

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1.

1.1 РОБОТА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ РОЗТЯЗІ

Розрахунок розтягнутих елементів виконують за формулами:

Для переважної більшості сталей

(1)

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Для сталей, у яких

$$\frac{R_{un}}{\gamma_u} > R_y$$

(2)

$$\frac{N \cdot \gamma_u \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_u \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Для елементів, які розраховують за міцністю з використанням розрахункових опорів R_u , вводиться коефіцієнт надійності $\gamma_u = 1,3$

де N - осьове зусилля розтягу;

A_n - площа поперечного перерізу стержня «нетто» за вирахуванням усіх змін перерізу, отворів...;

γ_n - коефіцієнт надійності за відповідальністю,

γ_c - коефіцієнт умов роботи.

Для одиночних кутиків, що приєднуються однією полицею болтами слід, окрім формули (1) використовувати формулу (3):

$$\alpha = \frac{N \cdot \gamma_n \cdot \gamma_u}{A_n \cdot R_u \cdot \gamma_{c1}} \quad (3)$$

γ_{c1} - коефіцієнт умов роботи, що визначається за додатком Б ДБН В.2.6-198:2014 та залежить від кількості кріпильних болтів, геометричних параметрів кріплення.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1.

ЗАДАЧА №1.1. РОБОТА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ РОЗТЯЗІ

Перевірити міцність, за потреби, відкоригувати розміри сталевго тяжу, що підтримує димову трубу котельні, який працює на розтяг. Зусилля розтягу у тяжі $N=45$ кН, сталь – С235, попередній діаметр кругляка, з якого виготовлений тяж, – 16 мм. Законструювати тяж довжиною між осями кріплень – 20 м. Клас наслідків будівлі котельні – СС-2.

Розв'язок.

Дано:

$D = 16$ мм

С235, круглий прокат

$N=45$ кН

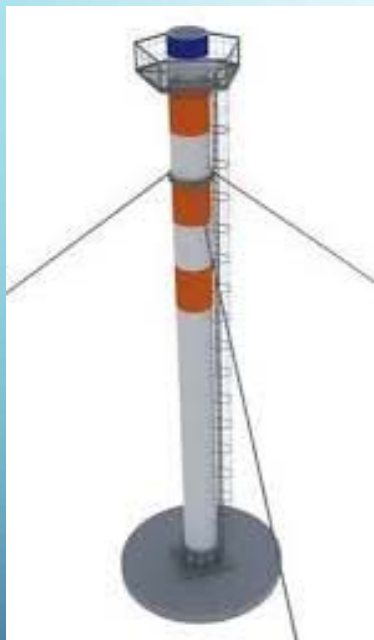
Клас насл. - СС-2

$L = 20$ м

Знайти:

Коефіцієнт використання

За потреби, підібрати D , або сталь



5. Визначаємо площу перерізу тяжу (нетто).
За умовою задачі послаблень немає, тому:

$$A_n = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 16^2 / 4 = 201 \text{ (мм}^2\text{)}$$

1. Визначаємося з напружено-деформованим станом.

Тяж працює на розтяг згідно з умовою задачі.

2. Визначаємося з характеристиками сталі С235, діаметр 16 мм за таблицею Г.2, додатку Г ДБН В.2.6-198:2014:

$R_y = 230$ МПа, $R_u = 350$ МПа.

3. Перевіряємо умову: $R_u / \gamma_u = 350 / 1,3 = 269$ МПа $>$ $R_y = 230$ МПа. Розрахунок виконуємо за формулою:

Для переважної більшості сталей

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

4. За таблицею 5.1 ДБН В.2.6-198:2014 визначаємо коефіцієнт γ_c : $\gamma_c = 0,9$ (п. 5 табл. – затяжки, тяги, відтяжки ...)

7. Клас наслідків (відповідальності) котельні за умовою задачі – СС-2, відтяжка відноситься до основних несучих конструкцій, категорія А, тому, згідно з таблицею 5 ДБН В.1.2-14:2018:

$\gamma_n = 1,1$ (для розрахунку за 1 групою граничних станів)

8. Умова міцності:

$$\alpha = \frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{45 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{201 \cdot 10^{-6} \cdot 230 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 1,19$$

$$\alpha = 1,19 > 1,0$$

Умову не виконано!!! Потрібне підсилення перерізу тягу, або заміна сталі!!!

