

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ
ЧЕРКАСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО
ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

ЗАВДАННЯ

**та методичні вказівки для виконання контрольної
роботи слухачами ФЗН з дисципліни
«Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах надзвичайних
ситуацій»
за розділом «Металеві та дерев'яні конструкції»**

Черкаси – 2018 р.

ББК

Упорядники:

доцент кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці к.т.н., доцент
Цвіркун С.В.,
старший викладач кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці
Рудешко І.В.

Рецензент: Кириченко Оксана В'ячеславівна,
завідувач кафедри пожежно-профілактичної роботи
доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Завдання та методичні вказівки для виконання контрольної роботи
здобувачами вищої освіти відділення заочного навчання / Упор. Цвіркун
С.В., Рудешко І.В., – Черкаси: ЧПБ НУЦЗУ, 2018. - 23 с.

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри безпеки об'єктів будівництва
та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв
Чорнобиля НУЦЗ України (протокол №1 від 31 серпня 2018 року)

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.

Навчальна мета контрольної роботи – систематизація теоретичних знань слухачів факультету заочного навчання з дисципліни «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій» розділи 1, 2 «Металеві і дерев'яні конструкції та їх поведінка в умовах високих температур», та подальше їх поглиблення, удосконалення навичок конструювання металевих конструкцій, перевірки їх несучої здатності, визначення їх вогнестійкості, перевірки проектної документації по забезпеченню пожежної безпеки будівель.

Згідно навчального плану, слухач у період вивчення предмету «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій» повинен виконати контрольну роботу по розділу «Металеві і дерев'яні конструкції та їх поведінка в умовах високих температур».

Завдання на контрольну роботу складається зі 100 варіантів: двох теоретичних питань та двох задач, (додаток 4). Дві останні цифри номера залікової книжки слухача-заочника визначають варіант завдання на контрольну роботу.

Наприклад: номер залікової книжки 1043. Варіант завдань 43. За таблицею 1 визначаємо номери теоретичних питань - 33,158, та номери задач - 123, 93.

Приклади розв'язання задач приведені в даному посібнику.

Перед виконанням контрольної роботи слухачу-заочнику рекомендується ознайомитись з методичними вказівками, підібрати рекомендовану літературу та нормативні документи, вивчити програмний матеріал з використанням записів, зроблених на установочних заняттях. Після вивчення теоретичного матеріалу можна приступити до виконання контрольної роботи.

Контрольна робота може бути виконана з використанням комп'ютера, або в окремому зошиті розбірливим почерком, охайно оформлена пастою чорного, синього або фіолетового кольору. На кожній сторінці потрібно залишати поля не менше 30 мм.

В кінці контрольної роботи необхідно вказати використану літературу та нормативні документи.

При виникненні труднощів при самостійному розв'язанні будь-якого питання або задачі, слухач заочник може звернутися за консультацією до практичних робітників проектних і конструкторських організацій, або до викладачів академії.

Контрольна робота оцінюється з урахуванням глибини викладання матеріалу, самостійності виконання, уміння пов'язати теоретичний матеріал з практичною роботою.

Замінити варіант завдання слухачу, у виняткових випадках, може тільки викладач даної дисципліни.

Контрольна робота, що виконана не за своїм варіантом, або з не повністю розкритими питаннями та задачами, до заліку не приймається.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ.

1. Загальні принципи об'ємно-планувальних рішень будівель.
2. Особливості об'ємно-планувальних рішень громадських будівель.
3. Особливості об'ємно-планувальних рішень виробничих будівель.
4. Особливості об'ємно-планувальних рішень сільськогосподарських будівель.
5. Конструктивні схеми будівель.
6. Конструктивні елементи будівель. Їх види і призначення.
7. Зовнішні і внутрішні стіни.
8. Перекриття. Призначення, характеристика, балочні і безбалочні перекириття.
9. Покрівля. Визначення, класифікація, матеріали.
10. Сходи і сходові клітки. Призначення, типи, характеристики.
11. Класифікація будівель і споруд.
12. Вимоги до будівель і споруд.
13. Роль будівельних конструкцій в забезпеченні протипожежного захисту будівель.
14. Металеві конструкції в сучасному будівництві, галузі їх застосування.
15. Металеві і дерев'яні каркаси.
16. Переваги і недоліки металевих конструкцій, вимоги до них.
17. Класифікація металевих конструкцій і умов їх експлуатації.
18. Метали і сплави для виготовлення металевих конструкцій, склад, властивості.
19. Вуглецеві сталі. Склад, позначення, механічні властивості, використання для будівельних конструкцій.
20. Леговані сталі. Склад, позначення, механічні властивості, використання для будівельних конструкцій.
21. Алюмінієві сплави для будівельних конструкцій. Склад, властивості, позначення.
22. Вплив різних факторів на властивості сталі (старіння, високі температури, середовище, корозія).
23. Робота сталі під навантаженням (види і механізм руйнування сталі).
24. Робота сталі при складно напруженому стані.
25. Робота сталі при нерівномірному розподілу напружень, концентрація напружень.
26. Робота сталі при повторних навантаженнях.
27. Характеристики сталевих виробів Сортамент.
28. З'єднання металевих конструкцій. Види, загальна характеристика.

