

	Сжатие		Изгиб			Кручение	
	$\Delta l \times 10^5$ (м)	σ_{\max} (КПа)	w_{\max} (см)	σ_{\max} (КПа)	τ_{\max} (КПа)	$\varphi \times 10^4$ (рад)	τ_{\max} (КПа)
Теория	3,33	250	1,33	15000	375	7,09	601,5
МКЭ, вар. 1	3,32	250,5	1,33	14500	363	6,82	593
Расхождение	0,3%	0,2%	0%	3,33%	3,2%	3,81%	1,4%
МКЭ, вар.2	3,32	250,15	1,33	14500	365	6,98	593
Расхождение	0,3%	0,06%	0%	3,33	2,67%	1,57%	1,4%

Сопоставительный анализ результатов, приведенных выше, показывает незначительное расхождение результатов, полученных по теории сопротивления материалов, с одной стороны, и расчетом по программе ПРИНС с помощью предложенного конечного элемента – с другой. Учитывая, что предложенный конечный элемент полностью снимает проблемы, связанные с использованием одномерных моделей стержневых элементов, авторы рекомендуют использовать предложенный конечный элемент при расчете строительных конструкций, содержащих колонны прямоугольного сечения.

1. Басов К.А. ANSYS. Справочник пользователя. – М.: ДМК ПРЕСС, 2005. – 640 с.
2. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics. Sixth edition. – McGraw-Hill, 2005. – 631 p.
3. Bathe K.J. Finite Element Procedures. – Prentice Hall, Inc., 1996. – 1037 p.
4. Агапов В.П. Исследование прочности пространственных конструкций в линейной и нелинейной постановках с использованием вычислительного комплекса «ПРИНС» // Пространственные конструкции зданий и сооружений (исследование, расчет, проектирование, применение): Сб. статей. Вып.11. – М., 2008. – С.57-67.

Получено 27.04.2012

УДК [624.012.45+624.014.2] : 691.792

Л.І.СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук, О.Г.ГОРБ

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК СТИСНУТИХ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ КЛЕЙОВИМ З'ЄДНАННЯМ БЕТОНУ І СТАЛІ

Наведено методики розрахунку несучої здатності сталезалізобетонних елементів, у яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання. Виконано порівняння результатів експериментальних досліджень з теоретичними розрахунками.

Приведены методики расчета несущей способности сталежелезобетонных элементов, в которых совместная работа стали и бетона обеспечивается посредством склеивания. Выполнено сравнение результатов экспериментальных исследований с теоретическими расчетами.

The article describes methods of calculation of the bearing capacity of composite elements in which the joint work of steel and concrete is provided through bonding. We compare experimental results with theoretical calculations.

Ключові слова: сталезалізобетонний елемент, склеювання, розрахунок, навантаження, несуча здатність.

Останнім часом будівництво потребує удосконалення несучих конструкцій з метою зменшення матеріаловитрат і трудомісткості зведення будівель та споруд. Найбільше цим вимогам відповідають сталезалізобетонні конструкції, в яких раціонально поєднуються сталь та бетон. Однак розробники таких конструкцій зіткнулися з проблемою забезпечення сумісної роботи складових частин. Зараз при реконструкції залізобетонних конструкцій і кріпленні анкерних болтів застосовують клейові з'єднання [1]. Найефективнішими для цих потреб виявився акриловий клей. В сталезалізобетонних конструкціях для забезпечення сумісної роботи бетону і сталі замість анкерувальних засобів застосовують клейові з'єднання [4, 5]. Проте нерозв'язаним виявилось питання розрахунку такого типу конструктивних елементів.

Тривалий час вивченням різних клеїв і проблемами застосування їх у будівельній галузі займається наукова школа М.С. Золотова [1]. Доведено перевагу серед усіх видів клеїв, що використовуються в будівництві, акрилового, оскільки він простий у приготуванні, добре укладається, довговічний. Найновіші розробки традиційних анкерувальних засобів, що представлені в роботах [2-5], є надто трудомісткими та потребують високої кваліфікації робітників при їх застосуванні. Зокрема вони використані для поєднання сталі й бетону в сталевих двотаврах з боковими порожнинами, заповненими бетоном [3]. Для подібного випадку в роботі [5] запропоновано використати замість традиційних анкерів з'єднання на основі акрилових. Нами розроблено алгоритм визначення несучої здатності комплексних стиснутих елементів, де бетон і сталь для сумісної роботи поєднані за допомогою акрилового клею.

Стаття присвячена розрахункам несучої здатності стиснутих сталезалізобетонних конструктивних елементів, у яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання.