9.1. **Варіант 1 підсилення із заміною сталі.** Оскільки переріз перевантажений на 19%, характеристики нової сталі мають бути близько 20% кращі.

$$R_{y1} = R_y \cdot 1,2 = 230 \cdot 1,2 = 276 \text{ (МПа)}$$

Згідно з табл. Г.2 вибираємо нову сталь С295 з такими характеристиками:

$R_{y1} = 285 \text{ МПа}$, $R_{u1} = 420 \text{ МПа}$

ПОПОВ В.О. ©

10.1. Виконуємо повторну перевірку:

$R_{u1} / \gamma_{u1} = 420 / 1,3 = 323 \text{ МПа} > R_{y1} = 285 \text{ МПа}$. Коригування не потрібне.

$$\alpha_1 = \frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_{y1} \cdot \gamma_c} = \frac{45 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{201 \cdot 10^{-6} \cdot 285 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 0,96$$

9.2. **Варіант 2 підсилення із збільшенням діаметра кругляка.** Оскільки переріз перевантажений на 19%, збільшення площі повинно бути не менше, аніж на 20%. **Отже, потрібна площа:**

$$A_{un2} = A_n \cdot 1,2 = 201 \cdot 1,2 = 242 \text{ (мм}^2\text{)}$$

10.2. Обчислюємо новий потрібний діаметр, узгоджуємо його із сортаментом:

$$D_{u2} = \sqrt{4 \cdot A_{u2} / \pi} = \sqrt{4 \cdot 242 / \pi} = 17,55 \approx 18 \text{ (мм)}$$

11.2. Новий діаметр не перевищує 20 мм, тому коригування характеристик сталі не потрібне.

12.2. Площа перерізу тягу після збільшення:

$$A_{n2} = \pi \cdot D_2^2 / 4 = \pi \cdot 18^2 / 4 = 254 \text{ (мм}^2\text{)} > A_{u2} = 242 \text{ мм}^2$$

4

$$\alpha = 0,94 < 1,0$$

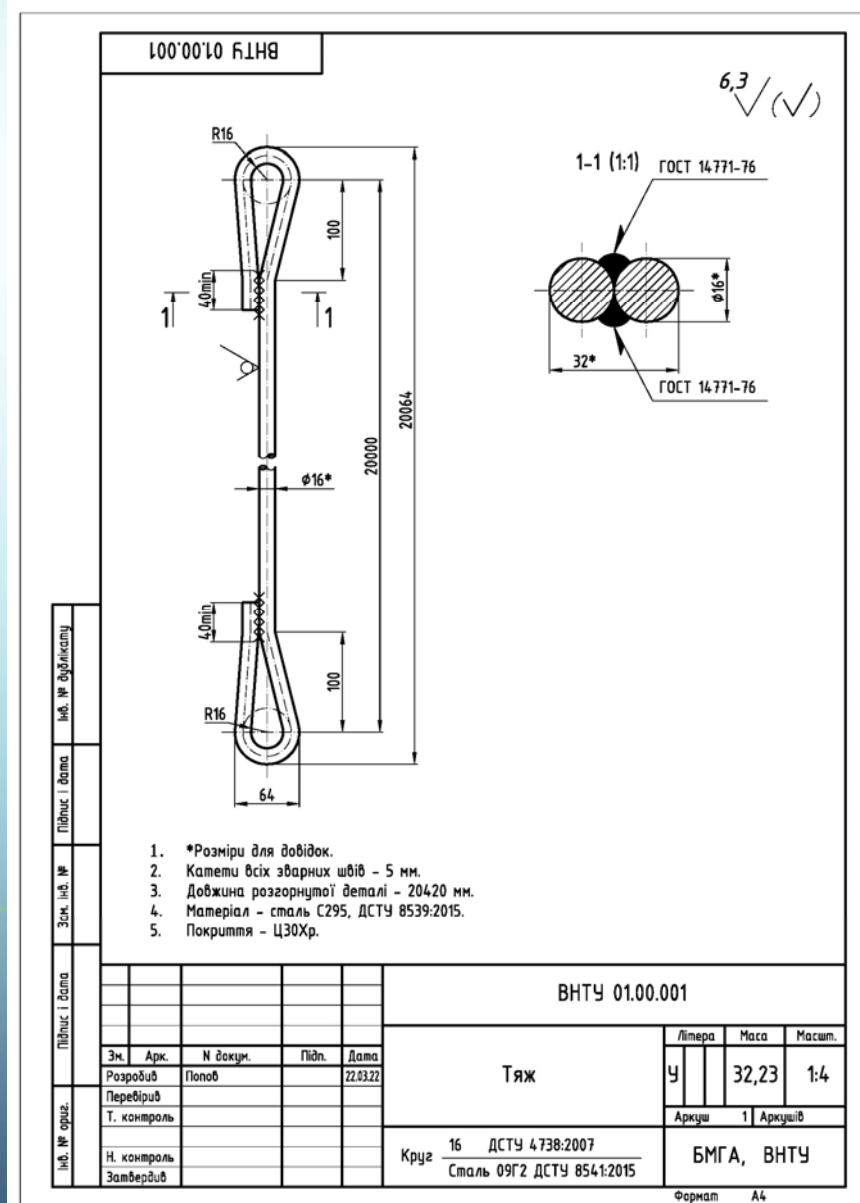
14. Загальні висновки:

б) тяж, підсилений за варіантом 1 (заміна матеріалу) діаметром 16 мм із міцнішою сталлю С295 відповідає вимогам міцності, коефіцієнт використання перерізу 0,96;

в) тяж, підсилений за варіантом 2 (збільшення перерізу) діаметром 18 мм зі сталі С235 відповідає вимогам міцності, коефіцієнт використання перерізу 0,94.