29. Зварні з'єднання: класифікація способів зварювання плавленням, зварювальні матеріали, види зварних швів і з'єднань, робота і розрахунок зварних швів, поведінка при високих температурах.
30. Болтові з'єднання: загальна характеристика, робота і розрахунок, особливості поведінки при високих температурах.
31. Заклепочні з'єднання: загальна характеристика, робота і розрахунок, поведінка при високих температурах.
32. Зварювальність. Визначення, оцінювання за вуглецевим еквівалентом.
33. Сталі будівельні. Класифікація за ГОСТ 27772-88.
34. Агресивні середовища. Корозія, визначення, види, методи боротьби.
35. Граничні стани . Загальна характеристика граничних станів.
36. Навантаження і впливи.
37. Нормативні і розрахункові опори матеріалів.
38. Розрахунок будівельних конструкцій за методом граничних станів. Розгорнуті формули граничних станів.
39. Система коефіцієнтів, що використовується при розрахунках за граничними станами.
40. Фактори, що визначають поведінку будівельних конструкцій в умовах пожежі.
41. Сутність теплотехнічної і статичної частин розрахунку вогнестійкості.
42. Вогнестійкість. Граничні стани з вогнестійкості.
43. Межі вогнестійкості будівельних конструкцій.
44. Межі розповсюдження вогню по будівельним конструкціям.
45. Ступені вогнестійкості будівель і споруд.
46. Фактичний і вимагаємий ступінь вогнестійкості будівель.
47. Загальні принципи розрахунку вогнестійкості будівельних конструкцій.
48. Розрахункові схеми визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій.
49. Особливості роботи металевих конструкцій.
50. Фактори, що впливають на поведінку металевих конструкцій в умовах пожежі.
51. Несуча здатність конструкції в умовах пожежі.
52. Методика розрахунку вогнестійкості металевих конструкцій.
53. Методика досліджень конструкцій на вогнестійкість: мета, установки, температурний режим, умови навантаження і спирання конструкцій.
54. Пожежне навантаження. Види, визначення.
55. Листові конструкції: загальні відомості, особливості поведінки в умовах високих температур.
56. Висотні споруди: особливості, загальні характеристики, навантаження і впливи, конструктивні рішення, особливості поведінки в умовах пожежі.
57. Загальна характеристика балочних конструкцій.
58. Порядок компанування балочних конструкцій.
59. Граничні стани і розрахунок згинаємих елементів.

60. Прокатні, составні, бістальні і балки замкнутого перерізу.
61. Перевірка міцності і стійкості прокатних балок.
62. Перевірка жорсткості составних металевих балок.
63. Оцінка несучої спроможності прокатних балок.
64. Особливості роботи металевих балок в умовах пожежі.
65. Вогнезахист балочних конструкцій.
66. Розрахунок вогнестійкості металевих балок.
67. Металеві колони. Типи, загальна характеристика.
68. Центральні стиснуті колони. Види перерізів, перевірка загальної, місцевої стійкості та міцності.
69. Позацентрово-стиснуті колони. Види перерізів, перевірка загальної, місцевої стійкості та міцності.
70. Визначення гнучкості стержня колони.
71. Особливості роботи металевих колон в умовах пожежі.
72. Способи захисту металевих колон від нагрівання в умовах пожежі.
73. Типи металевих ферм. Класифікація.
74. Типи перерізів металевих ферм.
75. Кроквені ферми. Основні навантаження на кроквені ферми.
76. Компонування ферм.
77. Порядок розрахунку ферм.
78. Підбір перерізів стиснутих елементів ферм.
79. Підбір перерізів розтягнутих елементів ферм.
80. Покриття великих прогонів. Загальна характеристика.
81. Арки, рами та їх поведінка при високих температурах.
82. Структури, висячі покриття, та їх поведінка при високих температурах.
83. Листові конструкції та їх поведінка при високих температурах.
84. Матеріали вогнезахисту металевих конструкцій.
85. Конструктивні способи вогнезахисту металевих конструкцій.
86. Дерев'яні конструкції в будівництві.
87. Фактори, що визначають вогнестійкість дерев'яних конструкцій.
88. Оцінка вогнестійкості дерев'яних конструкцій.
89. Вогнезахист елементів дерев'яних конструкцій та їх вузлів.
90. Розрахунок межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій.