Найпростішим інженерним методом визначення несучої здатності будівельних конструкцій є розрахунок за граничними зусиллями з використанням двох умов рівноваги. Досліджувані стиснуті сталезалізобетонні елементи (сталеві двотаври з боковими порожнинами заповненими бетоном, бетонні призми з обрамленням сталевими листами), поперечні перерізи яких зображено на рис.1, можна розрахувати за цим методом, дотримуючись основної передумови визначення граничних зусиль: опір сталі та бетону представляється напруженнями, що дорівнюють відпо-

відним розрахунковим опорам, рівномірно розподіленим по висоті (прямокутна епіюра напружень). При позacentровому стиску виникає розтягнута зона. Якщо бетонна складова потрапляє до цієї зони, то її розрахунковий опір не враховується при розрахунках, оскільки порівняно зі сталлю він досить незначний.

Розрахунок міцності прямокутних перерізів стиснутих сталезалізобетонних елементів в загальному випадку виконується в залежності від висоти стиснутої зони x , що визначається за формулою, отриманою з рівняння рівноваги, згідно з яким сума проєкцій усіх зусиль на вертикальну вісь повинна дорівнювати нулю:

$$N = R_b b x + R_s A'_s - R_s A_s ; \quad (1)$$

$$x = \frac{N - R_s A_s - R_s A'_s}{R_b b} , \quad (2)$$

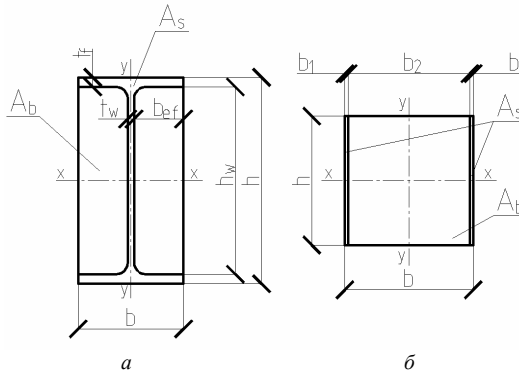


Рис. 1 – Розрахункові схеми поперечних перерізів стиснутих елементів: *a* – двотавр з боковими порожнинами заповненими бетоном; *б* – стиснутий елемент армований сталевими листами.

При $x \leq 0,55h$ у загальному випадку міцність перерізу перевіряється з умови:

$$N e_1 \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_s A'_s (h - a'_s) , \quad (3)$$

Для першого типу запропонованих конструкцій, що працюють за схемами зображеними на рис.2, виходячи з рівнянь (1)-(3), розрахункові формули матимуть вигляд:

$$N \leq R_b h_w x + 2R_s t_f x - 2R_s t_f (b - x) - R_s t_w h_w . \quad (4)$$

$$N \leq 2R_b b_{ef} (x - t_f) - R_s t_w (x - t_f) - R_s t_w (h_w - x + t_f). \quad (5)$$

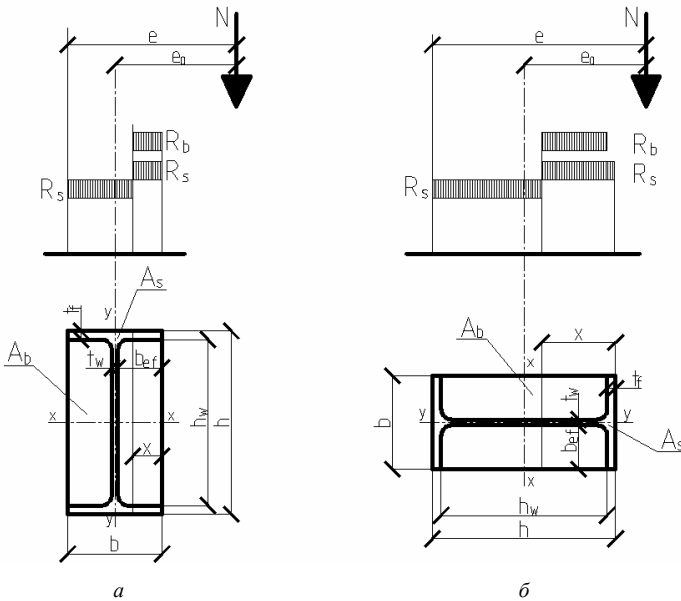


Рис.2 – Розрахункова схема позацифровано стиснутого сталевго двотавра з боковими порожнинами заповненими бетоном:
a – при дії згинального моменту в площині стінки двотавра; *б* – при дії згинального моменту в площині полиць.

