

УДК 69.059.3:624.014.2

к.т.н., доцент, Бабічев П.С.,

babichev99@ukr.net, -0002-9993-3235,

к.т.н., доцент, Глітін О.Б., glitin@ukr.net, 0000-0003-1697-6473,

Радецький С.Б., s.radetskiy@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5798-1987,

Київський національний університет будівництва і архітектури

DOI: 10.32347/2076-815x.2019.71.46-52

## **ПРАКТИЧНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПІДСИЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПРОГОНІВ І БАЛОК ШЛЯХОМ УЛАШТУВАННЯ ДВОХ ПРУЖНИХ ОПОР В ПРОЛЬОТІ**

*Розглянуто конструктивні особливості підсилення металевих конструкцій шляхом влаштування двох пружних опор. Наведена методика розрахунку влаштування пружних опор з покровою реалізацією. Ця методика дозволяє практично вирішити проблеми розрахунку такого підсилення та ефективніше застосовувати його в реконструкції та ремонті. На основі методики, виконано числовий розрахунок підсилення покрівельного прогону з гарячекатаного швелера, який масово застосовувався в минулому столітті при виконанні покрівель промислових будівель на території України.*

*Ключові слова:* покрівля, реконструкція, підсилення, пружна опора.

В практиці підсилення будівельних конструкцій застосовують таке конструктивне рішення підсилення прогонів і балок, як улаштуванням двох пружних опор в прольоті.

Це конструктивне рішення наведено в [1]. Однак розрахунку підсилення в науково-технічній літературі не висвітлено, що стримує упровадження в практику такого ефективного способу підсилення. Дана стаття заповнює нестачу цих розрахунків, що буде сприяти застосуванню такого підсилення та забезпечить підвищення надійності підсилених конструкцій.

При такому підсиленні (рис.1) на несучу конструкцію (ферму і т.п.) установлюють з обох боків підсилюваного прогону двоконсольні елементи (підпруги), які на кінцях скріплюють з підсилюваним прогоном за допомогою підкладки із оцупка швелера і болтів.

Конструктивне рішення виконують без застосування зварювання і без порушення цілісності підсилюваного елемента. Для створення попереднього напруження у вузлах на кінцях підпруг передбачають необхідний зазор  $\Delta$ , який закривається при затягуванні болтів.

Розрахунок підсилення пропонується виконувати за викладеною нижче методикою.

1. Визначають потрібну силу  $F$  на пружній опір за умови, що максимальні напруження в прогоні на середині прольоту дорівнюють максимальному допустимому значенні

$$F = \frac{M\gamma_n - R_y\gamma_c W_x}{a\gamma_n} \quad (1)$$

де

$$M = \frac{ql^2}{8}; \quad a = \left( \frac{1}{3.5} \div \frac{1}{4.5} \right) l$$

$\gamma_n$  – коефіцієнт відповідальності [2];  $q$  – загальне граничне навантаження з урахуванням власної ваги і ваги підсилювального пристрою.

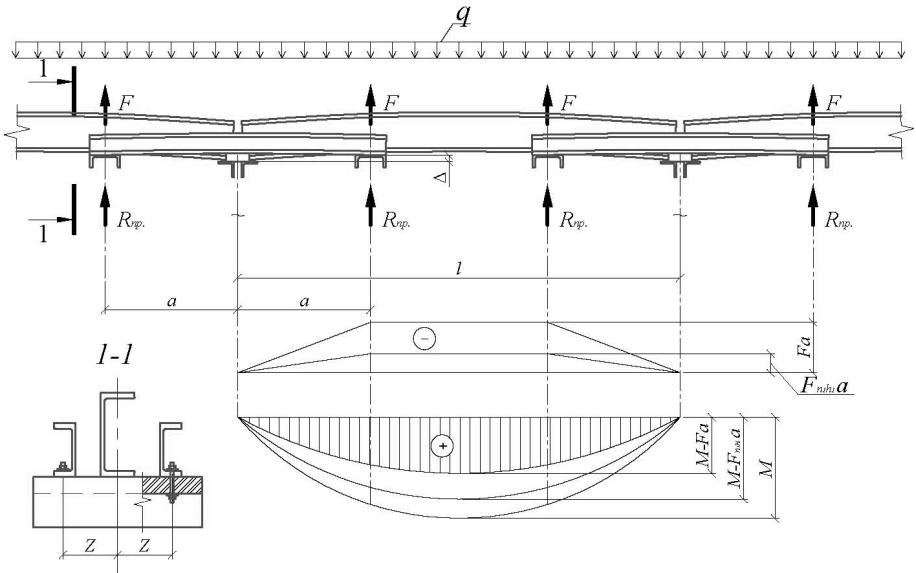


Рис. 1. Схема конструктивного рішення підсилення прогону з застосуванням двох пружних опор в прольоті і епюри моментів

2. Підбирають поперечний переріз двоконсольної підпруги згідно з [3] при дії сили  $F$ .

