

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Український державний університет
науки і технологій**

Кафедра «Будівельне виробництво та геодезія»

В авторській редакції

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ
ЕЛЕМЕНТИ ТА З'ЄДНАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Методичні рекомендації до розрахунково-графічної роботи

Електронний аналог
друкованого видання

Дніпро 2022

Укладач
докт. техн. наук, проф. *Д. О. Банніков*

Експерти:
канд. техн. наук, доц. *Н. А. Нікіфорова* (ННІ «ДІПТ»)
канд. техн. наук, доц. *Ю. М. Горбатюк* (КВПС ДССТ УДУНТ)

Рекомендовано до друку МКФ ННЦ МТ (протокол № 1 від 28.10.2022 р.).
Зареєстровано ННЦ ЗЯО УДУНТ (підстава № 580 від 02.12.2022 р.).

Будівельні конструкції. Елементи та з'єднання сталевих конструкцій: методичні рекомендації до розрахунково-графічної роботи / уклад. Д. О. Банніков. Дніпро: Укр. держ. ун-т науки і технологій. – 2022. – 35 с.

У методичних рекомендаціях викладено загальну послідовність та особливості виконання практичних розрахунків, присвячених проектуванню елементів та з'єднань сталевих конструкцій. Розрахунково-графічна робота являє собою набір задач, які передбачають як розрахунок, так і конструювання основних найбільш розповсюджених видів несучих елементів сталевих конструкцій та їх з'єднань між собою. Змістовно розрахунково-графічна робота підкріплює теоретичний матеріал, отриманий на лекційних заняттях.

Методичні рекомендації призначені для практичних занять і самостійної роботи студентів освітнього ступеня «бакалавр» за ОП «Мости і транспортні тунелі» та ОП «Відновлення та будівництво штучних споруд на об'єктах національної транспортної системи» спеціальності 192 «Будівництво і цивільна інженерія» під час опрацювання дисципліни «Будівельні конструкції», а також можуть бути корисними під час підготовки кваліфікаційних бакалаврських і магістерських робіт.

Також дані методичні рекомендації призначені для використання на практичних заняттях для дисципліни «Металеві конструкції (загальний курс)» за ОП «Відновлення та будівництво штучних споруд на об'єктах національної транспортної системи» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Іл. 11. Табл. 18. Бібліогр.: 6 назв.

© Банніков Д. О., укладання, 2022
© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО- ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ	5
ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК	6
Задача № 1. ЦЕНТРАЛЬНО РОЗТЯГНУТИЙ ЕЛЕМЕНТ	7
Задача № 2. ЦЕНТРАЛЬНО СТИСНУТИЙ ЕЛЕМЕНТ	10
Задача № 3. ЗГИНАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ	14
Задача № 4. КУТОВЕ ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ	18
Задача № 5. З'ЄДНАННЯ НА ЗВИЧАЙНИХ БОЛТАХ	21
Задача № 6. З'ЄДНАННЯ НА ВИСОКОМІЦНИХ БОЛТАХ.....	24
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	26
Додаток А. РОЗРАХУНКОВІ КОЕФІЦІЄНТИ	27
Додаток Б. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ	30
Додаток В. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ ШВІВ	32
Додаток Г. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛТІВ	33

ВСТУП

Друга половина дисципліни «Будівельні конструкції» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОП «Мости і транспортні тунелі» та ОП «Відновлення та будівництво штучних споруд на об'єктах національної транспортної системи» присвячена вивченню особливостей роботи та проектування сталевих будівельних конструкцій. Відповідно в практичній частині цього курсу студенти мають навчитись застосовувати набуті теоретичні знання до рішення практичних інженерних задач. Ці задачі охоплюють основні елементи сталевих будівельних конструкцій, а також їх основні види з'єднань між собою. Це сприяє досягненню наступних очікуваних результатів навчання відповідно до робочих програм:

7) Виконати розрахунок основних несучих елементів зі сталі, а також їх з'єднань між собою.

8) Виконати конструювання основних несучих елементів зі сталі, а також їх з'єднань між собою. Розробити відповідну проектну документацію.

9) Прогнозувати роботу та вплив на неї конструктивних змін основних несучих елементів зі сталі і їх вузлів.

10) Порівнювати конструктивні варіанти несучих елементів зі сталі і їх вузлів та обирати найбільш ефективні.

Оскільки останнім часом в Україні прискореними темпами йде оновлення національної нормативної бази в галузі будівництва, то це не оминуло й сферу сталевих будівельних конструкцій. Так нещодавно введені в дію нові норми ДБН [1] містять низку відмінностей в проектуванні сталевих конструкцій порівняно із попередніми відміненими нормами. Тому виконання задач орієнтовано на використання саме нових норм і включає ряд нововведень, в тому числі в частині графічного оформлення проектної документації металевих конструкцій за ДСТУ [2].

З метою зручності користування в додатках до методичного забезпечення наведено всі необхідні нормативні та довідкові дані, які використовуються при вирішенні задач. Кожна задача присвячена окремому конструктивному елементу або виду з'єднань та містить детальні рекомендації й вказівки щодо її розв'язання.

Слід відмітити також, що незважаючи на нещодавно введені Зміни [3] до ДБН [1], вони виявились не зовсім коректними та постало питання щодо доцільності їх використання. Тому в даних методичних рекомендаціях вони враховані лише частково, в тому контексті, який не суперечить пропозиціям фахівців.

Методологічною метою виконання розрахунково-графічної роботи є набуття студентами та закріплення в них навичок самостійного розрахунку і конструювання основних несучих конструктивних елементів та вузлів сталевих будівельних конструкцій.

ВИМОГИ ДО ПІДГОТОВКИ Й ОФОРМЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Всі задачі, що включені до розрахунково-графічної роботи, виконуються кожним студентом самостійно відповідно до методичних рекомендацій. Вихідні дані обираються за індивідуальним літерним шифром. Він складається з п'яти позицій і вказується на початку кожної задачі.

Перша літера шифру відповідає першій літери українського написання імені студента, друга літера – перша літера українського написання по батькові студента. Інші три літери – перші три літери українського написання прізвища студента.

1	2	3	4	5

Якщо виникають будь-які непорозуміння або невідповідності з вибором вихідних даних, слід звернутися до викладача для узгодження цього питання. **У випадку, якщо вихідні дані обрані студентом неправильно або з помилками, робота вважається недійсною та потребує переробки за правильними даними.**

Працюючи з кожною задачею, необхідно спочатку уважно розібратись із наведеним прикладом виконання розрахунків, звертаючи увагу на незрозумілі місця, стосовно яких можна отримати роз'яснення у викладача. Далі за власними вихідними даними виконати аналогічні обчислення, чітко дотримуючись вказаної в методичних рекомендаціях послідовності.

Вирішені задачі оформлюються у вигляді розрахунково-графічної роботи на стандартних аркушах білого паперу формату А4 з дотриманням вимог чинних державних стандартів щодо оформлення проектної документації в будівництві і мають містити всі необхідні обчислення та креслення, що ілюструють процес розв'язання задач.

Розрахунки слід записувати у вигляді повної формули, в яку підставлено відповідні числові значення з отриманим результатом і одиницями виміру:

$$A_n = A - 2 \cdot d \cdot t = 30,04 - 2 \cdot 2,4 \cdot 1,2 = 24,28 \text{ см}^2.$$

До рішення кожної задачі необхідно наводити креслення у масштабі 1:5 або 1:10 із зазначеннями певних розрахункових розмірів (у міліметрах) необхідних для конструювання (як наведено у прикладах).

Виконана розрахунково-графічна робота повинна бути жорстко скріплена, мати титульний аркуш прийнятого в університеті зразка, рамочки на кожному листі, сторінки мають бути пронумеровані. Не слід переписувати наведений у цих методичних рекомендаціях загальний текстовий матеріал.

Неправильно або неохайно оформлена розрахунково-графічна робота повертається студенту для доопрацювання.

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Перед початком розв'язання задач необхідно визначити розрахункові характеристики, які будуть використовуватись надалі. До таких характеристик відносять коефіцієнт надійності за відповідальністю (коефіцієнт відповідальності об'єкта) та опори заданої сталі.

Для цього за першими двома літерами індивідуального шифру визначаються клас та категорія відповідальності конструкції (за табл. 1 по першій літері) і клас сталі (за табл. 1 по другій літері).

Таблиця 1

Вихідні дані до визначення розрахункових параметрів

Літера шифру	Найменування	А И І Ї Й	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
1	Клас - категорія відповідальності	СС1 - В	СС2 - Б	СС3 - В	СС1 - А	СС2 - В	СС3 - Б	СС1 - Б	СС2 - А
2	Клас сталі	С345	С245	С295	С275	С325	С255	С375	С285

Тепер за обраними даними визначають необхідні розрахункові характеристики.

