досліджень стійкості сталевих колон, посиленних під навантаженням, і описаний експериментальний метод дослідження.

In this article deals with the results of research of steel columns stability intensified under the loading and describe experimental method of research.

Постановка проблеми і її актуальність. Збереження та реконструкція існуючих будинків та споруд, загальна маса металоконструкцій в яких на Україні становить більше тридцяти мільйонів тонн, є однією з актуальних проблем. Це вимагає удосконалення традиційних методів посилення сталевих конструкцій, з-поміж яких значною проблемою є посилення під навантаженням колон, стійок рам та інших елементів, що працюють на стиск. Проектування та розрахунок посилення таких елементів з використанням традиційних підходів пов'язане з перевитратами матеріалів і праці. Посилення напружуючими елементами дає можливість значно скоротити собівартість конструкції будівель та споруд, що своєю чергою вимагає проведення спеціальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Практика реконструкції підтвердила раціональність застосування попереднього напруження (напружуючих елементів) під час посилення металевих конструкцій. Були проведені також експериментальні дослідження сталевих рам, посиленних напружуючими телескопічними трубами, скісними елементами, а також окремих конструктивних елементів [2]. Результати роботи показали, що застосування напружуючих елементів дає можливість виконувати посилення під експлуатаційним навантаженням, і отримувати зниження металомісткості та

витрат праці на місці посилення. Застосування розпірок, як елементів посилення, дозволило отримати вигреш у силі (в 20 і більше разів), отримавши при цьому розрахункове зусилля розвантаження колон і стійок рам. Особливості розрахунку металевих колон при підсиленні описані в роботі [1].

Для отримання достатньої кількості результатів, що характеризують кінетику напружено-деформованого стану підсилювальних конструкцій, які працюють на позакентровий стиск у різних умовах, необхідно здійснити додатковий обсяг досліджень. Вказані дослідження дали б змогу отримати підтвердження впливу зварювання під час посилення залежно від навантаження колон і їх гнучкості.

Метою статті було отримання теоретико-експериментального підтвердження впливу на роботу стиснутих сталевих стрижнів різних гнучкостей, посилені під навантаженням величин стискаючих зусиль і ексцентриситетів їх дії, а також впливу зварювання на роботу колон та їх несучу спроможність після посилення.

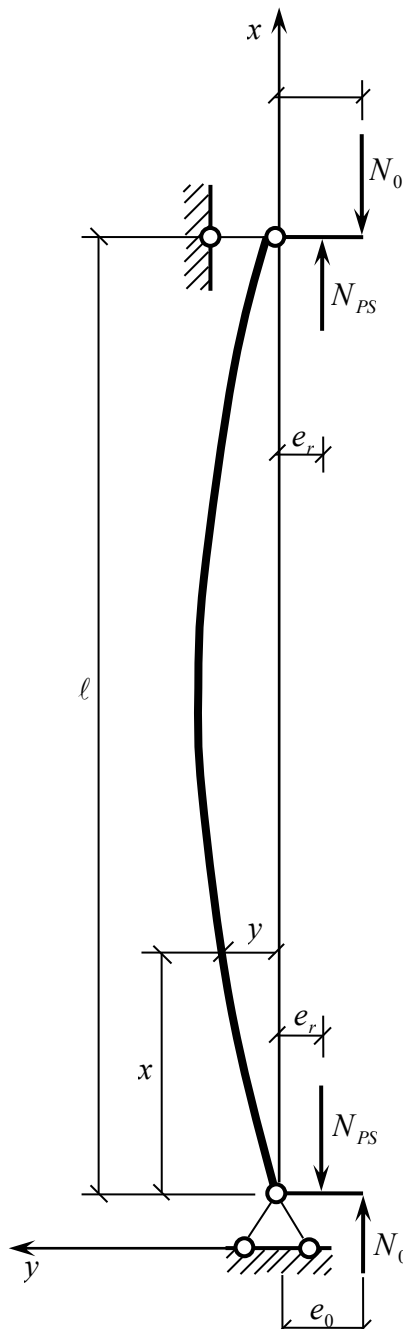


Рис. 1. Загальна схема випробувань (розрахункова схема) посилюваних стрижнів

Результати досліджень. Для оцінки роботи позакентрово стиснутих стрижнів різних гнучкостей з різними ексцентриситетами дії і величинами зовнішнього навантаження, під час їх підсилення були проведені випробування великогабаритних моделей колон на спеціально виготовленому стенді. Стрижні виготовляли двотаврового перетину та вони мали різні гнучкості.