Розглядається перший варіант підсилення (заміна сталі).

ПОПОВ В.О. ©



ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2.

2. РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ ПРИ СТИСКУ

Робота стиснутого елемента під навантаженням за міцністю аналогічна розтягу:

Гнучкість:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}}$$

Умовна гнучкість

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}}$$

Умова стійкості:

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Радіус інерції:

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}}$$

Коефіцієнт стійкості

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}^2} \cdot \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}^2} \right)$$

або за
таблицею
Ж.1 ДБН

Параметр

$$\delta = 9,87 \cdot (1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2$$

$$\bar{\lambda} > 3,8 \text{ «А»}$$

$$\bar{\lambda} > 4,4 \text{ «В»}$$

$$\bar{\lambda} > 5,8 \text{ «С»}$$

Граничне значення
 φ , не менше, при:

$$\varphi = 7,6 / \bar{\lambda}^2$$

При $\bar{\lambda} < 0,4 \rightarrow \varphi = 1$

де N - осьове зусилля розтягу;
 φ - коефіцієнт стійкості (коефіцієнт повздовжнього згину);
 A - площа поперечного перерізу стержня «брутто» без урахування отворів,
 γ_n - коефіцієнт надійності за відповідальністю,
 γ_c - коефіцієнт умов роботи.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2.

ЗАДАЧА №2.1. РОБОТА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ СТИСКУ

Перевірити міцність і стійкість, за потреби, відкоригувати розміри сталеві трубчастої колони (труба – горячекатана) виробничої будівлі, яка приварюється знизу до шарнірної закладної деталі, а згори сприймає навантаження від балок і ферм (умовне шарнірне закріплення в двох площинах). Загальне стискаюче зусилля $N=500$ кН (однакове для всіх типів колон), матеріал – сталь 20, попередній діаметр труби 159 мм, товщина стінки 6 мм. Виконати конструювання колони крайнього (К-4) та середнього (К-1) ряду. Висота колон К-1 та К-4 – 5,588 м. Клас наслідків виробничої будівлі – СС-3.

Розв'язок.

Дано:

$D \times t = 159 \times 6$ мм
Сталь 20,
 $N=500$ кН,
 $H=5,588$ м

Знайти:

Коефіцієнт використання
За потреби, підібрати
 D, t

1. Визначаємося з напружено-деформованим станом.

Колони працюють на центральний стиск згідно з умовою задачі.

2. Визначаємося з характеристиками Сталі 20, за таблицею Г.3, додатку Г ДБН В.2.6-198:2014: $R_y = 225$ МПа, $R_u = 375$ МПа.

3. Перевіряємо умову: $R_u/\gamma_u = 375/1,3 = 288$ МПа $> R_y = 225$ МПа.

4. Площа нетто за сортаментом: $A_n = 28,84$ см² = 2884 мм². Коефіцієнт умов роботи для колони виробничої будівлі $\gamma_c = 1,0$ (немає в переліку таблиці 5.1). Коефіцієнт надійності для 1 групи граничних станів, СС-3, категорія А $\gamma_n = 1,25$.

5. Умова міцності:

$$\alpha = \frac{N \cdot \gamma_n}{A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{2884 \cdot 10^{-6} \cdot 225 \cdot 10^6 \cdot 1,0} = 0,96 < 1$$

**Умову виконано.
Міцність
забезпечено.**

6. За сортаментом радіус інерції круглої труби діаметром 159 мм, товщиною стінки 6 мм:

$$i_{\min} = i_x = i_y = 5,41 \text{ см} = 54,1 \text{ мм.}$$

7. Розрахункова довжина, враховуючи умови закріплення (за умовою задачі – з обох боків – шарнір): $\mu = 1$

8. Розрахункова довжина в обох площинах:

$$l_{\text{ef}} = 1 \cdot \mu = 5,588 \cdot 1 = 5,588 \text{ (м)}$$

9. Розраховуємо гнучкість: $\lambda = \frac{l_{\text{ef}}}{i_{\min}} = \frac{5588}{54,1} = 104$

Гранична гнучкість $\lambda_u = 180 - 60 \cdot \alpha$

10. Умовна гнучкість сталі 20 при модулі пружності $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$

$$\lambda = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 104 \cdot \sqrt{\frac{225 \cdot 10^6}{2,06 \cdot 10^{11}}} = 3,4 > 0,4$$

Елемент – довгий. Отже, потрібний розрахунок на стійкість!!!