3. Визначають реакцію пружної опори  $R_{сп}$  від рівномірно розподіленого додаткового навантаження  $q_s$ , яке діє після підсилення, за умови рівності прогину консолі і різниці прогинів прогону (по осі з'єднання з підпругою) від навантаження  $q_s$  і двох симетрично прикладених сил  $R_{сп}$ .

$$R_{np} = \frac{q_s(l^3 - 2la^2 + a^3)}{4a(3l - 4a + aI_x/I_{x,r})} \quad (2)$$

де  $I_{x,r}$  - момент інерції перерізу одного елемента підпруги.

4. Визначають силу попереднього напруження якщо  $F > R_{np}$

$$F_{п.н.} = (F - R_{np})\gamma_{fm} \quad (3)$$

де  $\gamma_{fm}$  - коефіцієнт надійності за силою  $F_{п.н.}$ ;  $\gamma_{fm} = 1,1$  [4].

5. Визначають потрібний зазор між підпругою і нижньою гранню прогону, як суму прогинів підпруги і прогону по осі з'єднання, від сили  $F_{п.н.}$ .

$$\Delta = \frac{a^2 F_{п.н.}}{6EI_x} \left( 3l - 4a + \frac{aI_x}{I_{x,r}} \right) \quad (4)$$

6. Перевіряють напруження в прогоні:

а) на стадії експлуатації

$$\sigma = \frac{ql^2 - 8aF}{8W_x} \leq \frac{R_y \gamma_c}{\gamma_n} \quad (5)$$

б) на стадії створення попереднього напруження

$$\sigma = \left| \frac{q_n l^2 - 8F_{п.н.} a}{8W_x} \right| \leq \frac{R_y \gamma_c}{\gamma_n} \quad (6)$$

де  $q_n$  - навантаження, що діє при виконанні робіт з підсилення.

7. Перевіряють прогин на середині довжини прогону на стадії експлуатації (наприклад, при використанні навантаження  $q_e$ )

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_e l^4}{EI_x} - \frac{aF(3l^2 - 4a^2)}{24EI_x} \leq \frac{l}{n\gamma'_n} \quad (7)$$

де  $q_e$  - навантаження, яке прийняте для перевірки граничного стану другої групи, наприклад експлуатаційне [5];  $n$  - величина, яку визначають за ДСТУ Б В.1.2-3:2006;

$\gamma'_n$  - коефіцієнт надійності для другого граничного стану [2].

8. Підбирають переріз підкладки у вузлі з'єднання підпруги з прогоном як для двоконсольної балки [3].

9. Визначають діаметр болтів у з'єднанні підпруги з підкладкою [3].

Якщо прогин  $f$  перевищує допустиме значення – необхідно збільшити силу  $F$  на величину ( $\Delta F$ ), яку визначають з умови

$$f - \frac{l}{n\gamma'_n} = \frac{(\Delta F)a(3l^2 - 4a^2)}{24EI_x} \quad (8)$$

Звідки

$$\Delta F = \frac{24EI_x \left( f - \frac{l}{n\gamma'_n} \right)}{a(3l^2 - 4a^2)} \quad (9)$$

Відповідно збільшенню сили  $F$  корегують значення зусилля попереднього напруження  $F_{п.н.}$  і зазору  $\Delta$ :

$$F'_{п.н.} = (F + \Delta F - R_{пр})\gamma_{fm}; \quad (10)$$

$$\Delta = \frac{a^2 F'_{п.н.} (3l - 4a + aI_x/I_{x,r})}{6EI_x} \quad (11)$$

Щоб не виконувати попереднє напруження підбирають переріз елемента підпруги не по моменту опору перерізу, а по моменту інерції, при якому жорсткість додаткових опор достатня для забезпечення міцності прогону в експлуатаційній стадії. Потрібне значення моменту інерції при цьому випадку визначають із рівності  $R_{пр} = F$

$$I_{x,r} = \frac{4a^2 I_x F}{q_s (l^3 - 2la^2 + a^3) - 4a(3l - 4a)F} \quad (12)$$

При підсиленні без попереднього напруження трудомісткість робіт менша, але витрати металу більші, оскільки створюється більш жорстка опора.