Випробовувані стрижні (далі – “зразки” мали у своєму складі чотири підгрупи залежно від умовних гнучкостей

$$(\lambda_0 = 4,1; \lambda_0 = 3,11; \lambda_0 = 2; \lambda_0 = 1,12).$$

Навантаження на випробовувані зразки прикладали з різними ексцентриситетами. Залежно від величини ексцентриситету стискаючої сили зразки також розбивали на групи (табл. 1).

Посилення зразків здійснювали з боку стиснутих волокон. Розрахункова схема випробування зразків показана на рис. 1.

Маркування зразків прийняте таким. На початку позначена довжина зразка в сантиметрах, потім згідно з табл. 1 – група зразка в буквах. Римські цифри після букв показують рівень зовнішнього навантаження. Остання (арабська) цифра – рівень зусилля попередньої напруги (1 – розрахований з умови рівності напруг на контакті старого і металу, що додається, у розрахунковому перетині, 3 – нульовий, тобто, коли попередня напруга відсутня, 2 – проміжний).

Посилення зразків виконували розпірками з кутників. Перегини розпірок залежно від їхньої гнучкості виконували посередині чи в третинах довжини.

Під час досліджень проводили планування експериментів. За основу планування була прийнята концепція послідовного експерименту [3], яка полягає в тому, що після кожної серії експериментів роблять статичний аналіз результатів, і на основі його уточнюється кількість дослідних зразків наступної серії. За такого підходу обсяг вибірки в середньому в два рази менший, ніж при традиційному. Послідовність планування експерименту під час випробувань була такою. Спочатку випробували зразки групи А довжиною 495см, з початковим відносним ексцентриситетом додатка нормальної сили $m_0 = 3$. За основний показник властивостей досліджуваного об’єкта прийнята несуча здатність посиленіх зразків (відгук У).

Головними факторами, що впливають на основний показник властивостей посиленого зразка, при однакових рівнях параметрів впливу зварювання, були величина зовнішнього навантаження в момент посилення (фактор x_1) і величина зусилля попередньої напруги (фактор x_2). Тому що є підстави припустити, що відгук описується багаточленом другого порядку, то за основу був прийнятий двофакторний експеримент із трьома рівнями для кожного фактора.

Таблиця 1

Група зразків	Ексцентриситет прикладання стискувочої сили відносно центра тяжіння		Відносний ексцентриситет	
	основного непідсиленого стержня (мм) e_0	підсиленого стержня (мм) e	m_0	m
A	9,92	83,7	3	2,7
B	33,1	17,6	1	0,57
C	16,5	1	0,5	0,03

Нижній рівень фактора x_1 дорівнює значенню $N_0=0$. (кодоване значення – 1), верхній – значенню $N_0=0,9 N_0$. (кодоване значення +1), середній – значенню $N_0=0,5 N_0$ (кодоване значення 0). Нижній рівень фактора x_2 дорівнює значенню зусилля $N_{ps} = 0$ (кодоване значення – 1), верхній рівень – значенню зусилля N_{ps} , обумовленого з умови рівності напруг на контакті основного і посилюючого елементів у розрахунковому перетині посиленого стрижня (кодоване значення +1), середній рівень – значенню зусилля попередньої напруги $N_{ps} = \frac{N_{ps}}{2}$ (кодоване значення 0).

Максимальна кількість експериментальних зразків групи 495А відповідно до прийнятого підходу дорівнює $n_1 = 9$ (при рівні фактора $x_1 = -1$ всі три рівні фактора x_2 приймуть значення рівня $x_2 = -1$) кількість зразків для одного дослідів дорівнює семи.

Під час проведення будь-яких експериментів неминучі як відомо випадкові і систематичні похибки. Для того, щоб експериментально установити похибку експерименту, необхідно в кожному пункті ставити рівнобіжні випробування [3, 4]. Кількість рівнобіжних випробувань відповідно до прийнятої концепції $n = 3$. У такий спосіб сумарна кількість зразків групи 495А дорівнює $3 \times 7 = 21$.