Коефіцієнт відповідальності визначається відповідно до табл. 5 ДБН [4] в залежності від класу наслідків конструкції, що проектується, категорії її відповідальності і типу розрахункової ситуації. Ця таблиця наведена в табл. А.1 дод. А до методичних рекомендацій.

Опори сталі визначають за табл. Г.2 дод. Г ДБН [1] в залежності від класу сталі. Ця таблиця наведена в табл. Б.1 дод. Б до методичних рекомендацій.

Приклад визначення

Для класу та категорії відповідальності конструкції СС3-А для усталених розрахункових ситуацій **коефіцієнт відповідальності** дорівнюватиме:

- для першої групи граничних станів $\gamma_{n1} = 1,250$;
- для другої групи граничних станів $\gamma_{n2} = 1,000$.

Для класу сталі С235 для максимальної товщини фасонного прокату **опори** дорівнюватимуть:

- характеристичний опір $R_{un} = 360 \text{ МПа} = 36,0 \text{ кН/см}^2$;
- розрахунковий опір $R_y = 220 \text{ МПа} = 22,0 \text{ кН/см}^2$.

Зазначимо, що в практиці проектування розрахунковий опір сталі після підбору перерізу елементів коригується відповідно до фактичної товщини. Проте при розв'язанні задач цього виконувати не потрібно з навчальною метою, що до того ж іде в запас.

ЗАДАЧА № 1

ЦЕНТРАЛЬНО РОЗТЯГНУТИЙ ЕЛЕМЕНТ

В даній задачі необхідно підібрати переріз центрально розтягнутого елемента з подвійних кутиків (рис. 1) за вихідними даними, визначеними за шифром з табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані до задачі № 1

Літера шифру	Найменування	А И І Ї Й	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
3	Розрахункове зусилля N_m , кН	900	500	400	800	1000	700	1100	600
4	Діаметр отвору d , мм	27	19	22	25	21	26	23	20
5	Тип кутика	$b \times b$	$B \times b$	$b \times b$	$B \times b$	$b \times b$	$B \times b$	$b \times b$	$B \times b$

Примітка: $b \times b$ – рівнополічний кутик, $B \times b$ – нерівнополічний кутик.

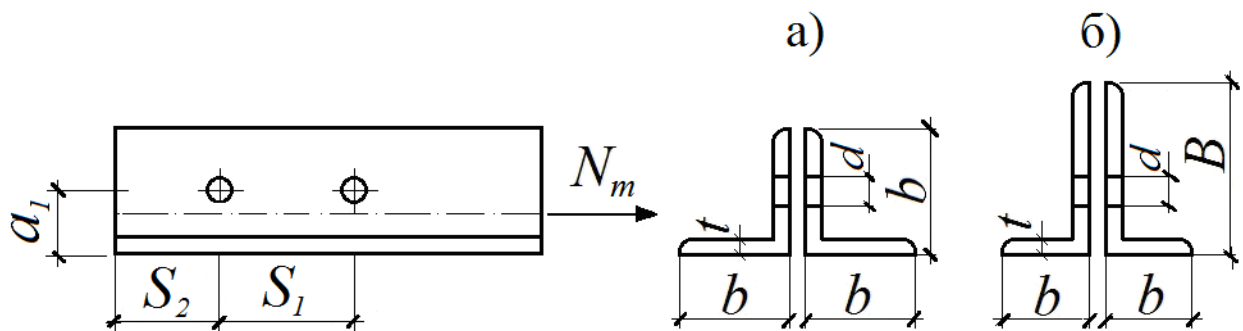


Рис. 1. Схема центрально розтягнутого елемента:
а – рівнополічний кутик; б – нерівнополічний кутик.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- розрахункове зусилля $N_m = 850$ кН;
- діаметр отвору $d = 24$ мм = 2,4 см;
- тип кутика – $B \times b$ (нерівнополічний).

1. Потрібна площа перерізу одного кутика визначається з умови міцності за нормальними напруженнями:

$$A_{cal} = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{2 \cdot k_o \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{850 \cdot 1,250}{2 \cdot 0,85 \cdot 22,0 \cdot 1,0} = 28,41 \text{ см}^2,$$

де k_o – коефіцієнт ослаблення перерізу отворами, прийнятий в першому наближенні рівним 0,85,

γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 5.1 ДБН [1] для елементів ємнісної конструкції, спеціально не оговореної в цій таблиці (наведена в табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій).

2. За сортаментом металопродукату для рівнополічних кутиків або для нерівнополічних кутиків (сортаменти наведені в Довіднику [5]) підбираємо потрібний кутик з **найближчою більшою** площею

$$\text{L } 160 \times 100 \times 12 \text{ (площа } A = 30,04 \text{ см}^2\text{)}.$$

3. Перевіряємо умови розміщення отворів.

а) для кутиків з полицею 125 мм і менше отвори розміщують в один ряд. При цьому якщо заданий діаметр отвору d перевищує максимально можливий d_{max} за довідковими даними (Довідник [4]), то конструктивно збільшують переріз кутика до потрібного;

б) для кутиків з полицею 140 мм і більше отвори мають бути розміщено в один ряд за умови, якщо заданий діаметр отвору d перевищує максимально можливий d_{max} за довідковими даними (Довідник [5]).

В іншому випадку передбачають розміщення отворів в два ряди.

Для даного випадку $d = 24 \text{ мм} > d_{max} = 21 \text{ мм}$, тому отвори можуть бути розміщені тільки в один ряд.

4. Визначаємо площу перерізу кутика з урахуванням отворів («нетто»):

$$A_n = A - d \cdot t = 30,04 - 2,4 \cdot 1,2 = 27,16 \text{ см}^2,$$

де t – товщина стінки підбраного кутика.

Для випадку розміщення отворів в два ряди використовують вираз

$$A_n = A - 2 \cdot d \cdot t.$$

5. Перевіряємо умову міцності за нормальними напруженнями:

$$\frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{2 \cdot A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{850 \cdot 1,250}{2 \cdot 27,16 \cdot 22,0 \cdot 1,0} = 0,89 < 1.$$

Таким чином, дана умова виконується.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

6. В масштабі виконуємо креслення підібраних кутиків із розміщенням отворів.

Крок отворів a_1 приймають за Довідником [5].

Для даного випадку $a_1 = 60$ мм.

Доріжку отворів S_1 і S_2 приймають кратною 10 мм за табл. 16.3 ДБН [1] в діапазоні:

$$2 \cdot d \leq S_1 \leq 8 \cdot d \ (12 \cdot t) \text{ та } 1,5 \cdot d \leq S_2 \leq 4 \cdot d \ (8 \cdot t).$$

Для даного випадку

$$2 \cdot d = 2 \cdot 24 = 48 \text{ мм} \leq S_1 \leq 8 \cdot d = 8 \cdot 24 = 192 \text{ мм} \ (12 \cdot t = 12 \cdot 12 = 144 \text{ мм});$$

$$1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 24 = 36 \text{ мм} \leq S_2 \leq 4 \cdot d = 4 \cdot 24 = 96 \text{ мм} \ (8 \cdot t = 8 \cdot 12 = 96 \text{ мм}).$$

Остаточно приймаємо $S_1 = 100$ мм та $S_2 = 50$ мм.

За результатами розв'язання задачі креслення має вигляд за рис. 2.

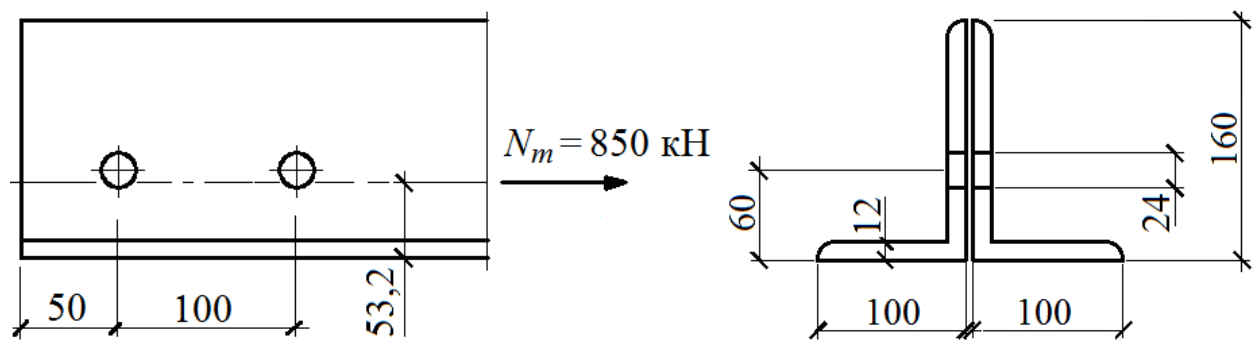


Рис. 2. Підібраний переріз центрально розтягнутого елемента.