3. ЗАДАЧИ

91. Визначити групу сталі за міцністю, розшифрувати хімічний склад, визначити властивості сталі: 15ХСНД, ВСт3кп2.
92. Визначити групу сталі за міцністю, розшифрувати хімічний склад, визначити властивості сталі: ВСт3пс6, 15Г2С.
93. Визначити групу сталі за міцністю, розшифрувати хімічний склад, визначити властивості сталі: 30ХГСН2, Вст2кп2.
94. Визначити групу сталі за міцністю, розшифрувати хімічний склад, визначити властивості сталі: Вст3сп5, 0Х18Т1Ф2.
95. Дати характеристику сталі і умови її експлуатації: С245.
96. Дати характеристику сталі і умови її експлуатації: С345к.
97. Дати характеристику сталі і умови її експлуатації: С440.
98. Дати характеристику сталі і умови її експлуатації: С375Д.
99. Дати характеристику сталі і умови її експлуатації: С345Т.
100. Два листа із сталі С345 розміром 250 x 12 потрібно зварити в стик при розрахунковому розтягуючому зусиллі $N = 690$ кН. Визначити, яким чином потрібно виконати зварювання і вибрати потрібні зварювальні матеріали.
101. Розрахувати болтове з'єднання двох листів розміром 250 x 25мм і 250 x 20мм, яке працює на розтяг із зусиллям $N=1000$ кН. Клас міцності болтів брати 5.8. Матеріал листів сталь С235.
102. Розрахувати болтове з'єднання двох листів розміром 420 x 10мм з двома накладками, яке працює на центральний розтяг із зусиллям $N=1500$ кН. Клас міцності болтів брати 6.6. Матеріал листів сталь С275.
103. Розрахувати болтове з'єднання двох листів розміром 320 x 32мм і 320 x 40мм, яке працює на розтяг із зусиллям $N=1900$ кН. Клас міцності болтів брати 8.8. Матеріал листів сталь С390.
104. Розрахувати болтове з'єднання двох листів розміром 510 x 50мм з двома накладками товщиною 20мм, яке працює на центральний розтяг із зусиллям $N=2500$ кН. Клас міцності болтів брати 10.9. Матеріал листів сталь С440.
105. Перевірити несучу здатність сталеві вільно спертої балки перерізом 15×30см. Розрахунковий опір сталі $R = 210$ МПа, навантаження $q = 12$ кН/м (власна вага і вага перекриття), довжина $L = 5$ м.

106. Перевірити несучу здатність сталеві вільно спертої балки перерізом 20×40 см. Розрахунковий опір сталі $R = 235$ МПа, навантаження $q = 10$ кН/м (власна вага і вага перекриття), довжина $L = 6$ м.

107. Перевірити несучу здатність сталеві вільно спертої балки перерізом 25×40 см. Розрахунковий опір сталі $R = 240$ МПа, навантаження $q = 15$ кН/м (власна вага і вага перекриття), довжина $L = 7,5$ м.

108. Перевірити балку за другим граничним станом, тобто визначити прогин і порівняти з допустимим $[f] = 3$ см. Дана балка у вигляді двотавра № 36, момент інерції $I_x = 13380$ см⁴. Модуль пружності сталі $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа. $q = 12$ кН/м, $L = 5$ м.

109. Перевірити балку за другим граничним станом, тобто визначити прогин і порівняти з допустимим $[f] = 3$ см. Дана балка у вигляді двотавра № 24, момент інерції $I_x = 3460$ см⁴. Модуль пружності сталі $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа. $q = 8$ кН/м, $L = 6$ м.

110. Перевірити балку за другим граничним станом, тобто визначити прогин і порівняти з допустимим $[f] = 3$ см. Дана балка у вигляді двотавра № 45, момент інерції $I_x = 27696$ см⁴. Модуль пружності сталі $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа. $q = 18$ кН/м, $L = 12$ м.

111. Для вільно спертої балки підібрати двотавровий переріз з умови міцності і жорсткості, $R = 210$ МПа, $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $L = 7$ м, $q^n = 5000$ Н/м, $j_f = 1.2$, $q^p = q^n \cdot j_f = 5000 \cdot 1.2 = 6000$ Н/м, $[f] = 3$ см.

112. Для вільно спертої балки підібрати двотавровий переріз з умови міцності і жорсткості, $R = 230$ МПа, $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $L = 9$ м, $q^n = 8000$ Н/м, $j_f = 1.2$, $[f] = 3$ см.

113. Для вільно спертої балки підібрати двотавровий переріз з умови міцності і жорсткості, $R = 245$ МПа, $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $L = 12$ м, $q^n = 10000$ Н/м, $j_f = 1.2$, $[f] = 3$ см.

114. Для вільно спертої балки визначити необхідний момент опору W . Довжина $L = 5$ м. Навантаження $q = 10000$ Н/м. Опір сталі $R = 210$ МПа. Модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа.

115. Для вільно спертої балки визначити необхідний момент опору W . Довжина $L = 6$ м. Навантаження $q = 12000$ Н/м. Опір сталі $R = 235$ МПа. Модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа.

116. Для вільно спертої балки визначити необхідний момент опору W . Довжина $L = 12$ м. Навантаження $q = 8000$ Н/м. Опір сталі $R = 210$ МПа.

Модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа.

117. Для вільно спертої балки визначити необхідний момент інерції I . Довжина $L = 5$ м. Навантаження $q = 10000$ Н/м. Модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $[f] = 3$ см.

118. Для вільно спертої балки визначити необхідний момент інерції I . Довжина $L = 6$ м. Навантаження $q = 15000$ Н/м. Модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $[f] = 3$ см.

119. Для вільно спертої балки визначити необхідний момент інерції I . Довжина $L = 12$ м. Навантаження $q = 8000$ Н/м. Модуль пружності $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа, $[f] = 3$ см.

120. Визначити межу вогнестійкості згинаємої металевої балки при наступних даних : балка виготовлена із двотавра №36, розрахункова довжина балки $L = 6$ м, умови спирання - вільно сперта, розподілене навантаження $q = 15000$ Н/м, розрахунковий опір матеріалу балки $R = 245$ МПа, умови обігріву балки - обігрів з усіх сторін.

