

УДК 624.014.2

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.270421.115.758

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ, КОНСТРУЮВАННЯ І РОЗРАХУНКУ ШАРНІРНИХ БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ У ПРОГОНАХ СТАЛЕВИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК ПІД ЧАС РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ

ХЛИБОРODOV В. П.¹, канд. техн. наук, доц.,
ЖУРБА І. П.², ас.,
КОЦЮБА Т. В.^{3*}, ас.

¹ Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 901-33-01, e-mail: mdk@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-5198-1297

² Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-61, e-mail: zhurba.ivan@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2643-4811

^{3*} Кафедра металевих, дерев'яних і пластмасових конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-61, e-mail: kottany@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4404-8896

Анотація. Постановка проблеми. Об'єкт дослідження – сталеві балки технологічних майданчиків і покриттів будівель за статичного навантаження. Розглядаються статично невизначені балки 1-го класу (за класифікацією, наведеною в ДБН В.2.6-198:2014), для яких унаслідок передбаченої у проекті реконструкції будівлі, збільшення інтенсивності навантаження потрібне підвищення несної здатності. Наводиться аналіз існуючих способів підвищення несної здатності балок без підсилення методом збільшення поперечних перерізів, а саме, вертикальним переміщенням опор балки, влаштуванням штучних шарнірів у прогонах балки. Ці способи дозволяють виконати таке регулювання зусиль у балці, щоб згинальні моменти в прогоні й опорному перерізі були однаковими за абсолютним значенням, яке менше, ніж максимальний згинальний момент у балці до регулювання зусиль. Проблемним постає конструювання виконання болтового шарнірного з'єднання підвісної балки з консольною балкою без демонтажу збереженої для подальшої експлуатації балки, або без улаштування тимчасових опор у зоні стику. **Мета статті** – виявити і врахувати особливості розташування, розрахунку, конструювання і виконання шарнірних болтових з'єднань у прогонах збережених для подальшої експлуатації балок без їх демонтажу. **Висновок.** Розроблено конструкцію шарнірного болтового з'єднання підвісної балки з консольною. Стінки підвісної і консольної балок передбачено з'єднувати так, щоб з одного боку стику болти були розташовані в одному вертикальному ряді, що забезпечує вільний поворот перерізів підвісної і консольної балок за достатньої, визначеної розрахунками, різниці між діаметрами отворів і болтів. Один вертикальний ряд болтів доцільно розташовувати в стінці підвісної балки, на міцність болтового з'єднання накладок. Наведено приклад конструювання і розрахунку шарнірно-консольної балки, утвореної з нерозрізної двопрігінної балки під час реконструкції будівлі.

Ключові слова: шарнір; нерозрізна балка; шарнірно-консольна балка; накладки; болти

SOME PECULIARITIES OF THE INSTALLATION, DESIGN AND CALCULATION OF HINGE BOLT CONNECTIONS IN THE FLOWS OF STEEL DOUBLE BEAMS IN THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

KHLIBORODOV V.P.¹, Cand. Sc.(Tech.), Assoc. Prof.,
ZHURBA I.P.², Ass.,
KOTSIUBA T.V.^{3*}, Ass.

¹ Department of Metals, Woods and Plastics Constructions, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (067) 901-33-01, e-mail: mdk@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-5198-1297

² Department of Metals, Woods and Plastics Constructions, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-61, e-mail: zhurba.ivan@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-2643-4811

^{3*} Department of Metals, Woods and Plastics Constructions, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho Str., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-61, e-mail: kottany@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4404-8896