Коефіцієнт варіації геометричних характеристик зразків, обчислених на підставі натурних обмірювань, дорівнював $\vartheta_1 = 0,005$. Коефіцієнти варіації механічних характеристик зразків за результатами експериментів 24 зразків були рівні.

Матриця планування експерименту і результати випробувань досвідчених зразків групи 495 А наведені в табл. 2. На основі величин відгуків проведених досвідів за допомогою критерію Стюдента зроблений висновок, що за основу можна прийняти всі дані про результати дослідів, наведених у табл. 2.

Таблиця 2

**Матриця планування експерименту і результати
попередніх досліджень зразків**

№ дослідів	Марка зразка	Фактори		Результати проведених дослідів			Середнє значення $\bar{Y}$	Дисперсія D^2	Д	Коефіцієнт ймовірності
		X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3				
1	495А	-1	-1	88,2	89,3	92,5	90,0	4,99	2,23	0,956
2	495АІІ-2	0	-1	79,8	76,2	78,6	78,2	3,36	1,83	0,968
3	495ІІ-3	0	0	89,3	85,9	88,4	87,2	3,37	1,84	0,982
4	495ІІ-1	0	+1	88,4	85,4	89,6	87,8	4,68	2,16	0,958
5	495АІ-3	+1	-1	70,6	73,1	69,6	71,1	3,25	1,80	0,951
6	495АІ-2	+1	0	79,9	83,4	81,2	81,5	3,13	1,77	0,978
7	495АІ-1	+1	+1	84,7	86,2	87,1	86,0	1,47	1,21	0,996

Однорідність дисперсій (табл. 2) оцінювали за критерієм Кохрена

$$G = \frac{D_{\max}^2}{\sum D_i^2} = \frac{4,99}{24,52} = 0,21$$

При ступенях волі $f_1 = n_c = (1...2)$; $f_2 = n_2 = 7$, і рівні значимості $\alpha = 0,05$. за табл. 16 а розподілу Кохрена, значення критичного $G_k = 0,561$.

Тому що $G < G_k$, де дисперсії однорідні. За основу був прийнятий нормальний закон розподілу величин результатів досвіду. Перевірку імовірності відхилення значень результатів досліду від середнього їхнього значення I більше ніж на 5 % виконували за формулою

$$P = \{ |I_i - I| \leq 0,05I \} = 2F(u)$$

Тут $F(u)$ – функція нормального розподілу, прийнята за таблицею розподілу Кохрена залежно від величини u .

$$u = \frac{(i_c - i)}{D_i}$$

Виконані розрахунки дали можливість зробити висновок, що кожне значення результатів досліду y_i для будь-якого дослідного зразка буде відрізнятися не більше ніж на 5 % від свого середнього значення з імовірністю, яка дорівнює чи більша 0,95.

Результати іспитів зразків групи 495 А дозволили зробити висновок.

Чим більша величина зовнішнього навантаження, що діє під час посилення, тим менша несуча здатність посиленого зразка. Вплив початкових напруг від зовнішнього навантаження на несучу здатність посиленого зразка значно зменшується із збільшенням величини попередньої напруги.

У випадках традиційного посилення (без попередньої напруги) збільшення зовнішнього навантаження до 90 % його критичного значення $N_0 = C = 0,9N_{o,cr}$ зменшило несучу здатність посилених зразків на 27 % (рис. 2, 3).

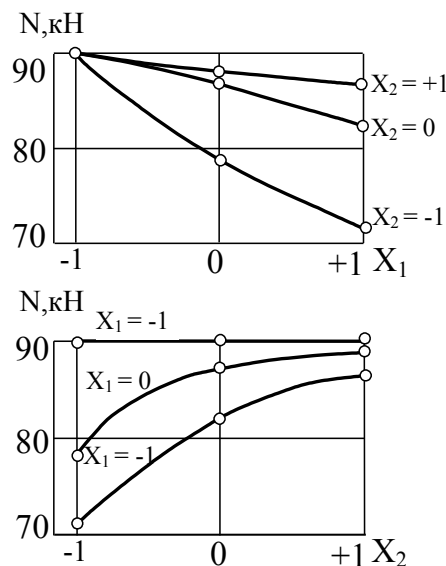


Рис. 2. Криві залежності несучої здатності посилюючих зразків 495 А

За рахунок попередньої напруги, мінімальну величину зусилля якого визначали з умови рівності напруг у розрахункових перетинах на контакт основного і посилюючого елементів, несуча здатність посилених зразків збільшилася (при величині зовнішнього навантаження під час посилення, що дорівнює її максимальному значенню на 37 %. При зменшенні величини зовнішнього навантаження на