Користуючись дослідними графіками для металевої балки, збільшити вогнестійкість до 60 хвилин.

121. Визначити межу вогнестійкості згинаємої металевої балки при наступних даних : балка виготовлена із швелера №24, розрахункова довжина балки $L = 5,5$ м, умови спирання - вільно сперта, розподілене навантаження $q = 10000$ Н/м, розрахунковий опір матеріалу балки $R = 245$ МПа, умови обігріву балки - обігрів з усіх сторін.

122. Визначити межу вогнестійкості згинаємої металевої балки при наступних даних : балка виготовлена із двотавра №22, розрахункова довжина балки $L = 7,5$ м, умови спирання - вільно сперта, розподілене навантаження $q = 10000$ Н/м, розрахунковий опір матеріалу балки $R = 245$ МПа, умови обігріву балки - обігрів з усіх сторін.

123. Підібрати переріз суцільної звареної центрально-стиснутої колони двотаврового перерізу, навантаження на колону $N = 2200$ кН. Висота колони $l = 8$ м. Опір сталі $R = 210$ МПа. Гнучкість $[\lambda] = 80$. Для двотаврового перерізу : $\alpha_x = 0.42$, $\alpha_y = 0.24$.

124. Підібрати переріз колони висотою 7 м із шарнірним закріпленням кінців в обох площинбах. Матеріал конструкції: сталь С 235, розрахунковий опір $R_y = 24$ кН/см², розрахункове зусилля $N = 3500$ кН, коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

125. Підібрати переріз колони висотою 4,8м із шарнірним закріпленням кінців в обох площинах. Матеріал конструкції: сталь С 235, розрахунковий опір $R_y = 24 \text{ кН/см}^2$, розрахункове зусилля $N = 3500 \text{ кН}$, коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1$.

126. Визначити фактичну межу вогнестійкості колони, виготовленої із швелера №27. Сталь Ст3, навантаження на колону $N=1200\text{кН}$. Обігрів з трьох сторін. Подовжити вогнестійкість колони до 45 хвилин.

127. Визначити фактичну межу вогнестійкості стиснутої металевої колони по втраті міцності : переріз – труба $d = 18.9\text{см}$, товщина стінки $\delta = 5\text{мм} = 0.5\text{см}$, сталь ВСт3кп, $N = 400 \text{ кН}$, обігрів з чотирьох сторін. Подовжити вогнестійкість до 60 хвилин.

128. Визначити фактичну межу вогнестійкості колони, виготовленої із двотавра №36. Сталь Ст3, навантаження на колону $N=2400\text{кН}$. Обігрів з трьох сторін. Подовжити вогнестійкість колони до 45 хвилин.

129. Визначити фактичну межу вогнестійкості стиснутої металевої колони по втраті міцності : переріз – труба $d = 20.9\text{см}$, товщина стінки $\delta = 5\text{мм} = 0.5\text{см}$, сталь ВСт3кп, $N = 2400 \text{ кН}$, обігрів з чотирьох сторін. Подовжити вогнестійкість до 60 хвилин.

130. Потрібно підібрати переріз стиснутого верхнього пояса ферми із двох кутків. Розрахункове зусилля $N = 620 \text{ кН}$. Розрахункові довжини стержнів в площині ферми – $l_x = 3\text{м}$, поза площиною ферми $l_y = 6\text{м}$. Матеріал – сталь С245, $R_y=24\text{кН/см}^2$, $\gamma_c=0,95$ (стиснуті елементи стержньових конструкцій покриттів при розрахунках на стійкість , додатки); товщина фасонки – 12мм.

131. Потрібно підібрати переріз розтягнутого розкосу ферми за розрахунковим зусиллям $N = 335\text{кН}$; сталь С245; $R_y=24 \text{ кН/см}^2$; $\gamma_c=0,95$.

132. Потрібно підібрати переріз розтягнутого розкосу ферми за розрахунковим зусиллям $N = 200\text{кН}$; сталь С235; $R_y=24 \text{ кН/см}^2$; $\gamma_c=0,95$.

133. Потрібно підібрати переріз стиснутого верхнього пояса ферми із двох кутків. Розрахункове зусилля $N = 500 \text{ кН}$. Розрахункові довжини стержнів в площині ферми – $l_x = 3\text{м}$, поза площиною ферми $l_y = 6\text{м}$. Матеріал – сталь С225, $R_y=21 \text{ кН/см}^2$, $\gamma_c=0,95$ (стиснуті елементи стержньових конструкцій покриттів при розрахунках на стійкість , додатки); товщина фасонки – 12мм.

134. Визначити час до втрати несучої здатності дерев'яної балки при пожежі. Довжина балки $L=5\text{м}$; нормативне навантаження на балку $q=4000\text{ Н/м}$; швидкість обвуглювання деревини $v=0,7\text{ мм/хв}$; поперечний переріз балки $d \times h=15 \times 22\text{ см}$. Нормативний опір згину деревини $R_H=10\text{ МПа}$.