11. Визначаємось з типом перерізу за формою втрати стійкості.

Згідно табл. 8.1 ДБН В.2.6-198:2014 кругла труба відноситься до типу перерізу з кривою втрати стійкості «а» (замкнуті жорсткі перерізи).

12. З таблиці 8.1 виписуємо значення коефіцієнтів альфа і бетта: $\alpha = 0,03, \beta = 0,06$

13. Обчислюємо параметр дельта:

$$\delta = 9,87 \cdot \left(1 - \alpha + \beta \cdot \lambda \right)^{-2} + \lambda = 9,87 \cdot (1 - 0,03 + 0,06 \cdot 3,4)^{-2} + 3,4^2 = 23,15$$

14. Оскільки

$$\lambda = 3,4 < 3,8$$

коригування ϕ не потрібне.

15. Коефіцієнт повздовжнього згину, ϕ , (співпадає з даними табл. Ж.1)

$$\phi = \frac{0,5}{\lambda} \cdot \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \lambda} \right) = \frac{0,5}{3,4^2} \cdot (23,15 - \sqrt{23,15^2 - 39,48 \cdot 3,4^2}) = 0,615$$

ПОПОВ В.О. ©

16. Умова стійкості:

$$\alpha = \frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{0,615 \cdot 2884 \cdot 10^{-6} \cdot 225 \cdot 10^6 \cdot 1,0} = 1,57 > 1$$

Умову не виконано!!! Потрібне підсилення трубчастого перерізу. Вибираємо метод збільшення перерізу, оскільки горячекатані труби виготовляють, в основному, зі сталі 20.

17. Шляхом ітераційного перебору зупиняємося на трубі 219 x 6 мм зі сталі 20, площею перерізу $A = A_n = 40,15 \text{ см}^2 = 4015 \text{ мм}^2$, радіусом інерції $i = 7,53 \text{ см} = 75,3 \text{ мм}$. Повторюємо всі розрахунки на стійкість.

18. Гнучкість:

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{5588}{75,3} = 74$$

19. Гранична гнучкість:

$$\lambda_u = \min(180 - 60 \cdot \alpha) = 120$$

20. Умовна гнучкість:

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 74 \cdot \sqrt{\frac{225 \cdot 10^6}{2,06 \cdot 10^{11}}} = 2,42 > 0,4$$

21. Нове значення параметра дельта:

$$\delta = 9,87 \cdot \left(1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda} \right)^{-2} + \bar{\lambda} =$$

$$= 9,87 \cdot (1 - 0,03 + 0,06 \cdot 2,42) + 2,42^2 = 16,87$$

22. Коефіцієнт фі:

$$\varphi = \frac{0,5}{\bar{\lambda}} \cdot \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39,48 \cdot \bar{\lambda}} \right)^{-2} =$$

$$= \frac{0,5}{2,42^2} \cdot \left(16,87 - \sqrt{16,87^2 - 39,48 \cdot 2,42^2} \right) = 0,816$$

23. Умова стійкості колони збільшеного перерізу виконується:

$$\alpha = \frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} =$$

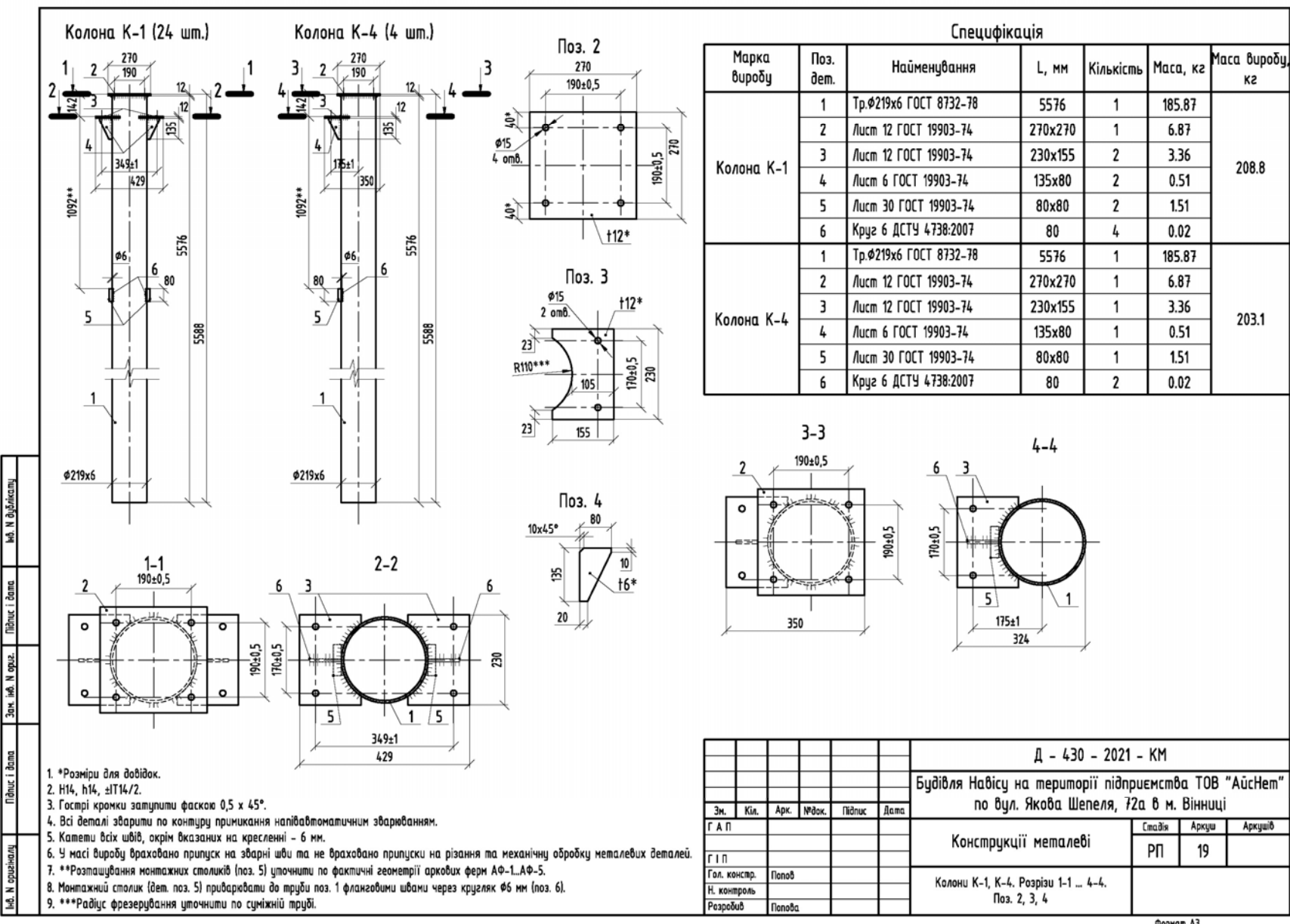
$$= \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{0,816 \cdot 4015 \cdot 10^{-6} \cdot 225 \cdot 10^6 \cdot 1,0} = 0,85 < 1$$

24. Міцність і стійкість **колони збільшеного перерізу** з труби 219 x 6 мм, що виготовлена зі сталі 20, **забезпечена**.

25. Коефіцієнт використання перерізу – 85% по стійкості.

26. **Конструювання колон балочної клітини середнього (К-1) та крайнього (К-4) рядів:**

ПОПОВ В.О. ©



ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. РОБОТА ПРОКАТНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ ПЛОСКОМУ ЗГИНІ

Найбільш типовим прикладом елементів, що згинаються, є балка, на яку **одночасно діють згинальні моменти**

М та **перерізувальні сили Q**.

Нормальні напруження:

$$\sigma = \frac{M \cdot \gamma_n}{I} \cdot y$$

Дотичні напруження:

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot b} \quad (\text{формула Журавського})$$

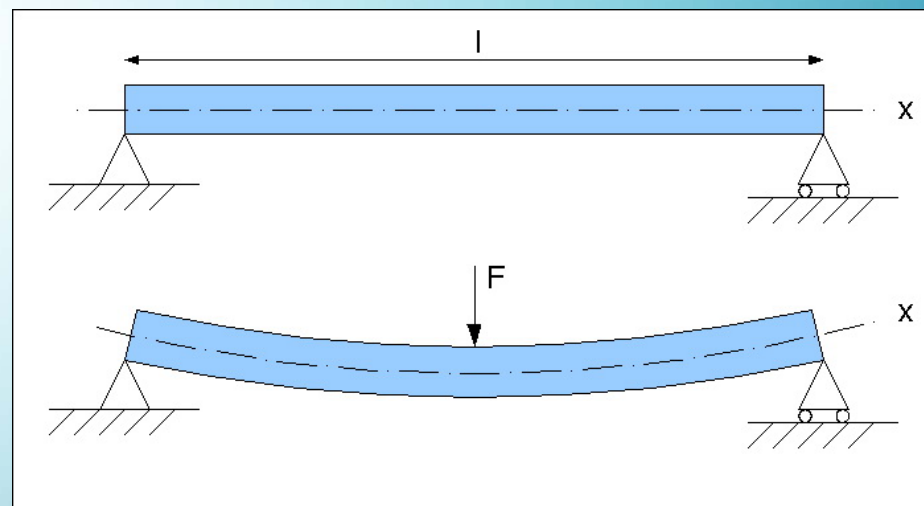
$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} \quad \sigma_{\max} \leq R_y \cdot \gamma_c \quad \tau_{\max} \leq R_s \cdot \gamma_c \quad \tau = \frac{Q \cdot \gamma_n \cdot S_x}{I_x \cdot t_w}$$

$$\frac{M_x \cdot \gamma_n}{W_{n, \min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