Зазначимо, що треба звернути увагу на те, що горизонтальна вісь прикладення навантажень і горизонтальна вісь розміщення отворів не співпадають між собою.

Горизонтальна вісь прикладення навантаження (сила N_m) розташовується по центру ваги кутиків – на відстані z (див. Довідник [5]).

Горизонтальна вісь отворів розташовується на відстані a_1 , визначеній вище.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 2

ЦЕНТРАЛЬНО СТИСНУТИЙ ЕЛЕМЕНТ

В даній задачі необхідно підібрати переріз центрально стиснутого елемента двотаврового перерізу (рис. 3) за вихідними даними, визначеними за шифром з табл. 3.

Таблиця 3

Вихідні дані до задачі № 2

Літера шифру	Найменування	А И І Ї Й	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
3	Розрахункове зусилля N_m , кН	1400	2000	1200	800	1000	1800	1600	2200
4	Розрахункова довжина l_x , м	7,5	10,0	8,0	9,0	10,5	11,0	9,5	8,5
5	Розрахункова довжина l_y , м	5,75	5,00	6,75	5,25	5,50	6,25	6,00	6,50

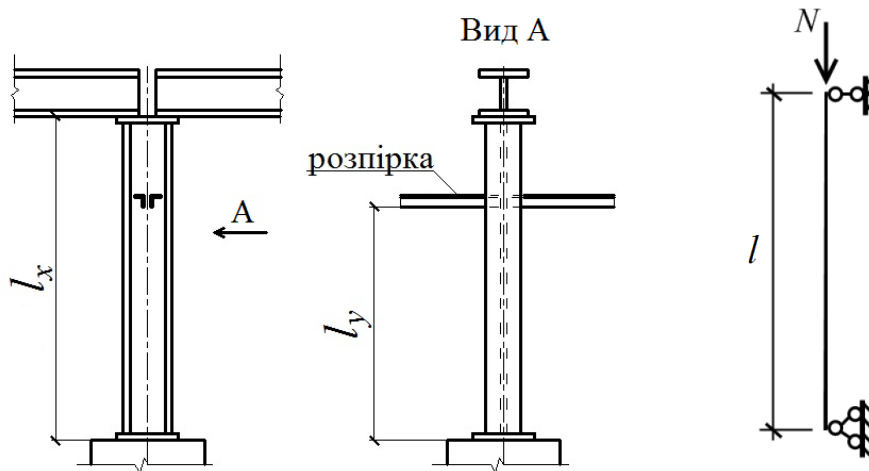


Рис. 3. Схема центрально стиснутого елемента.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- розрахункове зусилля $N_m = 1500$ кН;
- розрахункова довжина $l_x = 11,5$ м = 1150 см;
- розрахункова довжина $l_y = 7,00$ м = 700 см.

1. Потрібна площа перерізу елемента визначається з умови загальної стійкості:

$$A_{cal} = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{\varphi_{min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1500 \cdot 1,250}{0,7 \cdot 22,0 \cdot 0,95} = 128,16 \text{ см}^2,$$

де $\varphi_{\min}$ – коефіцієнт стійкості, прийнятий в першому наближенні рівним 0,7,

γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 5.1 ДБН [1] для колони громадської споруди (наведена в табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій).

2. За сортаментом металопрокату для двотавру колонного типу (сортамент наведений в Довіднику [5]) підбираємо потрібний двотавр з **найближчою більшою** площею

I 30К3 (площа $A = 138,72 \text{ см}^2$).

Випишуємо з сортаменту радіуси інерції цього профілю: $i_x = 13,12 \text{ см}$, $i_y = 7,54 \text{ см}$.

Зображуємо підібраний переріз з усіма розмірами за сортаментом (рис. 4).

Відмітимо, що додатково слід визначити наступні розміри, які не наведені в сортаменті:

$$h_{ef} = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot R = 304 - 2 \cdot 17,5 - 2 \cdot 18 = 233 \text{ мм};$$

$$b_{ef} = \frac{b_f - t_w - 2 \cdot R}{2} = \frac{300 - 11,5 - 2 \cdot 18}{2} = 126,3 \text{ мм}.$$

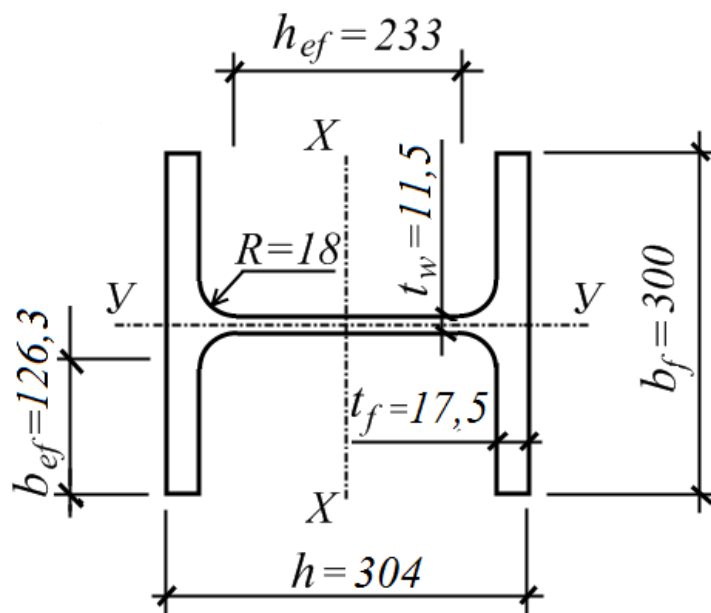


Рис. 4. Підібраний переріз центрально стиснутого елемента.

3. Для перевірки загальної стійкості спочатку визначаємо гнучкості відносно головних осей:

$$\lambda_x = \frac{l_x}{i_x} = \frac{1150}{13,12} = 87,7,$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{700}{7,54} = 92,8.$$

4. З отриманих величин обираємо більше значення гнучкості $\lambda_{\max} = \lambda_y = 92,8$ і за цією величиною розраховуємо умовну гнучкість:

$$\bar{\lambda} = \lambda_{\max} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 92,8 \cdot \sqrt{\frac{22}{20600}} = 3,03.$$

5. Визначаємо коефіцієнт стійкості за табл. Ж.1 дод. Ж ДБН [1] (наведена в табл. А.3 дод. А до методичних рекомендацій) для типу кривої стійкості b :

для $\bar{\lambda} = 3,03$ коефіцієнт $\varphi_{\min} = 0,637$.

Увага! Якщо умовна гнучкість $\bar{\lambda} > 4,4$, то коефіцієнт слід приймати не більшим за $\varphi_{\min} \leq \frac{7,6}{\bar{\lambda}^2}$.

6. Перевіряємо умову загальної стійкості:

$$\frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{\varphi_{\min} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1500 \cdot 1,250}{0,637 \cdot 138,72 \cdot 22,0 \cdot 0,95} = 1,02 > 1.$$

Таким чином, умова виконується з допустимим перенапруженням не більше 2 % (значення виразу 1,02).

Якщо умова не виконується, то необхідно переприйняти за сортаментом інший профіль та знов повторити всі попередні обчислення.

7. Для перевірки гнучкості необхідно обчислити її граничне значення:

$$\lambda_u = 180 - 60 \cdot \alpha = 180 - 60 \cdot 1,02 = 118,8,$$

де за коефіцієнт α приймається розрахована вище величина

$$\alpha = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{\varphi_{\min} \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = 1,02 \text{ (але не менше, ніж 0,5)}.$$

8. Перевіряємо гнучкість:

$$\lambda_{\max} = 92,8 < \lambda_u = 118,8.$$

Таким чином, дана умова виконується.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

9. Для перевірки місцевої стійкості полиці елемента розрахуємо величину граничної умовної гнучкості полиці:

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0,36 + 0,10 \cdot \bar{\lambda} = 0,36 + 0,10 \cdot 3,03 = 0,66.$$

Увага! Якщо $\bar{\lambda} < 0,8$ або $\bar{\lambda} > 4,0$, то в попередній вираз необхідно підставити значення $\bar{\lambda} = 0,8$ або $\bar{\lambda} = 4,0$, відповідно.