135. Визначити час до втрати несучої здатності дерев'яної стійки в умовах пожежі за міцністю. Нормативне повздовжнє зусилля, яке діє на стійку $N_H=90000\text{ Н}$; розміри перерізу стійки до пожежі $b \times h=12 \times 15\text{ см}$; площа поперечного перерізу $F=170\text{ см}^2$, нормативний опір деревини на стиск $R_H=25\text{ МПа}$; швидкість обвуглювання $v=0,9\text{ мм/хв}$.

136. Надати оцінку зварювальності сталі із використанням вуглецевого еквіваленту: 12Х18Н9.

137. Надати оцінку зварювальності сталі із використанням вуглецевого еквіваленту: 15Г2С1.

138. Надати оцінку зварювальності сталі із використанням вуглецевого еквіваленту: 30ХН2МФ.

139. Надати оцінку зварювальності сталі із використанням вуглецевого еквіваленту: 20ГС2

140. Надати оцінку зварювальності сталі із використанням вуглецевого еквіваленту: 15ХСНД

4. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Розшифрувати позначення і хімічний склад сплаву. Вказати механічні властивості, призначення, надати оцінку зварювальності (при потребі із використанням вуглецевого еквіваленту).

Приклад 1. Сталь С345Д.

Сталь будівельна, підвищеної міцності, $\sigma_y=30\dots34\text{кН/см}^2$. За хімічним складом являється низьковуглицевою низьколегованою. Отримують введенням при виплавці сталі легуючих домішок, переважно марганцю, кремнію, іноді нікелю і хрому. Сталь С345Д має підвищену корозійну стійкість, завдяки додаванню міді (Д).

Сталь має підвищений опір крихкому руйнуванню, завдяки дрібнозернистої структури.

Високе значення ударної в'язкості (39 Дж/см^2) при низьких температурах (-40°C і нижче), дає можливість використовувати ці сталі для виготовлення конструкцій, що експлуатуються в північних районах.

При зварюванні сталь може утворювати гарячі тріщини, тому потрібно впроваджувати спеціальні технологічні заходи для запобігання цьому.

Приклад 2. ВСтЗпсб.

Сталь вуглецева, звичайної якості, напівспокійна, із гарантованими в межах величин, встановлених стандартом для цієї сталі, механічними характеристиками, хімічним складом і ударної в'язкості після механічного старіння. Відноситься до сталей звичайної міцності. Відповідає сталі С245.

$\sigma_y \leq 29\text{кН/см}^2$. За хімічним складом – низьковуглицева. Сталь дуже пластична: $\sigma_y/\sigma_u \gg 0,6..0,7$. Корозійна стійкість – середня, тому конструкції, виготовлені із такої сталі потребують захисту.

Сталь має гарну зварювальність, завдяки малому вмісту вуглецю (до 22%) і кремнію.

Завдяки невеликої вартості і гарним технологічним властивостям широко використовуються для виготовлення будівельних конструкцій.

Недоліком цих сталей являється схильність до крихкого руйнування при низьких температурах. Тому їх використання для конструкцій, що працюють при низьких температурах, обмежено.

Приклад 3. Сталь 12Х7.

Хроміста сталь 12Х7 відноситься до спеціальних легуваних сталей. Сталь являється корозійностійкою, завдяки легуванню хромом. Хімічний склад: вміст вуглецю – 0,12%, вміст хрому – 7%.

Хромісті сталі найдешевші, але за корозійною стійкістю поступаються хромонікелевим. Сталь 12Х7 стійка у кислотних середовищах, але не придатна для використання при зварюванні, оскільки при нагріванні під час

зварювання вище за 900...950°C і швидкому охолодженні виникає дуже небезпечна корозія – міжкристалична (границі зерен сталі збіднюються хромом). Для запобігання цьому явищу потрібно легування сталі титаном.

Приклад 4. Сталь 15ХСНД.

Сталь 15ХСНД. Сталь низьковуглицева низьколегована. Хімічний склад: вміст вуглецю – 0,15%, вміст хрому (Х) – до 1%, вміст кремнію (С) – до 1%, вміст нікелю (Н) – до 1%, вміст міді (Д) – до 1%.

Оскільки до складу сталі входить мідь, сталь має підвищену корозійну стійкість. Цю сталь можна використовувати для виготовлення будівельних конструкцій, працюючих у середньо агресивних середовищах.

Визначаємо зварювальність сталі 15ХСНД за допомогою вуглецевого еквівалента(%):

$$C_e = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + Ni/40 + Cu/13 + V/14 + P/2,$$

Де С, Мн, Si, Cr, Ni, Cu, V, P – масові долі вуглецю, марганцю, кремнію, хрому, нікелю, міді, ванадію і фосфору, %.

Для сталі 15ХСНД вуглецевий еквівалент має значення:

$$C_e = 0,15 + 0/24 + 1/24 + 1/5 + 1/40 + 1/13 + 0/14 + 0/2 = \\ = 0,15 + 0 + 0,04 + 0,2 + 0,025 + 0,077 + 0 + 0 = 0,492$$

За розрахунком вуглецевий еквівалент $C_e = 0,492$. Це означає, що зварювання таких сталей можливе, але потребує використання спеціальних технологічних заходів для попередження з'явлення тріщин.