Після скорочень та перетворень отримаємо вирази для визначення висоти стиснутої зони x :

$$x = \frac{N + R_s (2t_f b - t_w h_w)}{R_b h_w + 4R_s t_f}. \quad (6)$$

$$x = \frac{N + 2R_b b_{ef} t_f + R_s t_w h_w}{2R_b b_{ef}}. \quad (7)$$

Міцність перерізу перевіряється за формулами (відносно вісі y - y для варіанту *a* і відносно вісі x - x для варіанту *б*):

$$Ne \leq x(R_b h_w + 2R_s t_f) \left(\frac{b-x}{2}\right) - R_s t_f (b-x) \left(\frac{b+x+t_w}{2} - b_{ef}\right) \quad (8)$$

$$Ne \leq (R_b b_{ef} + 2R_s t_w)(x - t_f) \left(\frac{h - x + t_f}{2} \right) - 1.5R_s t_w (h_w - x + t_f)(t_f - x) \quad (9)$$

Для другого типу запропонованих конструкцій, що працюють за схемами зображеними на рис.3, виходячи з рівнянь (1)-(3), розрахункові формули матимуть вигляд:

$$N \leq R_b h(x - b_1). \quad (10)$$

$$N \leq R_b b_2 x + 2R_s b_1 x - 2R_s b_1 (h - x). \quad (11)$$

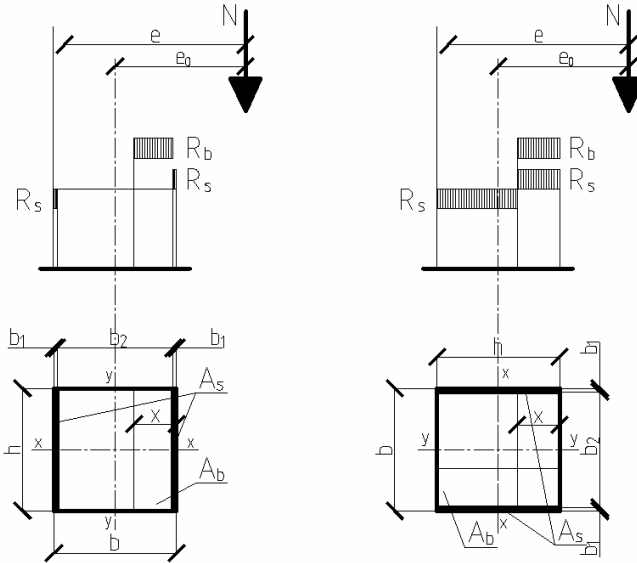


Рис.3 – Розрахункова схема позациентровано стиснутого бетонного елемента, армованого сталевими листами:

a – при дії згинального моменту в площині обрамлення;

б – при дії згинального моменту поза площиною обрамлення.

Після скорочень та перетворень отримаємо вирази для визначення висоти стиснутої зони *x*:

$$x = \frac{N + R_b h b_1}{R_b h}. \quad (12)$$

$$x = \frac{N + 2R_s b_1 h}{R_b b_1 h}. \quad (13)$$

Міцність перерізу перевіряється за формулами (для варіанту a відносно вісі $y-y$, для варіанту b відносно вісі, що проходить по крайніх розтягнутих волокнах):

$$Ne \leq R_b h(x - b_1)(b_2 - \frac{x - b_1}{2}); \quad (14)$$

$$Ne \leq (R_b b_2 x + R_s b_1(x - h))(h - x). \quad (15)$$

При $x > 0,55h$ розрахунок перерізу рекомендується виконувати, визначаючи висоту стиснутої зони за формулою

$$x = h \frac{0,45 [N - (R_s - R_b) A_s] + 1,55 R_s A_s}{0,45 R_b b_2 h + 2 R_s A_s}. \quad (16)$$

Несучу здатність стиснутих елементів з випадковими ексцентриситетами можна визначати наближено за рівняннями для осевого стиску:

$$N \leq R_b (hb - A_s) + R_s A_s. \quad (17)$$

$$N \leq R_b hb_2 + 2R_s hb_1. \quad (18)$$

Розрахунок за приведеним перерізом використовується для приблизного визначення несучої здатності досліджуваних конструкцій, може використовуватися для перевірки та порівняння з іншими методами розрахунку. Варіанти запропонованих поперечних перерізів (рис.1) в нашому випадку приводяться до сталі.

Несуча здатність сталезалізобетонних елементів, що працюють на позакентровий стиск з випадковими ексцентриситетами, за приведеним до сталі перерізом визначається згідно з СНиП II-23-81*:

$$\frac{N}{\varphi A_{red}} \leq R_y \gamma_c; \quad A_{red} = A_s + n_b A_b; \quad n_b = \frac{E_b}{E_s}. \quad (19)$$

Для перерізу згідно з першим варіантом A_{red} визначається за рівнянням

$$A_{red} = A_s + n_b (h \cdot b - A_s). \quad (20)$$

Для перерізу за другим варіантом ця ж формула матиме вигляд:

$$A_{red} = 2 \cdot h \cdot b_1 + n_b (h \cdot b_2). \quad (21)$$

Коефіцієнт поздовжнього згину φ визначається за відповідними таблицями СНиП II-23*-81 залежно від гнучкості λ :