10. Перевіряємо місцеву стійкість полиці:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{126,3}{17,5} \cdot \sqrt{\frac{22,0}{20600}} = 0,24 < \bar{\lambda}_{uf} = 0,66,$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

11. Для перевірки місцевої стійкості стінки елемента розрахуємо величину граничної умовної гнучкості стінки:

$$\bar{\lambda}_{uw} = 1,20 + 0,35 \cdot \bar{\lambda} = 1,20 + 0,35 \cdot 3,03 = 2,26.$$

Увага! Якщо отримана величина $\bar{\lambda}_{uw} > 2,5$, то в подальшій перевірці слід приймати $\bar{\lambda}_{uw} = 2,5$; якщо $\bar{\lambda} \leq 2,0$, то граничну умовну гнучкість стінки слід розраховувати за виразом $\bar{\lambda}_{uw} = 1,30 + 0,15 \cdot \bar{\lambda}^2$.

12. Перевіряємо місцеву стійкість стінки:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{233}{11,5} \cdot \sqrt{\frac{22,0}{20600}} = 0,66 < \bar{\lambda}_{uw} = 2,26,$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

Якщо в процесі виконання перевірок переріз елемента переприймався, то остаточно визначений переріз зображують на окремому рисунку.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 3

ЗГИНАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ

В даній задачі необхідно підібрати переріз згинального елемента двотаврового перерізу (рис. 5) за вихідними даними, визначеними за шифром з табл. 4. Загальну стійкість елемента вважаємо забезпеченою.

Таблиця 4

Вихідні дані до задачі № 3

Літера шифру	Найменування	А І І ІЙ	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
3	Характеристичне навантаження q_0 , кН/м	55	30	65	40	35	50	60	45
4	Коефіцієнт надійності γ_m	1,25	1,10	1,20	1,30	1,05	1,40	1,15	1,35
5	Розрахунковий проліт l , м	5,75	5,00	6,75	5,25	5,50	6,25	6,00	6,50

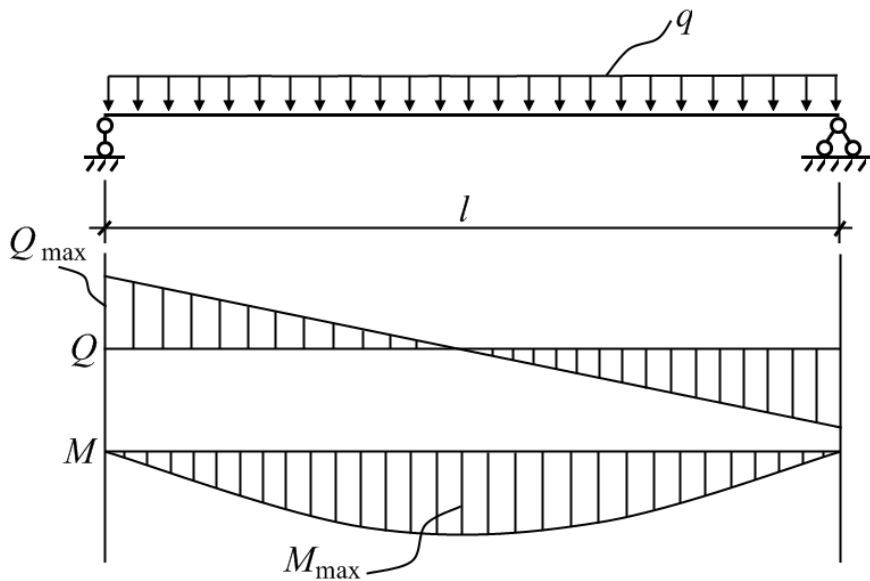


Рис. 5. Схема згинального елемента.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- характеристичне навантаження $q_0 = 25 \text{ кН/м} = 0,25 \text{ кН/см}$;
- коефіцієнт надійності $\gamma_m = 1,45$;
- розрахунковий проліт $l = 7,00 \text{ м} = 700 \text{ см}$.

1. Визначаємо граничне та експлуатаційне значення навантаження на елемент:

$$q_m = \gamma_{fm} \cdot q_0 \cdot \gamma_{n1} = 1,45 \cdot 0,25 \cdot 1,250 = 0,45 \text{ кН/см};$$

$$q_e = \gamma_{fe} \cdot q_0 \cdot \gamma_{n2} = 1,00 \cdot 0,25 \cdot 1,000 = 0,25 \text{ кН/см};$$

де γ_{fe} – коефіцієнт надійності за експлуатаційним значенням навантаження, який в практиці проектування для технологічних навантажень на спороуди здебільшого приймається рівним 1,00.

2. Потрібний момент опору елемента визначається з умови міцності за нормальними напруженнями:

$$W_{cal} = \frac{M_{max}}{R_y \cdot \gamma_c} = \frac{q_m \cdot l^2}{8 \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{0,45 \cdot 700^2}{8 \cdot 22,0 \cdot 0,9} = 1392,0 \text{ см}^3,$$

де $M_{max} = \frac{q_m \cdot l^2}{8}$ – максимальний згинальний момент в згинальному елементі,

γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 5.1 ДБН [1] для балок суцільного перерізу (наведена в табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій).

3. За сортаментом металопрокату для двотавру балкового типу (сортамент наведений в Довіднику [5]) підбираємо потрібний двотавр з **найближчим більшим** моментом опору

I 50Б1 (момент опору $W_x = 1511,00 \text{ см}^3$).

Випишуємо з сортаменту характеристики цього профілю: момент інерції $I_x = 37160 \text{ см}^4$ і статичний момент інерції $S_x = 970,20 \text{ см}^3$.

Зображуємо підібраний переріз з усіма розмірами за сортаментом (рис. 6).

Відмітимо, що додатково слід визначити наступні розміри, які не наведені в сортаменті:

$$h_{ef} = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot R = 304 - 2 \cdot 17,5 - 2 \cdot 18 = 233 \text{ мм};$$

$$b_{ef} = \frac{b_f - t_w - 2 \cdot R}{2} = \frac{300 - 11,5 - 2 \cdot 18}{2} = 126,3 \text{ мм}.$$

4. Перевіряємо міцність за дотичними напруженнями:

$$\frac{Q_{max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{q_m \cdot l \cdot S_x}{2 \cdot 0,58 \cdot I_x \cdot t_w \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{0,45 \cdot 700 \cdot 970,20}{2 \cdot 0,58 \cdot 37160 \cdot 0,84 \cdot 22,0 \cdot 0,9} = 0,43 < 1,$$

де $Q_{\max} = \frac{q_m \cdot l}{2}$ – максимальна поперечна сила в згинальному елементі,
 $R_s = 0,58 \cdot R_y$ – розрахунковий опір сталі на зсув за табл. 7.1 ДБН [1].

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

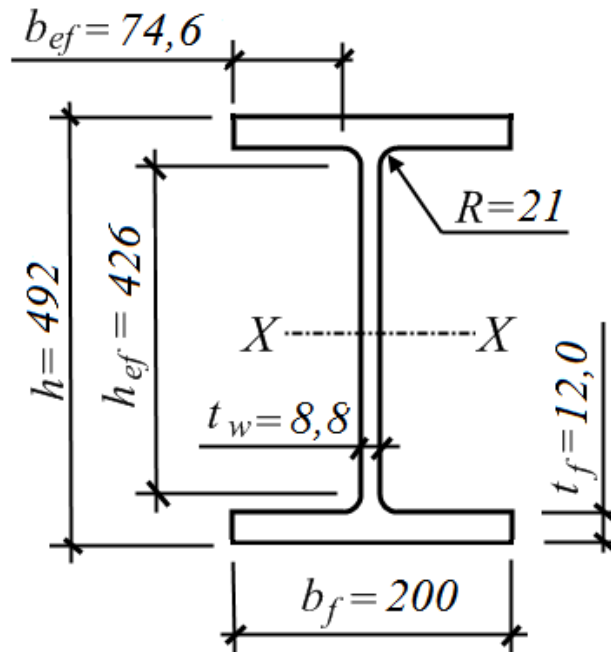


Рис. 6. Підібраний переріз згинального елемента.

5. Перевіряємо місцеву стійкість полиці:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{74,6}{12,0} \cdot \sqrt{\frac{22,0}{20600}} = 0,20 < 0,5,$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

6. Перевіряємо місцеву стійкість стінки:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = \frac{379}{8,4} \cdot \sqrt{\frac{22,0}{20600}} = 1,47 < 3,2,$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

7. Перевіряємо жорсткість (вертикальний прогин):

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_e \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,25 \cdot 700^4}{20600 \cdot 37160} = 1,02 \text{ см} < f_u = \frac{l}{250} = \frac{700}{250} = 2,80 \text{ см},$$

де f_u – граничний прогин, який за табл. 1 ДСТУ [6] дорівнює:

$$f_u = \frac{l}{200} \text{ – для елементів прольотом } 3 \text{ – } 6 \text{ м};$$

$$f_u = \frac{l}{250} \text{ – для елементів прольотом } 6 \text{ – } 12 \text{ м}.$$

Таким чином, дана умова виконана.