Приклад 5. Два листа зі сталі С345, перерізом 250x12мм, потрібно зварити встик. Розрахункове розтягуюче зусилля, що діє на зварний шов $N = 690 \text{ кН}$. Визначити, яким чином повинно бути виконано зварювання, підібрати потрібні зварювальні матеріали.

Розв'язання.

Оскільки зварний шов короткий, краще його виконати ручним, або напівавтоматичним зварюванням в середовищі CO_2 .

Листовий прокат зі сталі С345 завтовшки $t = 12 \text{ мм}$ має розрахунковий опір $R_y = 31,5 \text{ кН/см}^2$ (додатки [2]).

Зварний шов виконується із повним проваром без використання фізичних методів контролю якості шва. Тому розрахунковий опір зварного стикового шва приймаємо $R_{wy} = 0,85 R_y = 0,85 \times 31,5 = 26,8 \text{ кН/см}^2$.

Перевіряємо міцність зварного стикового шва за формулою

$$N / (t l_{wy} R_{wy} \gamma_c) \leq 1,$$

де N - зовнішнє зусилля, прикладене до з'єднання;

t – розрахункова товщина шва, що дорівнює товщині найбільш тонкого із з'єднувальних елементів;

l_{wy} – розрахункова довжина зварного шва;

R_{wy} - розрахунковий опір зварного шва;

γ_c – коефіцієнт умов роботи.
 підставляємо значення отримуємо
 $\delta_w = 25,4 \text{ кН./см}^2$

Відношення $\frac{\delta_w}{R_{wy}} < 1: \frac{25.4}{26.8} \leq 1$ виконується

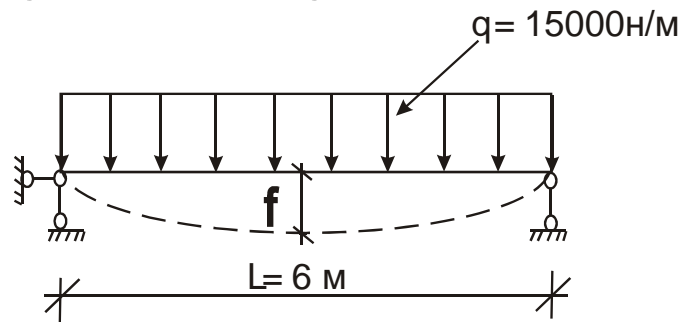
Міцність шву буде забезпечена, якщо ручне дугове зварювання виконується електродом типу Э50.

Приклад 6. Визначити межу вогнестійкості згинаємої металевої балки при наступних даних : балка виготовлена із двутавра №36, розрахункова довжина балки $L = 6\text{ м}$, умови спирання - вільносперта, розподілене навантаження $q = 15000 \text{ Н/м}$, розрахунковий опір матеріалу балки $R = 245 \text{ МПа}$, умови обігріву балки - обігрів з усіх сторін.

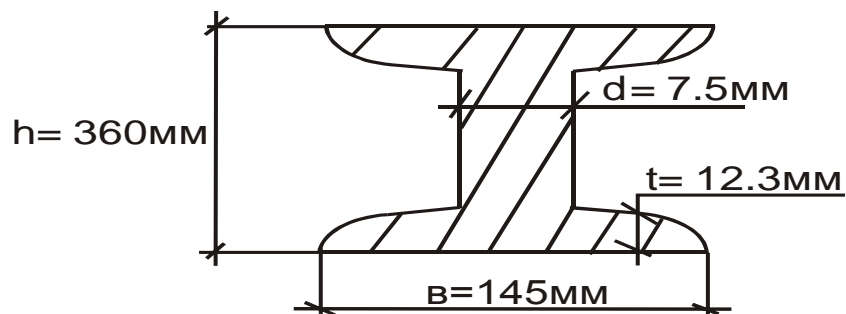
Розв'язок:

1) Визначаємо згинаючий момент :

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{15000 \text{ Н/м} * (6\text{ м})^2}{8} = 67500 \text{ Н} * \text{ м}$$



2) По сортаменту визначаємо геометричні характеристики двутавра №36 :



$A = 6190 \text{ мм}^2 = 61.9 \text{ см}^2$ (площа перерізу)

$W = 7.43 * 10^{-4} \text{ м}^3 = 743 \text{ см}^3$ (опір перерізу)

Периметр : $U = 2h + 4b - 2d = 2 * 360 + 4 * 145 - 2 * 7.5 = 1265 \text{ мм} = 126.5 \text{ см}$

Приведена товщина металу :

$$t_{red} = \frac{A}{U} = \frac{61.9 \text{ см}^2}{126.5 \text{ см}} = 0.48 \text{ см} = 4.8 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

3) Визначаємо ступінь завантаження балки:

$$j_{tem} = \frac{M}{WR} = \frac{67500H * m}{7.43 * 10^{-4} m^3 * 245 * 10^6 H / m^2} = 0.37 = (0.37\%)$$

4) Визначаємо критичну температуру руйнування конструкції :

$$\begin{aligned} j_{tem} < 0.6 & \quad t_{cr} = 750 - 440 j_{tem} \\ j_{tem} \geq 0.6 & \quad t_{cr} = 1330 (1 - j_{tem}) \\ t_{cr} & = 750 - 440 * 0.37 = 578 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

5) Визначаємо межу вогнестійкості балки за графіком (додаток 2) залежно від критичної температури і приведеної товщини металу :
Межа вогнестійкості = 15 хвилин.