половину попередня напруга збільшила несучу здатність посиленого зразка тільки на 12,2 %. Отже, чим більше навантажений стрижень під час посилення, тим ефективніша попередня напруга.

При плануванні наступних серій експерименту враховували результати розглянутої серії дослідів (однорідність дисперсій, прийнятний діапазон помилок, що не виходить за межі 5 %), тому в подальших дослідях приймали припустимі величини дисперсій.

Для зменшення кількості дослідів, надалі рівнобіжні досліді ставили тільки при випробуванні зразків, посилюваних при рівності напруг в основному і доданому елементах. В інших випадках для кожного фактора випробувався тільки один зразок. При плануванні експерименту, де рівнобіжні досліді не проводили, враховували ті фактори, що всі зразки виготовляли з однієї партії металу й випробування проводяться в однакових умовах за однаковою методикою, було прийняте допущення про імовірність відхилення результатів не більша, ніж на 5 % від середніх значень, у випадку проведення рівнобіжних дослідів – не менша 0,95. Це допущення згодом підтвердили результати рівнобіжних випробувань зразків груп В і С.

Матриці планування експерименту для зразків груп 495В и 495С були аналогічні матриці, наведеної в табл. 2. Результати випробувань зразків наступних груп цілком підтвердили висновки, зроблені вище, після випробувань зразків первісної групи (495А).

Випробування зразків наступних груп проводили тільки для одного рівня параметра $x_2 = +1$ і для двох рівнів параметра $x_2 : x_1 = -1, x_1 = +1$.

З метою порівняння результатів випробувань зразків, посиленних при різних початкових навантаженнях і регулюючого зусилля (попередньої напруги), на рис. 3 зображені графіки прогинів і епюри напруг у розрахункових перетинах зразків. Вказані криві рівноважних станів посиленних колон дозволяють простежити кінетику напружено-деформованого стану позацентрово стиснутих стрижнів, як під час їхнього посилення під навантаженням регулюючими розпірками, так і після посилення і прикладення додаткового навантаження, до закінчення в підсиленних стрижнях несучої здатності. На рис. 3 цифрами позначені криві прогинів для елементів з різними ексцентриситетами прикладання стискаючої сили і різної гнучкості, а також пунктирні для елементів, посиленних без попередньої напруги. На графіках (рис. 4) видно, що попередня напруга дуже суттєво (до двох і більше разів) зменшує прогини підсиленних під навантаженням стрижнів, збільшуючи тим самим їхню несучу здатність. Несуча здатність підсиленних зразків підвищилась за рахунок попереднього напруження на 5–37 %.

Отримані експериментальні залежності несучої здатності підсиленних стрижнів від регулювання зусиль (рис. 3) показують також ефективність попереднього напруження для зменшення величини зварювальних прогинів (лінії А-В).

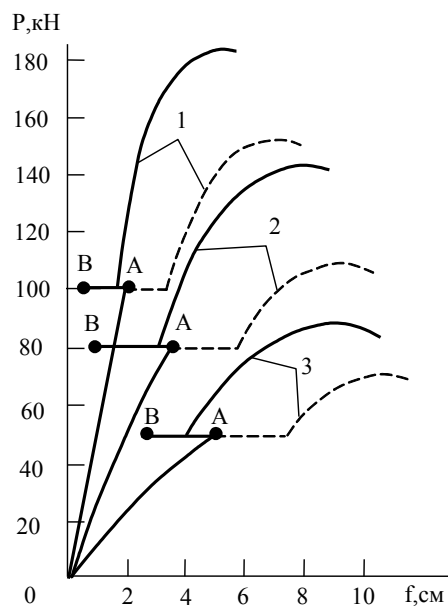


Рис. 3. Експериментальні значення прогинів для випробуваних взірців:
 1 – $\lambda_0 = 3,11$; $m_0 = 1,0$; 2 – $\lambda_0 = 4,1$; $m_0 = 1,0$; 3 – $\lambda_0 = 4,1$; $m_0 = 3,0$.