Згідно з ДБН В.2.6-198:2014

$$\frac{Q_{\max} \cdot S_x \cdot \gamma_n}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1$$

t_w - товщина стінки перерізу на рівні нейтральної осі.



y — відстань від центру ваги перерізу до шару волокон, у яких визначають нормальні напруження; I — момент інерції перерізу відносно головної центральної осі, перпендикулярної до площини дії моменту; S — статичний момент частини площі перерізу, розміщеної між рівнем y і краєм перерізу, відносно цієї ж осі; b — ширина чи товщина перерізу на цьому рівні)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3.

ЗАДАЧА №3.1. РОБОТА ПРОКАТНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЗГИНІ

11

Перевірити міцність нормального перерізу, перевірку дотичних напружень, та деформації прокатної балки перекриття книгосховища класу наслідків СС-3 з двотавра №16 за ДСТУ 8768:2018, що завантажена двома зосередженими силами P , улаштованими на $1/3$ прольоту. Довжина балки – 4,5 м. Умови обпирання – шарнірні на обох кінцях. Кріплення балки до сусідніх конструкцій – 2-ма болтами М16 через кріплення до стінки $P = 16$ кН. Коефіцієнт надійності за навантаженням 1,2. Клас сталі – С245. За потреби, відкоригувати розміри профілю. Болти при розрахунку не перевіряти!!!

Розв'язок.

Дано:

Двт. №16,
С245, $K = 1,2$
 $P = 16$ кН $\times 2$ ($1/3L$),
 $L = 4,5$ м

Знайти:

Коефіцієнт
використання
За потреби, підібрати
№ двотавра

1. Визначаємося з напружено-деформованим станом.

Балка працює на плоский згин згідно з умовою задачі.

2. Визначаємося з характеристиками Сталі 245, за таблицею Г.2, додатку Г ДБН В.2.6-198:2014: $R_y = 240$ МПа, $R_u = 360$ МПа, $R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 240 = 139$ МПа.

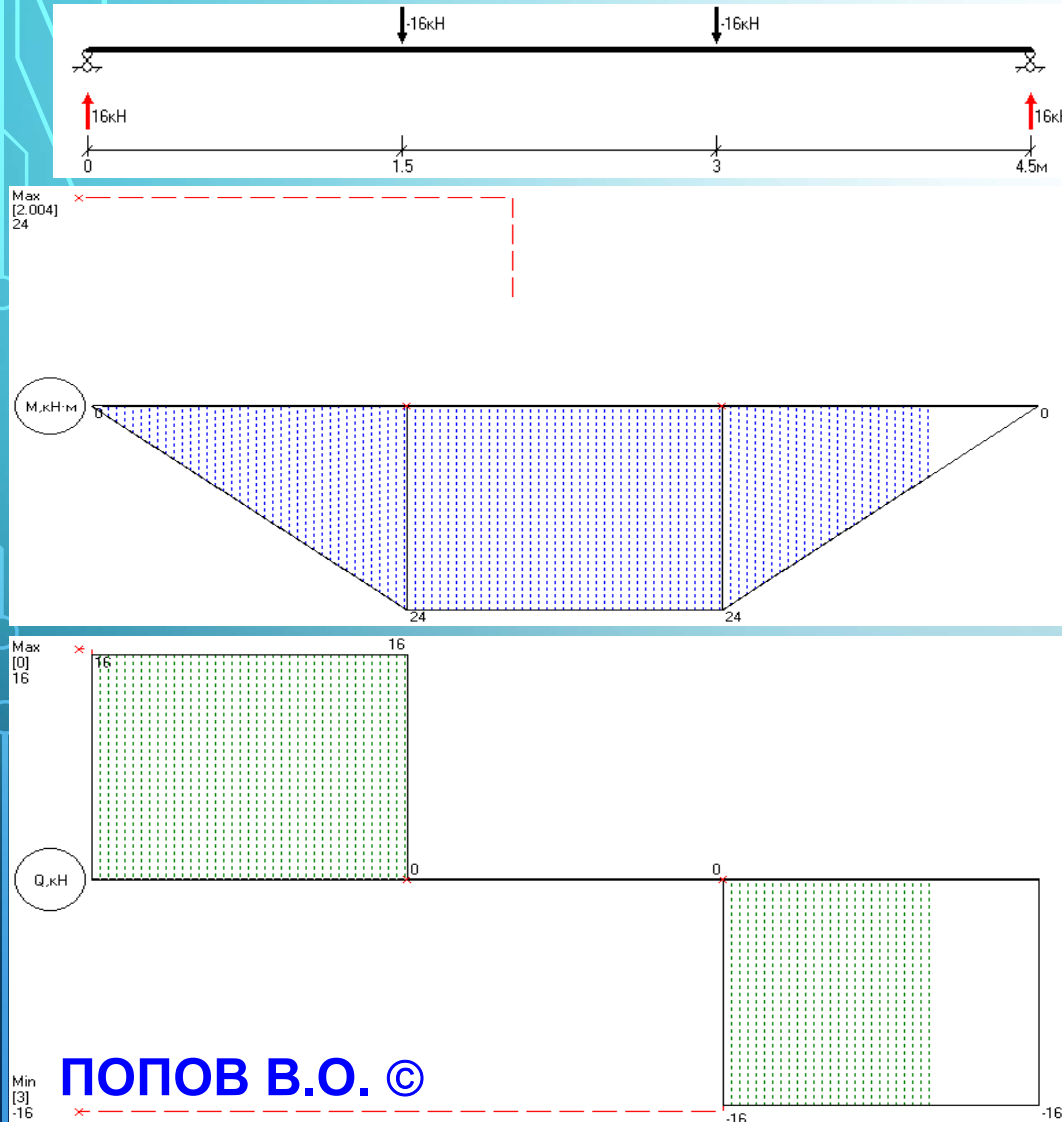
3. Перевіряємо умову: $R_u / \gamma_u = 360 / 1,3 = 277$ МПа $> R_y = 240$ МПа. Умову виконано. Розрахунок ведемо за розрахунковим опором R_y .