Приклад 7. Визначити фактичну межу вогнестійкості стиснутої металеві колони по втраті міцності : переріз – труба $d = 18.9\text{см}$, товщина стінки $\delta = 5\text{мм} = 0.5\text{см}$, сталь ВСт3кп, $N = 400\text{кН}$, обігрів з чотирьох сторін.

1) Визначаємо периметр, площу перетину і приведену товщину металу:

$$A = A_1 - A_2 = \frac{\pi d_1^2}{4} - \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi}{4} * (d_1^2 - d_2^2) = \frac{3.14}{4} * (18.9^2 - 17.9^2) = 28.89\text{см}^2$$

$$P = 2\pi R_1 = \pi d_1 = 3.14 * 18.9\text{см} = 59.35\text{см}$$

$$t_{red} = \frac{A}{P} = \frac{28.89\text{см}^2}{59.35\text{см}} = 4.9\text{мм} \approx 5\text{мм}$$

2) Для сталі ВСт3кп , згідно СНП ІІ-23-81* “Стальные конструкции” знаходимо опір сталі : $R = 225\text{МПа}$ (ВСт3кп, $\delta = 0.5\text{см}$).

3) Знаходимо коефіцієнт завантаження :

$$j = \frac{N}{AR} = \frac{400\text{кН}}{28.89\text{см}^2 * 225\text{МПа}} = \frac{400 * 10^3\text{Н}}{28.89 * 10^{-4}\text{м}^2 * 225 * 10^6\text{Н} / \text{м}^2} = 0.62.$$

4) Залежно від коефіцієнта завантаження знаходимо t_{cr} :

$$j \geq 0.6, t_{cr} = 1330 * (1 - j) = 1330 * (1 - 0.62) = 505.4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

5) По графіку додатка 2 знаходимо фактичну межу вогнестійкості :

$$P_{\phi} = 9 \text{ хв.}$$

Приклад 8. Потрібно підібрати переріз стиснутого верхнього пояса ферми із двох кутків. Розрахункове зусилля $N = 840\text{кН}$. Розрахункові довжини стержнів в площині ферми – $l_x = 3\text{м}$, поза площиною ферми $l_y = 6\text{м}$. Матеріал – сталь С245, $R_y = 24\text{кН/см}^2$, $\gamma_c = 0.95$ (стиснуті елементи стержньових конструкцій покриттів при розрахунках на стійкість , додатки [2]); товщина фасонки – 12мм.

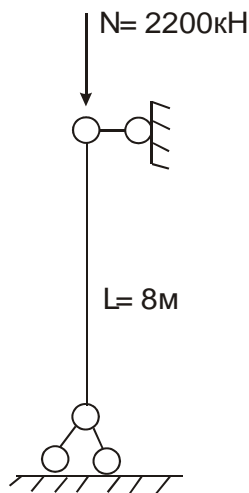
Розв'язання.

- 1) Оскільки $i_y = 2i_x$, приймаємо переріз із двох нерівнополочних кутників, розташованих вузькими полками разом.
- 2) Задаємось гнучкістю для поясів $\lambda = 80$, відповідно $\varphi = 0,686$; $A_{тр} = N / (\varphi R_y \gamma_c) = 840 / (0,686 * 24 * 0,95) = 53,7 \text{ см}^2$
- 3) Приймаємо переріз із двох кутників $180 \times 110 \times 10$, $A = 28,3 * 2 = 56,6 \text{ см}^2$; $i_x = 3,12 \text{ см}$, $i_y = 8,7 \text{ см}$
- 4) Визначаємо дійсні гнучкості: $\lambda_x = 300 / 3,12 = 96$, $\lambda_y = 600 / 8,7 = 69$, $\varphi_{\min} = 0,57$;
 $N / (\varphi A R_y \gamma_c) = 840 / (0,57 * 56,6 * 24 * 0,95) = 1,14 > 1$.
Переріз підібрано невдало.
- 5) Приймаємо гнучкість $\lambda = 90$, $\varphi = 0,612$, $A_{тр} = 840 / (0,612 * 24 * 0,95) = 60 \text{ см}^2$.
- 6) Приймаємо два кутники $180 \times 110 \times 12$; $A = 33,7 * 2 = 67,4 \text{ см}^2$, $i_x = 3,1 \text{ см}$, $i_y = 8,75 \text{ см}$, $\lambda_x = 300 / 3,1 = 97$, $\varphi = 0,563$;
 $N / (\varphi A R_y \gamma_c) = 840 / (0,563 * 24 * 67,4 * 0,95) = 0,97 < 1$; $\lambda = 97 < [\lambda] = 120$

Переріз із двох кутників $180 \times 110 \times 12$ прийнято.

Приклад 9. Підібрати переріз суцільної звареної колони двотаврового перерізу, навантаженого силою $N = 2200 \text{ кН}$. Висота колони $l = 8 \text{ м}$. Опір сталі $R = 210 \text{ МПа}$. Гнучкість $[\lambda] = 80$. Для двотаврового перерізу: $\alpha_x = 0,42$, $\alpha_y = 0,24$.