Abstract. Formulation of the problem. The object of study is steel beams of technological sites and coatings of buildings under static load. Statically indeterminate beams of the 1st class (according to the classification given in DBN B.2.6-198:2014) are considered, for which as a result of the reconstruction of the building provided in the project, increase in intensity of loading increase of bearing capacity of beams is required. The analysis of the existing ways of increase of bearing capacity of beams without strengthening by a method of increase in cross sections, namely, vertical movement of supports of a beam, the device of artificial hinges in beams of a beam is resulted. These methods allow the adjustment of the forces in the beam so that the bending moments in the run and the support section are the same in absolute value, which is less than the maximum bending moment in the beam before the adjustment of the forces. The problem is the design of the bolted hinged connection of the suspension beam with the cantilever beam without dismantling the beam stored for further operation, or without the installation of temporary supports in the joint area. **The purpose of the article.** Identify and take into account the features of the location, calculation, design and execution of hinged bolted joints in the beams saved for further operation of the beams without their dismantling. **Conclusion.** The design of the hinged bolted connection of the suspended beam with the cantilever has been developed. The walls of the suspension and cantilever beams are connected so that on one side of the joint the bolts are located in one vertical row, which provides free rotation of the cross sections of the suspension and cantilever beam with sufficient, determined by calculation, the difference between the diameters of holes and bolts. One vertical row of bolts should be placed in the wall of the suspension beam, for the strength of the bolted connection of the pads. An example of construction and calculation of a hinged cantilever beam formed from an integral two-span beam during the reconstruction of the building is given.

Keywords: hinge; continuous beam; hinged cantilever beam; junction lining; the bolts

Аналіз досліджень. Для істотного збільшення несної здатності статично невизначеної сталеві балки постійного перетину шарніри в прогонах балки розставляють, як відомо, так, щоб домогтися вирівнювання по абсолютних значеннях опорних і максимальних прогонових згинальних моментів.

У балках змінного перерізу влаштуванням шарнірів досягається вирівнювання по абсолютних значеннях нормальних напружень в опорних і прогонових перерізах балки. Таке ж вирівнювання згинальних моментів (або напружень) може бути досягнуте і примусовим зміщенням (підняттям, опусканням) опор балки без улаштування шарнірів [1].

У шарнірно-консольних балках величини внутрішніх зусиль (згинальних моментів і поперечних сил) не залежать від зміщення опор. Тому не потрібно змінювати рівень розташування опор у статично невизначених балках, в яких влаштовують шарніри.

Шарнірне з'єднання в попередньо розрізаній балці влаштовується за

допомогою накладок, з'єднаних зі стінками балки болтами класу точності В. У балці зі ступінчастим розрізом, крім накладок, установлюють у центрі з'єднання плитний шарнір, або циліндричний шарнір (цапфу) [2].

Різання на всю висоту перетину в прогоні експлуатованої балки виконують після демонтажу балки, або після установки тимчасових опор, що спричинює збільшення трудомісткості і вартості робіт із влаштування болтового з'єднання. Тому актуальним постає вирішення питання улаштування болтового з'єднання в прогоні балки з поетапним виконанням різання і подальшого з'єднання болтами з накладками – спочатку стінки, потім поясів балки.

Мета роботи – виявлення і врахування особливостей розстановки, розрахунку, конструювання і виконання шарнірних болтових з'єднань у балках, які зберігаються для подальшої експлуатації, без їх демонтажу.

Виклад основного матеріалу. Розстановка шарнірів залежить від розрахункової схеми балки і схеми її завантаження.

Розглянемо приклад улаштування шарніра в однопрогоновій балці за рівномірного розподіленого інтенсивного навантаження q (рис. 1, а).

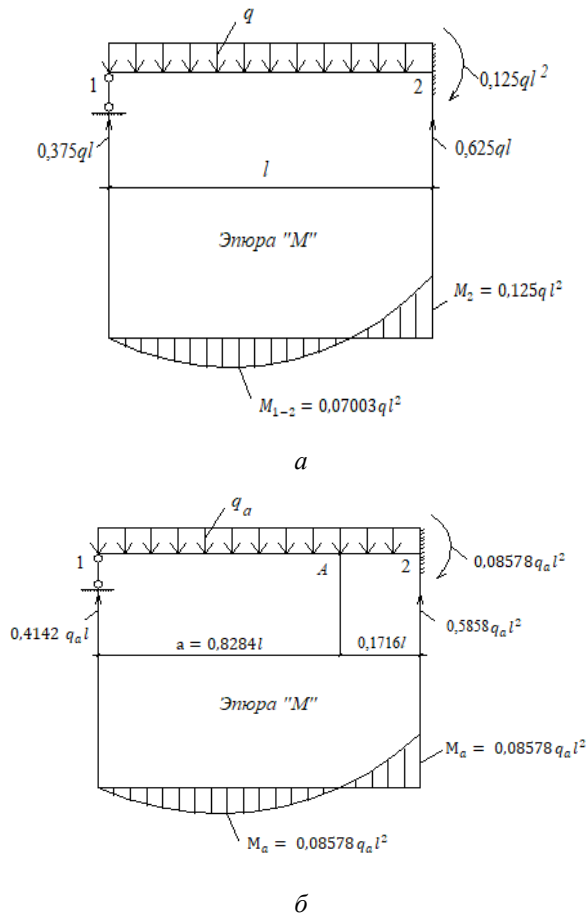


Рис. 1. Розрахункові схеми й епюри згинальних моментів M у балках:

а – у статично невизначеній балці;

б – у статично визначеній шарнірно-консольній балці

Згинальні моменти в балці: в прольоті 1–2 $M_{1-2} = 0,07003ql^2$; в перерізі біля опори 2 $M_2 = 0,125ql^2$.

Відстань a від шарніра А до опори 1 балки (рис. 1, б) визначаємо з умови: $M_{пр} = |M_{оп}|$.

$$M_{пр} = 0,125q_a a^2 = M_{оп} = 0,5q_a a(l - a) + 0,5q(l - a)^2$$

$$\text{Звідси } a = 2(\sqrt{2} - 1) \cdot l \approx 0,8284l.$$

$$M_{пр} = 0,125q_a (0,8284l)^2 = 0,08578q_a l^2 = |M_{оп}|. \quad (1)$$

Такий само результат дає регулювання зусиль у балці шляхом зміщення вгору опори 1 балки (без шарніра) на:

$$f_1 = \frac{(0,4142 q_a l - 0,375 q_a l) \cdot l^3}{3 EI} = \frac{0,01307 q_a l^4}{EI} = 0,01307 q_a l^4 / EI, \quad (2)$$

де EI – згинальна жорсткість перерізу балки.

Зі складених епюр згинальних моментів, наведених на рисунку 1, виходить, що в шарнірно-консольній балці $M_a = 0,08578q_a l^2$, що в 1,45 раза менше, ніж у балці без шарніра, (при $q = q_a$) $M = 0,125q_a l^2$.

Для виконання розрахунку балок, які зберігаються для подальшої експлуатації, приймають фактичні геометричні характеристики перерізів, характеристичні і розрахункові опори сталі, які визначаються на підставі натурального обстеження й оцінки якості сталі [3].

Шарнірно-консольна балка складається з основних частин (консольних балок) і додаткових частин (підвісних балок). Наприклад, для зображеної на рисунку 1, б балки: ділянка 1А – підвісна балка, а ділянка А2 – консольна балка.

З'єднання підвісної і консольної балок не повинно перешкоджати свободі повороту перерізів балок. Для цього накладки слід з'єднувати зі стінками балок так, щоб з одного боку стику з'єднувальні болти розташовувалися в одному вертикальному ряду (рис. 2). Горизонтальне зміщення Δ отворів δ між діаметрами отвору d і болта d_b ($\delta = 3 \text{ мм}$) [4].

Зміщення Δ отвору, розташованого на відстані $0,5l_{max}$ від нейтральної осі перерізу балки (рис. 2):

$$\Delta = 0,5l_{max} \cdot \alpha \leq \delta, \quad (3)$$

де α – взаємний кут повороту перерізів підвісної і консольної балок від дії розрахункового граничного навантаження.

Для балки, зображеної на рисунку 1, б:

$$\alpha = f_1/a = 0,01307 q_a l^4 / (0,8284 l EI) = 0,01578 q_a l^3 / (EI). \quad (4)$$

Болтове з'єднання піддається дії поперечної сили Q , чисельно рівній опорній реакції підвісної балки. Для урахування можливого нерівномірного розподілу зусиль між болтами розрахунок болтів і накладок

виконується на дію поперечної сили Q , збільшеної на 20 %, тобто на дію сили $Q_p = 1,2Q$ [4]. Болтове з'єднання накладок зі стінкою консольної балки розраховується на дію поперечної сили Q_p і моменту $M_c = Q_p \cdot b_c$, де b_c – відстань від центра болтового з'єднання до лінії дії опорної реакції підвісної балки (рис. 2).