При малих гнучкостях ($\lambda < 1$) збільшення несучої здатності за рахунок попередньої напруги посилюваних зразків виявилося практично незначним, що можна пояснити порівняно малим впливом попередньої напруги на несучу здатність коротких елементів. Під час збільшення гнучкості посилених зразків ($\lambda > 1$) попередня напруга зменшує прогини не тільки від зовнішнього навантаження, але і залишкові зварювальні прогини і напруги.

Підвищення несучої здатності посилених стрижнів у зв'язку із збільшенням зусилля попередньої напруги також можна пояснити зменшенням початкових і залишкових зварювальних деформацій і напруг.

Залишкові зварювальні прогини зразків, посилених з попередньою напругою виявилися значно меншими (для стрижнів середньої гнучкості майже наполовину), ніж для зразків, посилених традиційним способом. Це пояснюється значним впливом на залишкові зварювальні деформації нормальної сили стиску і згинаючого моменту, які в сумі створюють максимальні нормальні напруження стиску в місцях приварювання елемента посилення до основного стрижня.

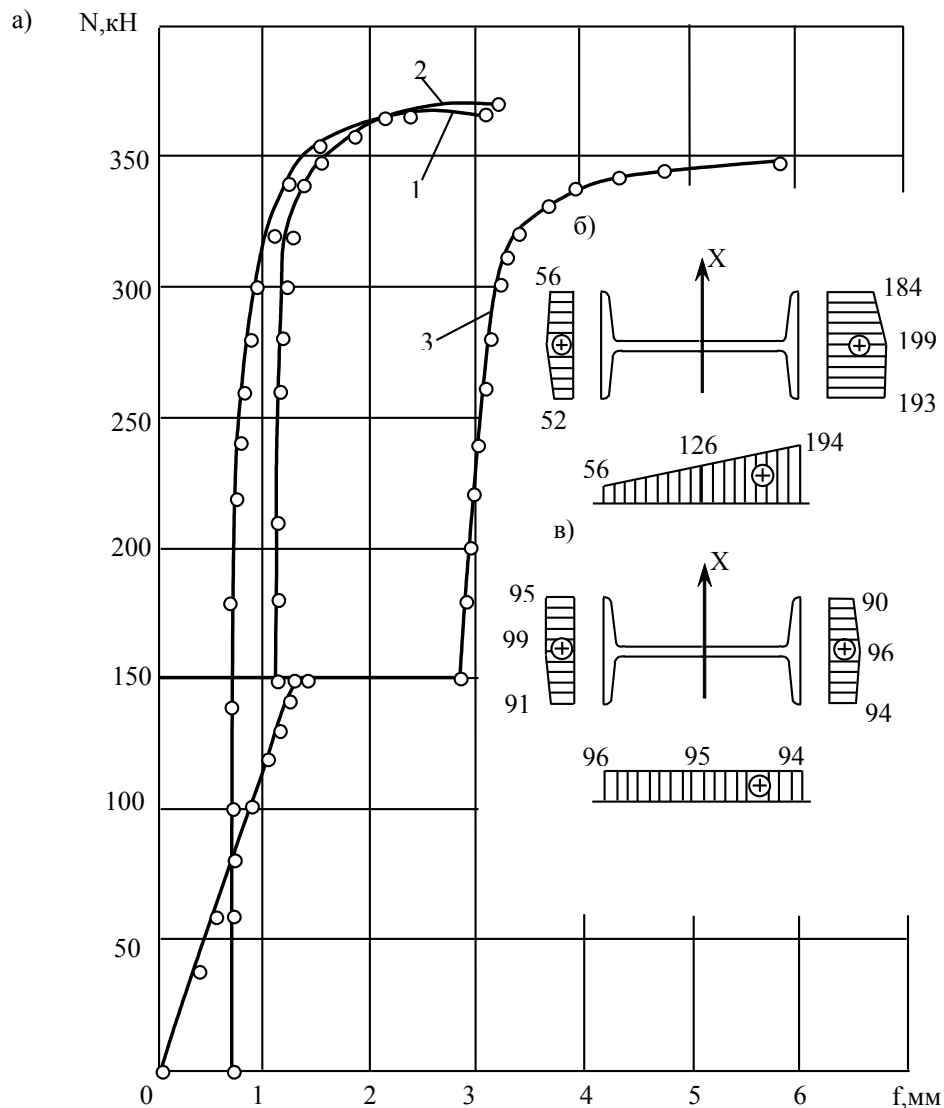


Рис. 4. Прогини і напруження в середньому перерізі зразків 135С

1 – С; 2 – С1-1; 3 – С1-3; а – прогини;

б, в – нормальні напруження до і після посилення

Висновки

1. Експериментальний метод досліджень сталевих колон суцільного поперечного перерізу, що посилюються під навантаженням, дає можливість прослідкувати кінетику їх напружено-

деформованого стану в технологічному процесі посилення і встановити закономірність впливу зварювання на їхню стійкість.

2. Попереднє напруження (розвантаження) колон без зменшення зовнішнього навантаження на конструкції під час посилення значно збільшує несучу здатність колон середніх і великих гнучкостей з малими ексцентриситетами прикладання зовнішнього навантаження.

3. Для колон малих гнучкостей попереднє напруження під час посилення виявилось неефективним.

1. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І.. *Металеві конструкції. За ред. Ф.Є. Клименка: Підручник. – 2е вид. випр. і доп. – Львів. Світ, 2002. – 312 с.* 2. Більський М.Р., Котів М.В. *Експериментальні дослідження поздовжньо стиснутих сталевих конструкцій, посилені під навантаженням // Теорія і практика будівництва. Вісник НУ “Львівська політехніка” – 2004. – № 520 – С. 9–16.* 3. Адлер Й.Н., Маркова Е.В., Грановский Н.В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 278 с.* 4. Хартман К., Шефер В., Лецкий Э. *Планирование Экспериментов в исследовании технологических процессов. – М.: Мир. 1977. – 552 с.*