Наведені в статті формули дійсні для балок і прогонів під малоухильну покрівлю ( $i \leq 2,5\%$ ). При покрівлі з  $i > 2,5\%$  необхідно враховувати роботу прогонів на косий згин.

Розроблена методика розрахунку підсилення прогонів і балок для типових конструктивних рішень проста і забезпечить надійну роботу підсиленних конструкцій. Подальша задача для розвитку цієї тематики – дослідження параметрів, що впливають на величину реакції пружних опор.

**Приклад.** Розрахувати підсилення прогону при малоухильній покрівлі. Прогін із швелера №24У з характеристиками:  $W_x = 242 \text{ см}^2$ ;  $I_x = 2900 \text{ см}^2$ ; маса 1 м становить 24 кг. Розрахунковий опір матеріалу прогону і підсилювальних елементів  $R_y = 240 \text{ МПа}$ , коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 1$ . Постійне навантаження: граничне  $q_n = 4 \text{ кН/м}$ , експлуатаційне  $q_{n,e} = 3,6 \text{ кН/м}$ . Змінне навантаження, яке діє після підсилення: граничне  $q_s = 13,21 \text{ кН/м}$ , експлуатаційне  $q_{s,e} = 12,7 \text{ кН/м}$ . Загальне навантаження: граничне  $q = 17,21 \text{ кН/м}$ , експлуатаційне  $q_e = 16,3 \text{ кН/м}$ . Клас наслідків СС2, коефіцієнт відповідальності при першій та другій групах граничних станів:  $\gamma_n = 1,05$ ;  $\gamma'_n = 0,975$ .

1. Беремо  $a=1,4 \text{ м} \approx l/4,3$ .  $M=17,21 \cdot 6^2/8 = 77,45 \text{ кНм}$ . Потрібна сила  $F$ :

$$F = \frac{77,45 \cdot 1,05 - 240 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 242 \cdot 10^{-6}}{1,4 \cdot 1,05} = 15,81 \text{ кН.}$$

2. Підбираємо переріз двоконсольної підпруги із двох швелерів:

$$M_r = Fa = 15,81 \cdot 1,4 = 22,12 \text{ кНм};$$

$$W_{\text{потр}} = \frac{M_r \gamma_n}{2R_{yr} \gamma_c} = \frac{2212 \cdot 1,05}{2 \cdot 24 \cdot 1} = 48,39 \text{ см}^3;$$

беремо за ДСТУ 3436 швелер №12П з  $W_r=50,8 \text{ см}^3$ ,  $I_r = 305 \text{ см}^4$ , вага 1 м 10,4 кг.

3. Визначаємо реакцію пружної опори

$$R_{\text{пр}} = \frac{13,21(6^3 - 2 \cdot 6 \cdot 1,4^2 + 1,4^3)}{4 \cdot 1,4(3 \cdot 6 - 4 \cdot 1,4 + 1,4 \cdot 2900/305)} = 17,91 \text{ кН.}$$

4. Оскільки  $R_{\text{пр}} > F$  попереднє напруження не потрібне.

5. Зазор  $\Delta$  не улаштовуємо, оскільки попереднє напруження не передбачено.

6. Перевіряємо напруження на стадії експлуатації при  $F = R_{\text{пр}}$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{17,21 \cdot 6^2 - 8 \cdot 1,4 \cdot 17,91}{8 \cdot 242 \cdot 10^{-6}} = 0,2164 \cdot 10^6 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = \\ &= 216,4 \text{ МПа} < \frac{240 \cdot 1}{1,05} = 228,6 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

7. Перевіряємо прогин на стадії експлуатації при  $F = R_{\text{пр}}$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{16,3 \cdot 6^4}{2,06 \cdot 10^8 \cdot 2900 \cdot 10^{-8}} - \frac{1,4 \cdot 17,91(3 \cdot 6^2 - 4 \cdot 1,4^2)}{24 \cdot 206 \cdot 10^8 \cdot 2900 \cdot 10^{-8}} = 0,029 \text{ м} =$$

$$= 2,9 \text{ см} < \frac{600}{200 \cdot 0,975} = 3,1 \text{ см.}$$

8. Підбираємо переріз підкладки при  $z = 0,15 \text{ м}$  (див.рис.1):

$$M = \frac{R_{\text{пр}}}{2} z = \frac{17,91}{2} 0,15 = 1,34 \text{ кНм};$$

$$W_{\text{у,потр}} = \frac{M \gamma_n}{R_y \gamma_c} = \frac{134 \cdot 1,05}{24 \cdot 1} = 5,86 \text{ см}^3;$$

беремо швелер №10П з  $W_y = 7,37 \text{ см}^3 > 5,86 \text{ см}^3$ . Вага 1 м становить 8,59 кг.