4. Коефіцієнт умов роботи для балки суцільного перерізу $\gamma_c = 0,9$ (п.1: Балки суцільного перерізу перекриттів книгосховища, табл.і 5.1). Коефіцієнт надійності для 1 групи граничних станів, СС-3, категорія А $\gamma_{n1} = 1,25$, коефіцієнт надійності для 2 групи граничних станів $\gamma_{n2} = 1,0$. Коефіцієнт надійності за навантаженням $K = \gamma_{fm} = 1,2$.

5. Характеристики Двт. №16: $J_x = 873$ см⁴; $W_x = 109$ см³; $S_x = 62,3$ см³; $t_w = 7,8$ мм

ПОПОВ В.О. ©

5. Епюра згинальних моментів та поперечних сил від експлуатаційного навантаження:



6. Максимальне значення внутрішніх зусиль (нормативне значення, 2 гр. гр. ст.):

$$M_{n, \max} = +24 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$Q_{n, \max} = 16 \text{ кН}$$

7. Максимальне (граничне, розрахункове) значення внутрішніх зусиль (1 гр. гр. ст.):

$$M_{p, \max} = M_{n, \max} \cdot \gamma_{fm} = +24 \cdot 1,2 = +28,8 \text{ (кН} \cdot \text{м)}$$

$$Q_{p, \max} = Q_{n, \max} \cdot \gamma_{fm} = 16 \cdot 1,2 = 19,2 \text{ (кН} \cdot \text{м)}$$

8. Перевірка міцності за нормальними перерізами (1 гр. гр. ст.):

$$\left(\alpha = \frac{M_x \cdot \gamma_n}{W_{n, \min} \cdot R_y \cdot \gamma_c} \right) \leq 1$$

$$\alpha = \frac{M_{p, \max} \cdot \gamma_{n1}}{W_{x, 16} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{28,8 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{109 \cdot 10^{-6} \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 1,53 > 1$$

Умову не виконано!!! Міцність нормального перерізу не забезпечено!!! Подальші перевірки не доцільні. Збільшуємо № двотавра!

9. Потрібний момент опору перерізу:

$$W_{nu} = W_x (\text{двт.16}) \cdot \alpha = 109 \cdot 1,6 = 174,4 \text{ (см}^3\text{)}$$

10. За сортаментом найближчий за моментом опору двотавр №20. Геометричні характеристики:
 $J_x=1840\text{см}^4$; $W_x=184\text{см}^3$; $S_x=104\text{см}^3$; $t_w=8,4\text{мм}$.
Вага 1 м.п. – 21 кг (вага 1 м.п. двт.№16 – 15,9 кг).

11. Перевірка міцності за нормальними перерізами при згині (1 гр. гр. ст.):

$$\alpha = \frac{M_{p, \max} \cdot \gamma_{n1}}{W_{x,20} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{28,8 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{184 \cdot 10^{-6} \cdot 240 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 0,91 < 1$$

Умову виконано! Міцність нормального перерізу підсиленого двотаврового профілю забезпечено!