У випадку її невиконання необхідно підібрати інший переріз за сортаментом таким чином, щоб дана умова виконувалась.

Якщо в процесі виконання перевірок переріз елемента переприймався, то остаточно визначений переріз зображують на окремому рисунку.

На цьому рішення задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 4

КУТОВЕ ЗВАРНЕ З'ЄДНАННЯ

В даній задачі необхідно розрахувати кутове зварне з'єднання елементів (рис.7) за вихідними даними, визначеними за шифром з табл. 5. З'єднання виконується для елемента з подвійних кутиків, підібраних в задачі № 1.

Таблиця 5

Вихідні дані до задачі № 4

Літера шифру	Найменування	А И І Ї Й	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
3	Розрахункове зусилля N_m , кН	900	500	400	800	1000	700	1100	600
4	Коефіцієнт β_f	0,9	1,1	0,7	0,8	1,1	0,8	0,7	0,9
5	Коефіцієнт β_z	1,15	1,05	1,0	1,1	1,15	1,05	1,1	1,0

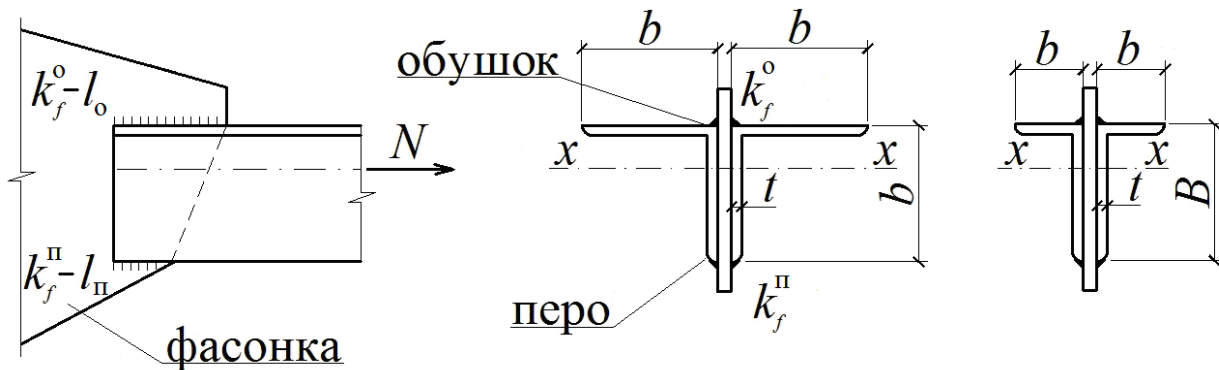


Рис. 7. Схема кутового зварного з'єднання.

Приклад рішення

Вихідні дані:

- розрахункове зусилля $N_m = 850$ кН;
- коефіцієнт $\beta_f = 0,9$;
- коефіцієнт $\beta_z = 1,15$;

1. Обчислюємо додаткову величину:

$$\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{0,45 \cdot \beta_z \cdot R_{un}} = \frac{0,9 \cdot 180}{0,45 \cdot 1,15 \cdot 360} = 0,87,$$

де R_{wf} – розрахунковий опір кутового зварного шва визначається за табл. Д.2 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. В.1 дод. В до методичних рекомендацій) і підставляється у вираз в одиницях виміру – кН/см².

Якщо отримана величина менше 1, то подальший розрахунок кутового зварного шва виконують в площині наплавленого металу; якщо більше 1 – в площині металу межі сплавлення.

В даному випадку розрахунок виконуємо в площині наплавленого металу.

2. Обчислюємо потрібну площу зварного шва:

$$A_{wf} = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{2 \cdot \beta_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} = \frac{850 \cdot 1,250}{2 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 0,8} = 40,99 \text{ см}^2,$$

де γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 5.1 ДБН [1] для стиснутих елементів зварної ферми (наведена в табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій).

Для випадку розрахунку в площині металу межі сплавлення використовують вираз

$$A_{wf} = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{2 \cdot \beta_z \cdot 0,45 \cdot R_{un} \cdot \gamma_c}.$$

3. Приймаємо коефіцієнти розподілу зварного шва за рис. 8.

В даному випадку $K_o = 0,65$ і $K_n = 0,35$.

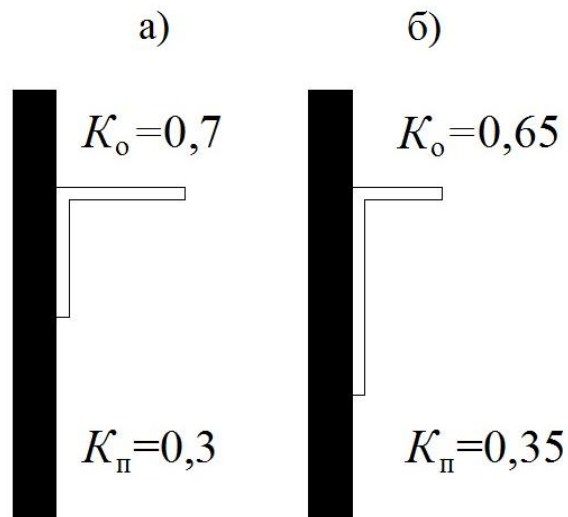


Рис. 8. Коефіцієнти розподілу на шов по обушку K_o та на шов по перу K_n : а) для рівнополичного кутика; б) для нерівнополичного кутика.

4. Обчислюємо площу зварного шва по обушку та по перу, відповідно:

$$A_{wf}^o = K_o \cdot A_{wf} = 0,65 \cdot 40,99 = 26,64 \text{ см}^2;$$

$$A_{wf}^n = K_n \cdot A_{wf} = 0,35 \cdot 40,99 = 14,35 \text{ см}^2.$$

5. Обираємо катет шва k_f зі стандартного ряду за табл. В.2 дод. В методичних рекомендацій, приймаючи його не більше за величину $1,2 \cdot t$ (t – товщина полиці кутика за задачею № 1).

В даному випадку $1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 12 = 14,4$ мм.

Приймаємо катет шва $k_f = 10$ мм = 1,0 см.

6. Розраховуємо довжину зварного шва по обушку та по перу, відповідно:

$$l_o = \frac{A_{wf}^o}{k_f} = \frac{26,64}{1,0} = 26,64 \text{ см};$$

$$l_n = \frac{A_{wf}^n}{k_f} = \frac{14,35}{1,0} = 14,35 \text{ см}.$$

Отримані довжини округляємо **в більшу сторону** з кратністю 10 мм додаючи по 10 мм на неповар шва:

- довжина шва по обушку $l_o = 280$ мм;
- довжина шва по перу $l_n = 160$ мм.

7. В масштабі виконуємо креслення підібраних кутиків із розміщенням зварних швів.

За результатами розв'язання задачі креслення має вигляд за рис. 9.

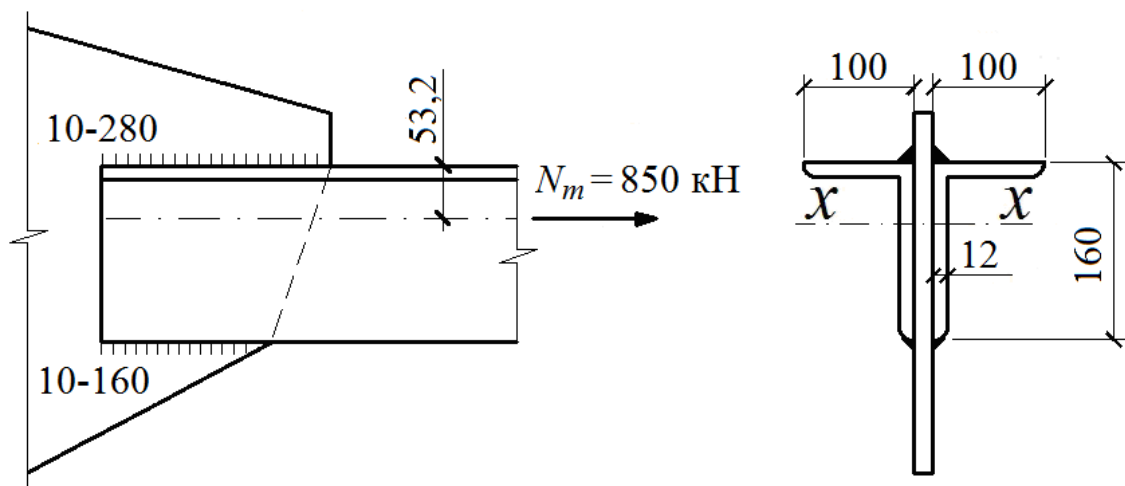


Рис. 9. З'єднання на кутових зварних швах.