9. Визначаємо діаметр болтів у з'єднанні підпруги з підкладкою: беремо клас міцності болтів 5,6 з  $R_{bt} = 22,5 \text{ кН/см}^2$ ; потрібна площа перерізу нетто болта

$$A_{bn} = \frac{R_{\text{пр}} \gamma_n}{2 R_{bt} \gamma_c} = \frac{17,91 \cdot 1,05}{2 \cdot 22,5 \cdot 1} = 0,42 \text{ см}^2;$$

беремо  $d=16 \text{ мм}$  з  $A_{bn} = 1,5 \text{ см}^2 > 0,42 \text{ см}^2$ .

### Список використаних джерел:

1. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Серия 1.420.2-27. Усиление стальных конструкций производственных зданий. Выпуск 4. Действуют с 01.03.1990 г.
2. ДБН В.1.2-14:2009. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України. – К.: Мінрегіон України, 2009. – 37 с. Чинні з 2009-12-01.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Державні будівельні норми України. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с. Чинні з 2015-01-01.
4. Инструкция по проектированию предварительно напряженных стальных конструкций. - М.: Госстройиздат, 1963. – 72 с.
5. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Державні будівельні норми України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с. Чинні з 2007-01-01.

к.т.н., доцент, Бабичев П.Е., к.т.н., доцент, Глитин А.Б., Радецкий С.Б.  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОГОНОВ И БАЛОК ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ДВУХ УПРУГИХ ОПОР В ПРОЛЕТЕ

Рассмотрены конструктивные особенности усиления металлических конструкций путем устройства двух упругих опор. Приведена методика расчета устройства упругих опор с пошаговой реализацией. Эта методика позволяет

практически решить проблемы расчета такого усиления и эффективнее применять его в реконструкции и ремонте. На основе методики, выполнено числовой расчет усиления кровельного прогона из горячекатаного швеллера, который массово применялся в прошлом столетии при выполнении кровель промышленных зданий на территории Украины.

Ключевые слова: кровля, реконструкция, усиление, упругая опора.

PhD, Ass. Professor Babichev P.E., PhD, Ass. Professor Glitin O.B., Radetskyi S.B.,  
Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture

### **PRACTICAL METHOD OF CALCULATION OF REINFORCEMENT OF STEEL PURLINS AND BEAMS BY INSTALLATION OF TWO ELASTIC SUPPORTS IN SPAN**

The structural features of reinforcement of metal structures by installation of two elastic supports are considered in the article. The method of calculation of the installation of elastic supports with step-by-step realization is resulted. This technique allows to solve the problems of calculation of such reinforcement and to apply it more effectively in reconstruction and repair. On the basis of this method, the numerical calculation of the reinforcement of the C-shape roof purlin was performed. C-shape beams were widely used in the last century in roofs of industrial buildings construction in Ukraine.

Keywords: roof, reconstruction, reinforcement, elastic support.

#### **REFERENCES:**

1. *Typovye stroytelnye konstruktsyy yzdelya y uzly*. [Typical building structures, products and units] Seryia 1.420.2-27. *Usylenye stalnykh konstruktsyi proyzvodstvennykh zdaniy* [Reinforcement of steel structures of industrial buildings]. Vypusk 4. (in Rus.)
2. DBN V.1.2-14:2009. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv* [Reliability and safety of construction sites assurance system] – K. Minrehion Ukrainy 2009. – 37 p. (in Ukr.)
3. DBN B.2.6-198: 2014. *Stalevi konstruktsii. Normy proektuvannia* [Steel structures. Design rules]. – K. Minrehion Ukrainy 2014. (in Ukr.)
4. *Ynstruktsiya po proektyrovaniyu predvartelno napriazhennykh stalnykh konstruktsyi* [Prestressed steel structures designing instruction]. M. Hosstroiyzdat 1963. – 72 p. (in Rus.)
5. DBN B.1.2-2: 2006. *Navantazhennia I Vplyvy. Normy Proektuvannia*. [Loads and actions. Design rules] – K. Minbud Ukrainy 2006. – 59 p. (in Ukr.)