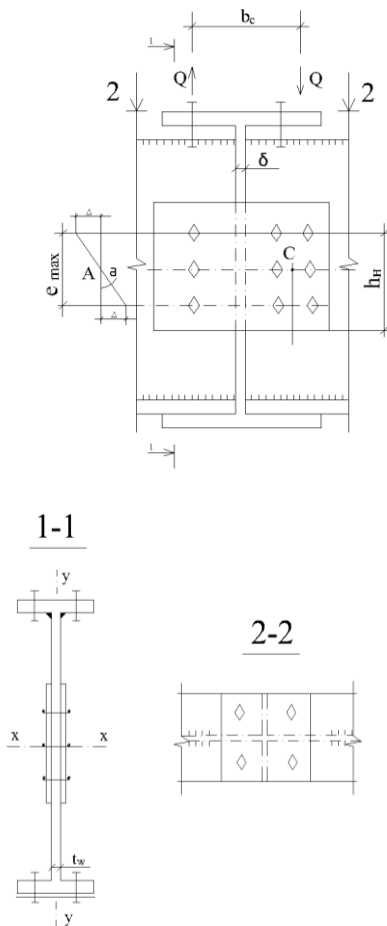


Рис. 2. Вузол шарнірного болтового з'єднання у зварній двотавровій балці

Для забезпечення загальної стійкості шарнірно-консольної балки передбачено улаштування накладок, що з'єднуються балками з поясами підвісної і консольної балок (рис. 2). При цьому в накладках з одного боку стику передбачені круглі отвори, а з іншого боку – овальні отвори розміром $d \cdot l_0$, де d – діаметр отвору, l_0 – довжина отвору $l_0 \geq d_b + ha/2$, тут h – висота балки. Поясні накладки закріплюють пояси балки, що з'єднуються, від взаємного горизонтального поперечного переміщення.

Накладки і болти, що з'єднують стислі пояси балки, розтягуються на фактичну або умовну поперечну силу, відповідно до [3].

Накладки для з'єднання їх зі стінками і поясами балок доцільно виготовити в заводських умовах.

До улаштування з'єднання накладок зі стінками балки передбачаємо вогневе (киснево-дугове) різання тільки стінки балки.

Розрахункові нормальні напруження σ_d в поясах (в полицях) балки, що піддаються нагріванню внаслідок вогневого різання, не повинні перевищувати $0,2R_y$ (як у разі застосування зварювання для підсилення елементів сталевих конструкцій категорії за призначенням А [3]).

Гранична величина згинального моменту M_d в перерізі, де виконано різання стінки, при $\sigma_d = 0,2R_y$ (для балки симетричного перерізу):

$$M_d = 0,2A_f \cdot h \cdot R_y, \quad (5)$$

де A_f – площа перерізу поясу (полиці) двотавра; h – висота балки; R_y – розрахунковий опір сталі.

Оскільки $M_d < M = W_x \cdot R_y$, де W_x – момент опору перерізу бруто секції балки, на період улаштування болтового з'єднання балку потрібно розвантажити. Величина навантажень, які будуть діяти на балку (після розвантаження), визначається з умови $|M'_d| \leq M_d$, де M'_d – згинальний момент в статично невизначеній балці у перерізі, де влаштований шарнір.

Наприклад, для балки, зображеної на рисунку 1, а при $a = 0,8284l$ і $q = q_d$.

$$M'_d = 0,375 q_d \cdot l \cdot 0,8284 l - 0,5 q_d \cdot (0,8284 l)^2 = -0,0324 q_d \cdot l^2. \quad (6)$$

Допускається навантаження на балку:

$$q_d = M_d / (0,0324 l^2) = 30,86 M_d / l^2. \quad (7)$$

Роботи з улаштування болтового з'єднання в балці, що зберігається для подальшої експлуатації, виконують робітники відповідно до проекту виконання

робіт, що передбачає установку спеціального монтажного майданчика, на якому розміщується обладнання для різання сталевих елементів і свердління отворів.

Послідовність монтажних робіт:

1. Виконати свердління всіх отворів у стінці і поясах (полицях) балки.

2. Виконати різання стінки балки, прийнявши товщину прорізу $\sigma = 8 - 14$ мм, але не менше ніж $\sigma_{p,min} = h \cdot \alpha$, де α – кут повороту суміжних перерізів розрізаної балки.