На цьому рішенні задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 5

З'ЄДНАННЯ НА ЗВИЧАЙНИХ БОЛТАХ

В даній задачі необхідно розрахувати з'єднання елементів на звичайних болтах за вихідними даними, визначеними за шифром з табл. 6. З'єднання виконується для елемента з подвійних кутиків, підібраних в задачі № 1.

Таблиця 6

Вихідні дані до задачі № 5

Літера шифру	Найменування	А И І Ї Й	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
3	Розрахункове зусилля N_m , кН	900	500	400	800	1000	700	1100	600
4	Клас міцності болта	5.8	5.6	10.9	8.8	5.8	8.8	10.9	5.6
5	Клас точності болта	A	B	C	A	B	C	A	B

Приклад рішення

Вихідні дані:

- розрахункове зусилля $N_m = 850$ кН;
- клас міцності болта – 12.9;
- клас точності болта – С.

1. Визначаємо діаметр болта, приймаючи його стандартним за табл. Д.8 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. Г.1 дод. Г до методичних рекомендацій):

$$d_b = d - \delta = 24 - 4 = 20 \text{ мм},$$

де d – діаметр отвору за вихідними даним задачі № 1,

δ – зазор між діаметром отвору і діаметром болта, що приймається:

- для болтів підвищеної точності класу А $\delta \leq 0,3$ мм;
- для болтів нормальної точності класу В $\delta = 1 \div 3$ мм;
- для болтів грубої точності класу С $\delta = 3 \div 5$ мм.

2. Визначаємо розрахункові опори болтів на зріз та зминання за табл. Д.4 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. Г.2 дод. Г до методичних рекомендацій) та за табл. Д.5 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. Г.3 дод. Г до методичних рекомендацій), відповідно:

- розрахунковий опір на зріз $R_{bs} = 420 \text{ МПа} = 42,0 \text{ кН/см}^2$;
- розрахунковий опір на зминання $R_{bp} = 475 \text{ МПа} = 47,5 \text{ кН/см}^2$.

3. Визначаємо несучу здатність одного болта при роботі на зріз:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 42,0 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 276,9 \text{ кН},$$

де A_b – площа перерізу болта приймається за табл. Д.8 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. Г.1 дод. Г до методичних рекомендацій),

n_s – кількість розрахункових площин зрізу одного болта,

γ_b – коефіцієнт умов роботи болтового з'єднання за табл. 16.4 ДБН [1],

γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 5.1 ДБН [1] для болтової ферми (наведена в табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій).

4. Визначаємо несучу здатність одного болта при роботі на зминання:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot t_{\min} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 47,5 \cdot 2,0 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 139,7 \text{ кН},$$

де $t_{\min}$ – товщина фасонки, яка приймається на 2÷4 мм більшою, за товщину t полиці кутика (за задачею № 1). Остаточню її товщину узгоджуємо із сортаментом листової сталі (сортамент наведений в Довіднику [5]).

В даному випадку приймаємо $t_{\min} = 14$ мм.

5. Визначаємо необхідну кількість болтів в з'єднанні:

$$n = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{N_{b,\min}} = \frac{850 \cdot 1,250}{139,7} = 7,6,$$

де $N_{b,\min}$ – найменше значення несучої здатності одного болта (N_{bs} або N_{bp}).

Отриману кількість болтів округляємо в **більшу** сторону до цілої кількості: $n = 8$ болтів.

6. В масштабі виконуємо креслення з'єднання із розміщенням звичайних болтів за конструктивними правилами, визначеними в задачі № 1, в один ряд.

Крок отворів $a_1 = 60$ мм, доріжка отворів $S_1 = 100$ мм та $S_2 = 50$ мм.

Увага! Якщо болти розміщуються в два ряди, то їх остаточно прийнята кількість має бути парною.

За результатами розв'язання задачі креслення має вигляд за рис. 10.

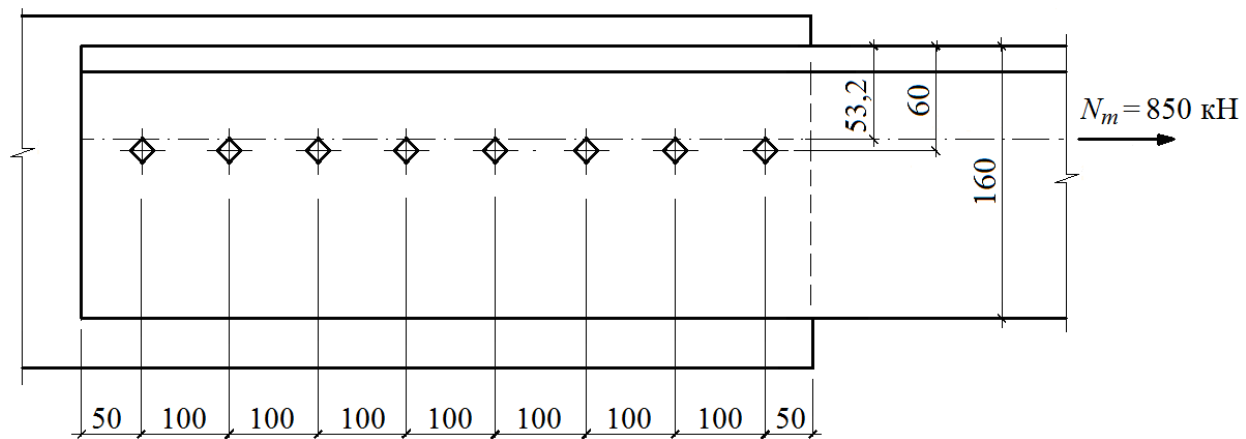


Рис. 10. З'єднання на звичайних болтах.

На цьому рішенні задачі вважається завершеним.

ЗАДАЧА № 6

З'ЄДНАННЯ НА ВИСОКОМІЦНИХ БОЛТАХ

В даній задачі необхідно розрахувати з'єднання елементів на високоміцних болтах за вихідними даними, визначеними за шифром з табл. 7. З'єднання виконується для елемента з подвійних кутиків, підібраних в задачі № 1.

Таблиця 7

Вихідні дані до задачі № 6

Літера шифру	Найменування	А И І Ї Й	Б К С Ч	В Л Т Ю	Г М У Я	Д Н Ф Ъ	Е Є О Х	Ж П Ц	З Р Ш Щ
3	Розрахункове зусилля N_m , кН	900	500	400	800	1000	700	1100	600
4	Елемент конструкції	балка	колона	ферма	тяга	балка	колона	ферма	тяга
5	Спосіб обробки поверхонь	дробе-струменева		газо-полуменева		сталевими щітками		без обробки	

Приклад рішення

Вихідні дані:

- розрахункове зусилля $N_m = 850$ кН;
- елемент конструкції – ферма;
- спосіб обробки поверхонь – дробеструменева.

1. Визначаємо розрахунковий опір розтягу високоміцного болта за табл. Д.7 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. Г.4 дод. Г до методичних рекомендацій). При цьому діаметр болта приймаємо за задачею № 5 ($d_b = 20$ мм):

$$R_{bh} = 770 \text{ МПа} = 77,0 \text{ кН/см}^2.$$

2. Визначаємо розрахункове зусилля, яке може бути сприйняте кожною площиною тертя елементів, затягнутих одним високоміцним болтом:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} \cdot A_b \cdot \mu_s}{\gamma_h} = \frac{77,0 \cdot 3,14 \cdot 0,58}{1,12} = 125,21 \text{ кН},$$

де A_b – діаметр болта за табл. Д.8 дод. Д ДБН [1] (наведена в табл. Г.1 дод. Г до методичних рекомендацій),

μ_s – коефіцієнт тертя за табл. 16.5 ДБН [1] (наведена в табл. Г.5 дод. Г до методичних рекомендацій),

γ_h – коефіцієнт надійності за табл. 16.5 ДБН [1] (наведена в табл. Г.5 дод. Г до методичних рекомендацій) для статичного навантаження з урахуванням

визначеного в задачі № 5 зазору $\delta = 4$ мм.

3. Визначаємо необхідну кількість болтів в з'єднанні:

$$n = \frac{N_m \cdot \gamma_{n1}}{Q_{bh} \cdot k \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{850 \cdot 1,250}{125,21 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 0,80} = 6,63,$$

де k – кількість площин тертя з'єднуваних елементів,

γ_b – коефіцієнт умов роботи фрикційного з'єднання, який попередньо приймається рівним 0,8,

γ_c – коефіцієнт умов роботи за табл. 5.1 ДБН [1] (наведена в табл. А.2 дод. А до методичних рекомендацій) для заданого за вихідними даними елемента конструкції – ферми.

Отриману кількість болтів округляємо в **більшу** сторону до цілої кількості: $n = 7$ болтів.