12. Перевірка міцності за дотичними напруженнями при згині (1 гр. гр. ст.):

$$\alpha = \frac{Q_{p, \max} \cdot S_x \cdot \gamma_n}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{19,2 \cdot 10^3 \cdot 104 \cdot 10^{-6} \cdot 1,25}{1840 \cdot 10^{-8} \cdot 8,4 \cdot 10^{-3} \cdot 139 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 0,13 < 1$$

Умову міцності за дотичними напруженнями виконано!

13. Визначення прогинів (2 гр. ср. ст.).

Прогини визначаємо від експлуатаційних впливів.

Згинальні моменти і поперечні сили:

$$M_{n, \max} = +24 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$Q_{n, \max} = 16 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

14. Для балки із трапецеїдальною епюрою згинальних моментів граничний прогин буде рівний:

$$f_{\max} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_n \cdot l^2}{E \cdot I_x} = \frac{5}{48} \cdot \frac{24 \cdot 10^3 \cdot 4,5^2}{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 1840 \cdot 10^{-8}} = 0,013 \text{ м}$$

$$f_{\max} = 13 \text{ мм}$$

15. Граничні прогини згідно з ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «Прогини і переміщення» для балок перекриттів прольотом від 3 до 6 м:

$$f_u = \frac{1}{200} = \frac{4500}{200} = 22,5 \text{ (мм)}$$

16. Умова жорсткості:

$$\{f_{\max} \cdot \gamma_{n2} = 13 \cdot 1,0 = 13 \text{ (мм)}\} < \{f_u = 22,5 \text{ мм}\}$$

Умову виконано! Жорсткість балки забезпечено!

17. Перевірка перерізів з одночасно діючими великими нормальними і дотичними напруженнями за міцністю за еквівалентними напруженнями:

$$\alpha = \frac{0,87 \cdot \gamma_{n1} \cdot \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}}{R_y \cdot \gamma_c} \leq 1$$

$$\sigma_x = \frac{M_{p, \max}}{W_{x, 20}} = \frac{28,8 \cdot 10^3}{184 \cdot 10^{-6}} = 156 \text{ (МПа)}$$

$$\tau_{xy} = \frac{Q_{p, \max} \cdot S_x}{I_x \cdot t_w} = \frac{19,2 \cdot 10^3 \cdot 104 \cdot 10^{-6}}{1840 \cdot 10^{-8} \cdot 8,4 \cdot 10^{-3}} = 12,9 \text{ (МПа)}$$

$$\alpha = \frac{0,87 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{(156 \cdot 10^6)^2 + 3 \cdot (12,9 \cdot 10^6)^2}}{240 \cdot 10^6 \cdot 0,9} = 0,8 < 1$$

Умову виконано! Міцність небезпечного перерізу на вплив еквівалентних напружень забезпечено!

18. Висновки:

ПОПОВ В.О. ©

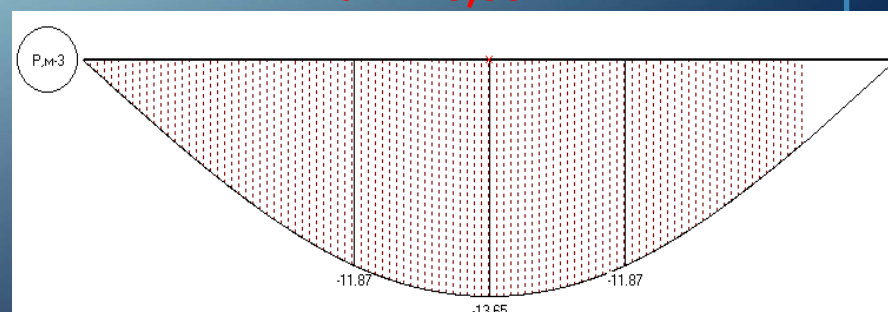
18.1. **Міцність вихідної балки** за умовою задачі з двотавра №16 на сприйняття проектних навантажень **не забезпечена. Перевантаження – 53%.**

18.2. **Міцність підсиленої балки** з двотавра №20 на сприйняття проектних навантажень **забезпечена. Максимальний коефіцієнт використання перерізу – 91%** (за нормальними напруженнями).

18.3. Жорсткість **підсиленої балки** з двотавра №20 на сприйняття проектних навантажень **забезпечена.** Фактичні прогини складають 13 мм.

19. Реальні прогини (методом опору матеріалів)

f_{max} = 13,65 мм.



19. Конструювання балки.

Розмір по сусідній деталі

Розмір, трохи менший, аніж від краю заокруглення до краю іншого заокруглення

Розмір, що обчислюється (неробочий напрямок)

Розмір, що обчислюється (робочий напрямок)

Габарит

Пофарбування

Вага

Робоче креслення.
Оформлення – згідно ЄСКД

ПОПОВ В.О. ©