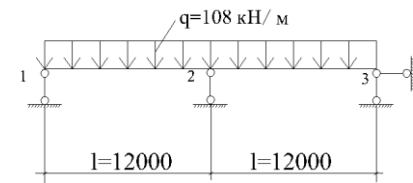
3. Установити двосторонні накладки, з'єднавши їх болтами зі стінками підвісної і консольної балок. При цьому, після контрольного складання проварити взаємне розташування отворів у накладках і стінках балок діаметром $d_k = d_b + \Delta$, де d_b – номінальний діаметр болта, Δ – горизонтальне зміщення крайнього болта, що визначається за формулою (3).

4. Виконати різання поясів (полиць) балки, прийнявши товщину прорізу σ_p таку само як і в стінці.

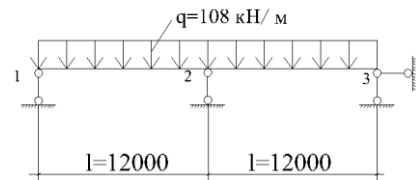
5. Установити односторонні накладки, з'єднавши їх болтами з поясами (полицями) підвісної і консольної балок.

Нижче наведено результати розрахунку і конструювання шарнірно-консольної балки, яку утворено із двопрокатної нерозрізної головної балки технологічного майданчика, розташованої усередині промислової будівлі 1-го класу відповідальності за такими даними: нерозрізна балка з рівними прольотами $l = 12$ м виконана з прокатного двотавра І 100Б1 по ГОСТ 26020-83 і зі сталі марки ВСтЗпс5 по ГОСТ 380-71**.

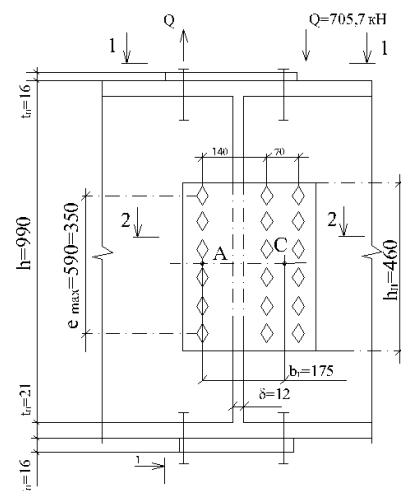
У проекті реконструкції будівлі передбачається установка додаткового обладнання на технологічний майданчик, у зв'язку з чим прогнозоване збільшення інтенсивності розрахункового граничного навантаження в 1,33 раза – з $q = 108$ кН/м до $q_a = 142$ кН/м (рис. 3).



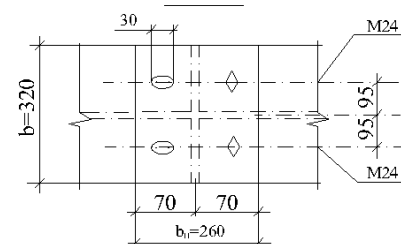
а



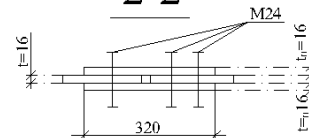
б



1-1



2-2



в

Рис. 3. Розрахункові схеми балки до реконструкції (а), після реконструкції (б), вузол А болтового шарнірного з'єднання підвісної і консольної частин балки (в)

Припускаємо, що технічний стан балки справний, відхилення фактичних розмірів

перерізів від наведених у сортаменті не перевищують допустимих, характеристичні і розрахункові опори сталі такі саме, як для сталі класу міцності С245 по ГОСТ 27772-88.

Розміри перетинів двотавра І 100Б1 наведені на рисунку 3.

Геометричні характеристики перерізів брутто: $I_x = 446000 \text{ см}^4$, $W_x = 9011 \text{ см}^3$, $S_x = 5234 \text{ см}^3$. Для опорних перерізів балки, де є в нижньому поясі отвори діаметром $d = 25 \text{ мм}$, геометричні характеристики перерізу нетто $I_{xn} = 421350 \text{ см}^4$, $W_{xn} = 8512 \text{ см}^3$ (за наявності двох отворів в одному перерізі балки).

Коефіцієнт надійності за призначенням $n = 1$.

Коефіцієнт умов роботи балки для розрахунку на міцність $\gamma_c = 1$.