4. В масштабі виконуємо креслення з'єднання із розміщенням високоміцних болтів за конструктивними правилами, визначеним в задачі № 1, в один ряд.

Крок отворів $a_1 = 60$ мм, доріжка отворів $S_1 = 100$ мм та $S_2 = 50$ мм.

Увага! Якщо болти розміщуються в два ряди, то їх остаточно прийнята кількість має бути парною.

За результатами розв'язання задачі креслення має вигляд за рис. 11.

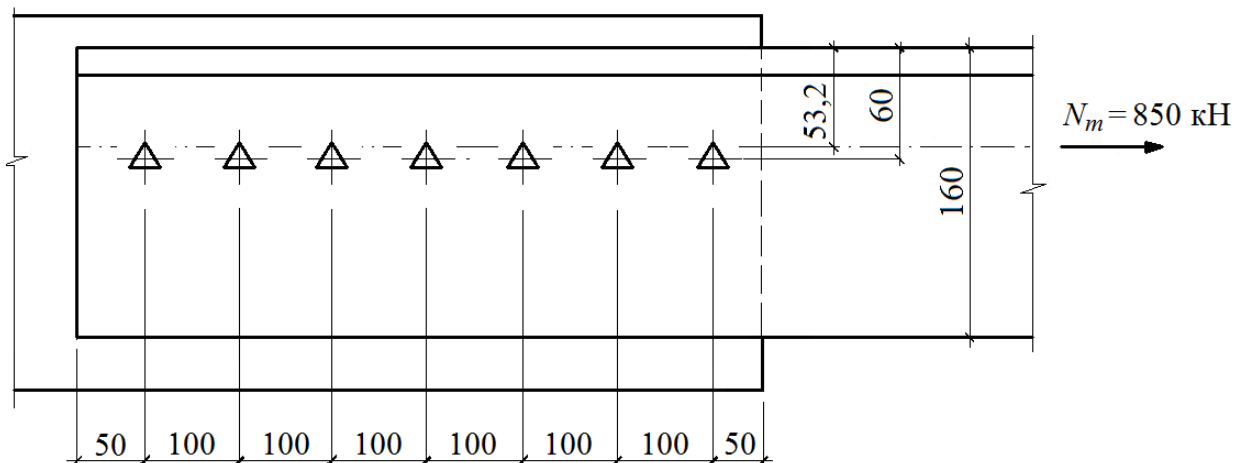


Рис. 11. З'єднання на високоміцних болтах.

На цьому рішенні задачі вважається завершеним.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. – 205 с.
2. ДСТУ Б А.2.4-43:2009 (ГОСТ 21.502-2007, MOD). Система проектної документації для будівництва. Правила виконання проектної та робочої документації металевих конструкцій. – Київ: Мінрегіонбуд, 2009. – 25 с.
3. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Зміна № 1. – Київ: Мінрозвитку громад та терит. України, 2022. – 17 с.
4. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Київ: Мінрегіонбуд та ЖКГ, 2018. – 30 с.
5. Банніков Д. О. Металеві конструкції: Довідкові дані «Сортамент металопродукту». Частина 1. Гарячекатані профілі. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – 54 с.
6. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2006. – 14 с.

Додаток А

РОЗРАХУНКОВІ КОЕФІЦІЄНТИ

Таблиця А.1

Коефіцієнт надійності за відповідальністю

Клас наслідків (відповідальності)	Категорія відповідальності конструкції	Значення γ_n , які використовуються в розрахункових ситуаціях				
		усталених		перехідних		аварійних
		перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів
СС3	А	1,250	1,000	1,050	0,975	1,050
	Б	1,200		1,000		
	В	1,150		0,950		
СС2	А	1,100	0,975	0,975	0,950	0,975
	Б	1,050		0,950		
	В	1,000		0,925		
СС1	А	1,000	0,950	0,950	0,925	0,950
	Б	0,975		0,925		
	В	0,950		0,900		

Таблиця А.2

Коефіцієнт умов роботи

Елементи конструкцій	Коефіцієнт умов роботи γ_c
І. Балки суцільного перерізу і стиснуті елементи ферм перекриттів під залами театрів, клубів, кінотеатрів, під трибунами, під приміщеннями магазинів, книгосховищ і архівів тощо при тимчасовому навантаженні, що не перевищує вагу перекриття	0,90
2. Колони громадських споруд і опор водонапірних башт	0,95
3. Колони одноповерхових виробничих споруд із мостовими кранами	1,05
4. Стиснуті основні елементи (крім опорних), решітки складеного таврового перерізу з двох кутиків у зварних фермах покриттів і перекриттів при розрахунку на стійкість зазначених елементів із гнучкістю $\lambda \geq 60$	0,80
5. Затяжки, тяги, відтяжки, підвіски при розрахунку на міцність у перерізі без послаблень	0,90

Елементи конструкцій	Коефіцієнт умов роботи γ_c
6. Перерізи елементів конструкцій зі сталі з границею текучості до 440 Н/мм ² , що несуть статичне навантаження, при розрахунку на міцність у перерізі, послабленому отворами для болтів (окрім фрикційних з'єднань): - суцільних балок і колон; - стрижневих конструкцій покриттів та перекриттів	1,10 1,05
7. Стиснуті елементи решітки просторових решітчастих конструкцій, виконані з одиночних рівнополичкових кутиків з рисунком 13.3, які прикріплюються однією полицею (для нерівнополичкових кутиків – більшою полицею): а) безпосередньо до поясів за допомогою зварних швів або двох болтів і більше, які встановлені вздовж кутика: - розкоси (рисунок 13.3, а); - розпірки (рисунок 13.3 б, в, е); - розкоси (рисунок 13.3 в, г, д, е); б) безпосередньо до поясів за допомогою одного болта або через фасонку незалежно від виду з'єднання	0,90 0,90 0,80 0,75
8. Елементи плоских ферм з одиночних кутиків, стиснуті елементи, виконані з одиночних кутиків, які прикріплюються однією полицею (для нерівнополичкових кутиків – меншою полицею), за винятком елементів, наведених у позиції 7 цієї таблиці	0,75
9. Опорні плити, виконані зі сталі з границею текучості до 390 Н/мм ² , що несуть статичне навантаження, товщиною, мм: а) до 40 включно; б) понад 40 до 60 включно; в) понад 60 до 80 включно	1,20 1,15 1,10
Примітка 1. Коефіцієнти $\gamma_c < 1,0$ при розрахунку не слід враховувати сумісно, за винятком розрахунків, вказаних у примітках 2, 3. Примітка 2. При розрахунку на міцність у перерізі, послабленому отворами для болтів, коефіцієнти, наведені в позиції 6 і 1, 6 і 2, 6 і 5, слід враховувати сумісно. Примітка 3. При розрахунку опорних плит коефіцієнти, наведені в позиції 9 і 2, 9 і 3, слід враховувати сумісно. Примітка 4. При розрахунку з'єднань коефіцієнти γ_c для елементів, які наведені в позиції 1 і 2, слід враховувати разом із коефіцієнтом умов роботи з'єднання γ_b. Примітка 5. У випадках, не обумовлених цими Нормами, у розрахункових формулах приймають $\gamma_c = 1,0$.	

Коефіцієнти стійкості при центральному стиску

Умовна гнуч- кість $\bar{\lambda}$	Коефіцієнти φ для типів кривих стійкості			Умовна гнуч- кість $\bar{\lambda}$	Коефіцієнти φ для типів кривих стійкості		
	a	b	c		a	b	c
0,4	999	998	992	5,4	261	261	255
0,6	994	986	950	5,6	242	242	240
0,8	981	967	929	5,8	226	226	226
1,0	968	948	901	6,0	211		
1,2	954	927	878	6,2	198		
1,4	938	905	842	6,4	186		
1,6	920	881	811	6,6	174		
1,8	900	855	778	6,8	164		
2,0	877	826	744	7,0	155		
2,2	851	794	709	7,2	147		
2,4	820	760	672	7,4	139		
2,6	785	722	635	7,6	132		
2,8	747	683	598	7,8	125		
3,0	704	643	562	8,0	119		
3,2	660	602	526	8,5	105		
3,4	615	562	492	9,0	094		
3,6	572	524	460	9,5	084		
3,8	530	487	430	10,0	076		
4,0	475	453	401	10,5	069		
4,2	431	421	375	11,0	063		
4,4	393	392	351	11,5	057		
4,6	359	359	328	12,0	053		
4,8	330	330	308	12,5	049		
5,0	304	304	289	13,0	045		
5,2	281	281	271	14,0	039		

Примітки.

1. Наведені у таблиці значення коефіцієнта φ збільшені в 1000 разів.
2. Проміжні значення коефіцієнта обчислюються лінійною інтерполяцією.