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{red}}; \quad i_{red} = \sqrt{\frac{I_{red}}{A_{red}}}. \quad (22)$$

Для першого варіанту:

$$I_{red,x} = I_x + n_b \frac{(b-t_w)(h-2t_f)^3}{12};$$

$$I_{red,y} = I_y + n_b \frac{(h-2t_f)(b-t_w)^3}{12}.$$
(23)

Для другого варіанту:

$$I_{red,x} = \frac{h^4 - b_2 \cdot h^3}{12} + n_b \frac{b_2 \cdot h^3}{12};$$

$$I_{red,y} = \frac{b^4 - b_2^3 \cdot h}{12} + n_b \frac{b_2^3 \cdot h}{12}.$$
(24)

Гнучкість при розрахунку сталезалізобетонних елементів при роботі на позacentровий стиск враховується коефіцієнтом поздовжнього згину φ_e , який визначається за допомогою таблиці 74 СНиП II-23-81* за умовною гнучкості $\bar{\lambda}$ та приведеним відносним ексцентриситетом m_{ef} .

Результати розрахунків (таблиця), отримані за викладеним вище алгоритмом, при порівнянні з експериментальними даними [5] показали можливість застосування традиційних інженерних методів визначення несучої здатності стиснутих елементів щодо запропонованих зразків, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою клейового з'єднання.

Несуча здатність стиснутих дослідних елементів

Зразок	Несуча здатність, кН			Розбіжність, %		Коефіцієнт ефективності сталезалізобетону, m
	експ. значення	теор. знач. за граничними станами	теор. знач. за приведеним перерізом до сталі	знач. за граничними станами	знач. за приведеним перерізом до сталі	
Стійка 2 м	446	470	460,8 (232)*	+5,3	+3,3 (-48)	1,71
Стійка 0,63 м БК	290	667 (270)**	638,5	+130 (-6,9)	-	-
Стійка 0,63 м К1	440	667 (332)***	638,5	+51,5 (-24,5)	-	1,21
Стійка 0,63 м К2	660	667	638,5	+1,1	-3,3	2,49

Примітки:

* – несуча здатність сталевго двотавра довжиною 2 м без заповнення бетоном;

** – несуча здатність елемента з урахуванням виникнення ексцентриситету величиною 10 см;

*** – несуча здатність бетонної призми без урахування сталевго обрамлення.

Таким чином, використані алгоритми визначення несучої здатності стиснутих сталезалізобетонних елементів, у яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується за допомогою склеювання, свідчать про прийнятну точність розрахунків. Розбіжність результатів експериментальних досліджень з теоретичними значеннями при забезпеченні сумісної роботи складових до повного руйнування досліджуваного елемента не перевищила 6% для стійок висотою 2 м та 4% для коротких стійок висотою 0,63 м. Отже, можна говорити про можливість застосування запропонованих методик при розрахунку стійок, в яких сумісна робота сталі та бетону забезпечується з допомогою клейового з'єднання.

1.Золотов М.С. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування / М.С. Золотов. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 121 с.

2.Нижник О.В. Стиснуті елементи зі сталевих складених двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / О.В. Нижник. – Полтава, 2005. – 20 с.

3.Стороженко Л.І. Сталезалізобетон / Л.І. Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 386 с.

4.Стороженко Л.І. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: АСМІ, 2008. – 312 с.

5.Стороженко, Л.І. Конструкції зі сталевих двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко, О.Г. Горб // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сб. науч. тр. – Вып.14. Ч.2. – Одесса: ОГАСА, 2010. – С.150-155.

Отримано 27.04.2012

УДК 624.042.42 (477)

С.Ф.ПІЧУГІН, д-р техн. наук, Н.М.ПОПОВИЧ, І.Б.ПОПОВИЧ
Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

ВПЛИВ ОСОБЛИВО НЕБЕЗПЕЧНИХ СНІГОПАДІВ НА ФОРМУВАННЯ СНІГОВОГО ПОКРИВУ

На підставі аналізу даних про особливо небезпечні снігопади встановлено їх статистичні характеристики та зв'язок з результатами систематичних снігомірних зйомок. Показано, що результати снігомірних зйомок включають також дані про особливо небезпечні снігопади.

На основании анализа данных об особенно опасных снегопадах установлены их статистические характеристики и связь с результатами систематических снегомерных съемок. Показано, что результаты снегомерных съемок включают также данные об особенно опасных снегопадах.

According to data analysis on particularly dangerous snowfall the of statistical characteristics and relations with the results of systematic snow surveys are found. It is shown that the results of snow surveys also include information on particular hazardous snowfalls.

Ключові слова: снігове навантаження, нормування снігового навантаження, особливо небезпечні снігопади, снігомірні зйомки, статистичні характеристики.