Навантаження на двопрогонові балки симетричні відносно середньої опори 2 балки (рис. 3, а, б). Тому згинальні моменти і поперечні сили в перерізах балок між опорами 1 і 2 такі ж, як і в відповідних перерізах розглянутих вище однопрогонових балок (рис. 1).

Міцність нерозрізної балки за дії максимального згинального моменту в перерізі біля опори 2 від навантаження $q_a = 142 \text{ кН/м}$,

$$M_{max} = 0,125q_a \cdot l^2 = 0,125 \cdot 142 \cdot 12^2 = 2556 \text{ кН} \cdot \text{м} = 255600 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

– не забезпечується, тому що $M_{max} \cdot \gamma_n / (W_{xn} \cdot R_y \cdot \gamma_c) = 255600 \cdot 1 / (8512 \cdot 23 \cdot 1) = 131 > 1$.

Тому передбачаємо непряме посилення балки шляхом улаштування шарніра.

Відстань від шарніра до опори 1 балки $a = 9,8284 \cdot l = 9,94 \text{ м}$ (рис. 3, б).

Максимальні значення внутрішніх зусиль у шарнірно-консольній балці після реконструкції:

$$M_a = 0,08578 \cdot q_a \cdot l^2 = 0,08578 \cdot 142 \cdot 12^2 = 1754 \text{ кН} \cdot \text{м} = 175400 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

$$Q_a = 0,5858q_a \cdot l = 0,5858 \cdot 142 \cdot 12 = 998,2 \text{ кН}$$

Міцність балки буде забезпечена,

оскільки:

$$M_a \cdot \gamma_n / (W_{xn} \cdot R_y \cdot \gamma_c) = 175400 \cdot 1 / (8512 \cdot 23 \cdot 1) = 0,9 < 1$$

$$\gamma_n \cdot Q_a \cdot S_x / (I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c) = 998,2 \cdot 1 / (446000 \cdot 1,6 \cdot 13,34 \cdot 1) = 0,55 < 1$$

$$1 / (446000 \cdot 1,6 \cdot 13,34 \cdot 1) = 0,55 < 1$$

(тут

$$R_s = 0,58R_y = 0,58 \cdot 23 = 13,34 \text{ кН/см}^2$$

Для зображеного на рисунку 3, в з'єднанні передбачаємо виготовлення накладок із листової сталі класу міцності С245, марки СтЗпс5 по ДСТУ 2651-94. Болти класу точності В, класу міцності 5.6. Діаметр болтів $d_b = 24 \text{ мм}$, діаметр отворів під болти $d = d_b + \sigma = 24 + 3 = 27 \text{ мм}$.

Зусилля в болтовому з'єднанні для розрахунку міцності стінки балки $Q = 9,5q_a \cdot a = 9,5 \cdot 142 \cdot 9,34 = 703,7 \text{ кН}$, болтів, що з'єднують накладку зі стінкою підвісної частини балки $Q_p = 1,2Q = 1,2 \cdot 703,7 = 846,9 \text{ кН}$; болтів, що з'єднують накладку зі стінкою консольної частини балки $Q_c = Q_p = 846,9 \text{ кН}$,

$$M_c = Q_p \cdot b_c = 846,9 \cdot 17,5 = 14820 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2};$$

накладок $Q_n = Q_p = 846,9 \text{ кН}$.

Результати розрахунку болтового з'єднання:

- розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте одним болтом $N_{b,min} = 167,6 \text{ кН}$;

- найбільше зсувне зусилля в одному болті: в поєднанні зі стінкою підвісної балки $N_b = 141,5 < N_{b,min} = 167,6 \text{ кН}$, зі стінкою консольної балки $N_{bk} = 166,9 < N_{b,min} = 167,6 \text{ кН}$;

- дотичні напруження в стінці балки $\tau_w = 7,0 < R_s \cdot \gamma_c = 13,34 \cdot 1 = 13,34 \text{ кН/см}^2$

дотичні напруження в накладках $\tau_w = 13,32 < 13,92 \text{ кН/см}^2$.

Міцність болтів, стінки балки і накладок забезпечуються.