Додаток Б

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛІ

Таблиця Б.1

**Характеристичні і розрахункові опори сталі при розтягу, стиску та згині
для листового, широкосмугового універсального і фасонного прокату
відповідно до класів міцності прокату сталі**

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкосмугового, універсального		фасонного		листового, широкосмугового, універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
C235	від 2 до 20	235	360	235	360	230	350	230	350
	понад 20 до 40	225	360	225	360	220	350	220	350
	понад 40 до 100	215	360	—	—	210	350	—	—
	понад 100	195	360	—	—	190	350	—	—
C245	від 2 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 30	—	—	235	370	—	—	230	360
C255	від 2 до 3,9	255	380	—	—	250	370	—	—
	від 4 до 10	245	370	255	380	240	360	250	370
	понад 10 до 20	245	370	245	370	240	360	240	360
	понад 20 до 40	235	370	235	370	230	360	230	360
C275	від 2 до 10	275	380	275	390	270	370	270	380
	понад 10 до 20	265	370	275	380	260	360	270	370
C285	від 2 до 3,9	285	390	—	—	280	380	—	—
	від 4 до 10	275	390	285	400	270	380	280	390
	понад 10 до 20	265	380	275	390	260	370	270	380
C295	до 100	295	430	295	430	285	420	285	420
C325	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
	понад 40 до 60	285	450	—	—	280	440	—	—
	понад 60 до 80	275	440	—	—	270	430	—	—
	понад 80 до 100	265	430	—	—	260	420	—	—
C345	від 2 до 10	345	490	345	490	335	480	335	480
	понад 10 до 20	325	470	325	470	315	460	315	460
	понад 20 до 40	305	460	305	460	300	450	300	450
C345K	від 4 до 10	345	470	345	470	335	460	335	460
C355	від 8 до 50	355	450	—	—	350	440	—	—
C375	від 2 до 10	375	510	375	510	365	500	365	500
	понад 10 до 20	355	490	355	490	345	480	345	480
	понад 20 до 40	335	480	335	480	325	470	325	470
C390	від 4 до 50	390	540	—	—	380	530	—	—
C390K	від 4 до 30	390	540	—	—	380	530	—	—
C420	від 4 до 16	420	540	—	—	410	530	—	—
	від 16 до 40	400	530	—	—	390	515	—	—
	від 40 до 63	390	530	—	—	380	515	—	—
	від 63 до 80	370	520	—	—	360	505	—	—

Продовження таблиці Б.1

Клас міцності прокату сталі	Товщина прокату ¹⁾ , мм	Характеристичний опір ²⁾ , Н/мм ² , прокату				Розрахунковий опір ³⁾ , Н/мм ² , прокату			
		листового, широкозмугового, універсального		фасонного		листового, широкозмугового, універсального		фасонного	
		R_{yn}	R_{un}	R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u	R_y	R_u
C440	від 4 до 30	440	590	—	—	430	575	—	—
	понад 30 до 50	410	570	—	—	400	555	—	—
C460	від 4 до 16	460	570	—	—	445	555	—	—
	від 16 до 40	440	560	—	—	430	545	—	—
	від 40 до 63	430	560	—	—	420	545	—	—
	від 63 до 80	410	540	—	—	400	530	—	—
C490	від 8 до 50	490	590	—	—	475	575	—	—
C500	від 3 до 50	500	590-	—	—	485	575-	—	—
	від 50 до 100	480	770	—	—	465	750	—	—
C590	від 10 до 36	590	685	—	—	540	617	—	—
C590K	від 10 до 40	590	685	—	—	540	617	—	—
C620	від 3 до 50	620	700-	—	—	600	680-	—	—
	від 50 до 100	580	890	—	—	565	865	—	—

¹⁾ За товщину фасонного прокату приймається товщина полиці.
²⁾ За характеристичні опори прийняті гарантовані значення границі текучості і тимчасового опору.
³⁾ Значення розрахункових опорів одержані діленням характеристичних опорів на коефіцієнти надійності за матеріалом γ_m із заокругленням до 5 Н/мм². Для класів міцності прокату сталі C235-C500; C620 враховано $\gamma_m = 1,025$, а для класів C590; C590K враховано $\gamma_m = 1,1$.

Примітка 1. Розрахункові опори прокату конкретних марок сталей, які наведені у таблиці Г.5, слід приймати з урахуванням коефіцієнта надійності за матеріалом γ_m , який визначається згідно з таблицею 7.2.

Примітка 2. Розрахункові опори R_{yw} стінок гарячекатаних двотаврів і швелерів допускається збільшувати на 10% порівняно до R_y .

Додаток В

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВАРНИХ ШВІВ

Таблиця В.1

Характеристичні і розрахункові опори металу кутових зварних швів

Рекомендований клас міцності основного металу	Метал кутового шва	
	Характеристичний опір R_{wun} , Н/мм ²	Розрахунковий опір R_{wf} , Н/мм ²
С315 і нижче	410	180
Вище С315 до С355 включно	450	200
Вище С355 до С390 включно	490	215
Вище С390 до С440 включно	590	240
Вище С440	685	280

Таблиця В.2

Стандартні катети кутових зварних швів

Катет, мм	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30
-----------	---

Додаток Г

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БОЛТІВ

Таблиця Г.1

Площі перерізів болтів

d_b , мм	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
A_b , см ²	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn} , см ²	1,57	1,92	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72

Примітка. Розміри, які наведені в дужках, не рекомендується застосовувати в конструкціях, окрім опор повітряних ліній електропередавання (ПЛ), відкритих розподільних пристроїв (ВРП) та контактних мереж транспорту (КМТ).

Таблиця Г.2

Характеристичні опори сталі болтів і розрахункові опори одноболтових з'єднань зрізу і розтягу

Клас міцності болтів	R_{bun} , Н/мм ²	R_{byn} , Н/мм ²	R_{bs} , Н/мм ²	R_{bt} , Н/мм ²
5.6	500	300	210	225
5.8	500	400	210	-
8.8	800	640	320	435
10.9	1000	900	400	540
12.9	1200	1080	420	-
40X "селект"	1100	990	405	550

Таблиця Г.3

Розрахункові опори одноболтових з'єднань змінанню елементів, що з'єднуються болтами

Характеристичний опір прокату сталі з'єднуваних елементів R_{un} , Н/мм ²	Розрахунковий опір R_{bp} , Н/мм ² , при болтах	
	класу точності А	класів точності В і С, високоміцних
360	560	475
370	580	485
380	590	500
390	610	515
430	670	565
440	685	580
450	700	595
460	720	605
470	735	620
480	750	630
490	765	645
510	795	670
540	845	710
570	890	750
590	920	775

Таблиця Г.4

**Характеристичні опори сталі і розрахункові опори на розтяг
високоміцних болтів згідно із сталі марки 40X «селект»**

Номинальний діаметр різьби, мм	R_{bun} , Н/мм ²	R_{bh} , Н/мм ²
16, 20, (22), 24, (27)	1100	770
30	950	665
36	750	525
42	650	455
48	600	420
Примітка. Розміри, наведені в дужках, застосовувати не рекомендується.		

Таблиця Г.5

Коефіцієнти надійності і коефіцієнти тертя фрикційних з'єднань

Спосіб обробки (очищення) контактних поверхонь	Коефіцієнт тертя μ_s	Коефіцієнт надійності γ_h при контролі натягу болтів за моментом закручування при навантаженні і при різниці між діаметром отвору і номінальним діамет- ром болта δ , мм	
		динамічному при $\delta = 3 \dots 6$; статичному при $\delta = 5 \dots 6$	динамічному при $\delta = 1$; статичному при $\delta = 1 \dots 4$
1. Дробеметальний чи дробеструменевий двох поверхонь без консервації	0,58	1,35	1,12
2. Газополуменевий двох поверхонь без консервації	0,42	1,35	1,12
3. Сталевими щітками двох поверхонь без консервації	0,35	1,35	1,17
4. Без обробки	0,25	1,70	1,30
Примітка 1. При контролі натягу болтів за кутом повороту гайки значення коефіцієнту γ_h слід множити на 0,9.			
Примітка 2. Допускаються інші способи обробки (очищення) контактних поверхонь, що забезпечують значення коефіцієнтів тертя не нижче тих, що наведені у таблиці.			

Навчально-методичне видання

Банніков Дмитро Олегович

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ
ЕЛЕМЕНТИ ТА З'ЄДНАННЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Методичні рекомендації до розрахунково-графічної роботи

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка *Д. О. Банніков*

Формат 60x84 _{1/16}. Обл.- вид.арк.2,05.Ум.друк.арк.2,02.

Тираж 2пр. Зам.№ 580

Український державний університет
науки і технологій
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010