УДК 624.012

З.Я. Бліхарський, Я.В. Римар, Р.Є. Хміль

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра будівельних конструкцій та мостів

ЗАЛІЗОБЕТОННІ БАЛКИ, ПІДСИЛЕНІ НАРОЩУВАННЯМ АРМАТУРИ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

© Бліхарський З.Я., Римар Я.В., Хміль Р.Є., 2005

Досліджено залізобетонні балки, що підсилюються під різними рівнями навантаження приварюванням до існуючої додаткової арматури. Наведено мету та методику проведення експериментальних випробовувань залізобетонних балок, підсилені під навантаженням нарощуванням арматури. Зафіксовано характер руйнування експериментальних зразків.

The article is devoted to research of reinforced concrete beams that increase under different levels of loading by welding on to the existent armature additional one. The purpose and the method of conducting of experimental tests of the reinforced concrete beams increased under loading by welding on to the additional armature to existent one is given. The character of destruction of experimental beams is fixed.

Постановка проблеми. На теперішній час в Україні виконується великий обсяг робіт з реконструкції існуючих підприємств і прогнозується їх подальше значне збільшення [1]. Зміна технологічних процесів під час реконструкції вимагає заміни технологічного обладнання, планувальних рішень, що здебільшого пов'язано із збільшенням навантаження на несучі конструкції, які необхідно підсилювати. Здебільшого реконструкція виробничих підприємств і пов'язане з нею підсилення конструкцій економічно вигідніше, ніж будівництво нових аналогічних будівель.

Необхідність підсилення будівельних конструкцій виникає не тільки під час реконструкції, але і з причини фізичного старіння конструкцій, спричиненого різноманітними чинниками (механічними ушкодженнями, неправильною експлуатацією, дією агресивного середовища [2,3]).

Аналіз останніх досліджень. Здійснений аналіз робіт експериментальних та теоретичних досліджень згинаних елементів, підсилені додатковою арматурою в розтягнутій зоні, показав, що значною мірою ефективність проведення зазначених робіт визначається напруженим станом згинаного елемента до підсилення (рівнем навантаження, за якого відбувається підсилення) та способом