Взаємний кут повороту суміжних перерізів підвісної и консольної частин балки:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2 \cdot 0,01578 q_a \cdot l^3 / (E \cdot I_x) = \\ &= 0,03156 \cdot 1,42 \cdot 1200^3 / (20600 \cdot 446000) = \\ &= 2,00843 \text{ рад.} \end{aligned} \quad (8)$$

Горизонтальне зміщення крайнього болта за формулою (3):

$$\begin{aligned} \Delta &= 0,5 l_{max} \cdot \alpha = 0,5 \cdot 350 \cdot 0,00843 = \\ &= 1,5 < \sigma = 3 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (9)$$

Розміри овальних отворів у з'єднанні накладки з полицями двотавра (рис. 3, в), радіус кривизни:

$$r = 0,5d = 0,5 \cdot 27 = 13,5 \text{ мм,}$$

довжина овалу:

$$l_o = d_b + 0,5h \cdot \alpha = 24 + 0,5 \cdot 990 \cdot 0,00843 = 28,2 \text{ мм}$$

Прийнято $l_o = 30 \text{ мм}$.

Несна здатність двох однозрізних болтів М24 значно більша умовної горизонтальної поперечної сили $Q_{fic} = 26,2 \text{ кН}$, для нижньої полиці (Q_{fic} визначено згідно з доказами, наведеними в [3]).

Граничне значення згинального моменту в перерізі балки з розрізною стінкою: за формулою (5) при $A_f = b \cdot t = 32 \cdot 1,6 = 65,6 \text{ см}^2$,

$$M_d = 0,2 A_f \cdot h \cdot R_y = 0,2 \cdot 65,6 \cdot 99 \cdot 23 = 306000 \text{ кН} \cdot \text{см} = 306 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Допустима інтенсивність навантаження на балку при влаштуванні болтового з'єднання:

$$q_d = 30,86 M_d / l^2 = 30,86 \cdot 306 / 12^2 = 65,6 \text{ кН/м}$$

що в 1,5 раза менше навантаження $q = 1,8 \text{ кН/м}$ (рис. 3, а).

Товщина прорізу після різання перерізу балки:

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 12 > \sigma_{p,min} = h \cdot \alpha = \\ &= 990 \cdot 0,00843 = 8,4 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (10)$$

Висновки

1. Розстановку штучних шарнірів у статично невизначених балках із метою збільшення їх несної здатності можна виконувати за результатами регулювання напруг шляхом примусового зміщення опорної балки.

2. Для улаштування болтового з'єднання в прогоні балки без її демонтажу, або без улаштування тимчасових опор балки, треба виконати обґрунтоване розвантаження балки і поетапне різання з подальшим з'єднанням накладками, спочатку стінки, потім поясів (полиць) балки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лашченко М. Н. Регулирование напряжений в металлических конструкциях. Ленинград : Стройиздат, 1966. 192 с.
2. Хомутильников Н. И., Морозов К. Д. Металлические конструкции промышленных зданий. Москва : Госстройиздат, 1933. 536 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. На зміну ДБН В.2.6-163:2010; Увед. 10.06.2014. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 199 с.
4. Ников А. А., Пермяков В. А., Пруцкер А. Я. Стальные конструкции производственных зданий : справочник. Київ : Будівельник, 1986. 272 с.

REFERENCES

1. Lashchenko M.N. *Regulirovaniye napryazheniy v metallicheskih konstruksiyakh* [Regulation of tensions in metal constructions]. Leningrad : Stroyizdat Publ., 1966, 192 p. (in Russian).
2. Khomutynnikov N.I. and Morozov K.D. *Metallicheskiye konstruksii promyshlennykh zdaniy* [Metal constructions of industrial buildings]. Moscow : Hosstroyizdat Publ., 1933, 536 p. (in Russian).
3. *DBN V.2.6-198:2014. Stalevi konstruksiyi. Normy proektuvannya. Na zminu DBN V.2.6-163:2010; Uved. 10.06.2014* [DBN V.2.6-198:2014. Steel construction. Design standards. To replace DBN V.2.6-163:2010; Imposed by 10.06.2014]. Kyiv : Minregionstroy Ukraine, 2014, 199 p. (in Ukrainian).
4. Nykov A.A., Permiakov V.A. and Prutsker A.Ya. *Stal'nyye konstruksii proizvodstvennykh zdaniy : spravochnik* [Steel construction of industrial buildings : handbooks]. Kyiv : BudivelnykPubl., 1986, 272 p. (in Russian).

Надійшла до редакції: 15.04.2021.