- 1) Визначаємо орієнтовно необхідну площу перерізу :



$$F_{\text{необх}} = \frac{N}{\varphi R} = \frac{N}{(0,7 \dots 0,9) R} = \frac{N}{0,8 R} = \frac{2200 * 10^3 \text{ Н}}{0,8 * 210 * 10^6 \text{ Н / м}^2} = 0,0131 \text{ м}^2 = 131 \text{ см}^2$$

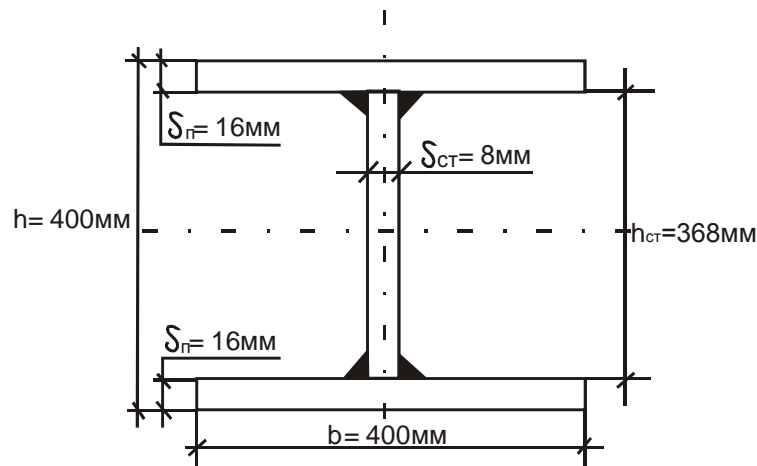
2) Визначаємо розрахункову довжину колони в двох напрямках : $l = \mu \cdot l_0$,
 $\mu = 1$, $l_x = 1.8\text{м} = 800\text{см}$; $l_y = 1.8\text{м} = 800\text{см}$.

3) Знайдемо найменші розміри перерізу h і b :

$$h \geq \frac{l_x}{\alpha_x[\lambda]} = \frac{800\text{см}}{0.42 \cdot 80} = 24\text{см}$$

$$b \geq \frac{l_y}{\alpha_y[\lambda]} = \frac{800\text{см}}{0.24 \cdot 80} = 42\text{см}$$

Компонуємо переріз так, щоб $h = b = 40\text{см}$; $\delta_{\text{ст}} = 6 \dots 14\text{мм}$, $\delta_{\text{п}} = 8 \dots 40\text{мм}$.



Пояси – 2 листи 400×16 , площа 128 см^2 .

Стінка – 1 лист 36.8×0.8 , площа – 29.4 см^2 .

Загальна площа – 157.4 см^2

4) Знаходимо геометричні характеристики перерізу :

$$I_x = \frac{\delta_{\text{cm}} h_{\text{cm}}^3}{12} + 2F_n \cdot \left(\frac{h_{\text{cm}}}{2} + \frac{\delta_n}{2}\right)^2 = \frac{0.8\text{см}^2 \cdot 36.8\text{см}^3}{12} + 2 \cdot 401.6 \cdot \left(\frac{36.8}{2} + \frac{1.6}{2}\right)^2 \text{см}^2 =$$

$$= 50508 \text{ см}^4$$

$$I_y = 2 \frac{\delta_n b_n^3}{12} = 2 \cdot \frac{1.6\text{см} \cdot 40^3 \text{см}^3}{12} = 17067 \text{ см}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}} = \sqrt{\frac{50508 \text{ см}^4}{157.4 \text{ см}^2}} = 17.9 \text{ см}$$

$$r_y = \frac{I_y}{F} = \sqrt{\frac{17067 \text{ см}^4}{157.4 \text{ см}^2}} = 10.4 \text{ см}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{800\text{см}}{17.9\text{см}} = 44.7$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{r_y} = \frac{800\text{см}}{10.4\text{см}} = 77$$

3) По більшій із гнучкостей знаходимо коефіцієнт повздовжнього згину $\varphi = 0.69$ і перевіряємо стійкість стержня :

$$\sigma = \frac{N}{\varphi F} \leq R$$

$$\sigma = \frac{2200 \cdot 10^3 \text{ Н}}{0.69 \cdot 157.4 \text{ см}^2} = 20257 \text{ Н / см}^2 = 202.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 202,5 \text{ МПа} < R = 210 \text{ МПа}$$

Стійкість стержня забезпечена.

Приклад 10. Визначити час до втрати несучої здатності дерев'яної стійки в умовах пожежі за міцністю. Нормативне повздовжнє зусилля, яке діє на стійку $N_H = 140000 \text{ Н}$; розміри перерізу стійки до пожежі $b \times h = 15 \times 18 \text{ мм}$; площа поперечного перерізу $F = 270 \text{ см}^2$, нормативний опір деревини на стиск $R_H = 25 \text{ МПа}$; швидкість обвуглювання $v = 0,7 \text{ мм/хв}$.

Розв'язання.

1) Задаємось різними моментами часу горіння деревини під час пожежі: $\tau = 15, 30, 45, 60$ хвилин. Визначаємо для цих моментів часу нові, із врахуванням обвуглювання, розміри і площу перерізу.

2) Визначаємо напруження від нормативного навантаження в перерізі стійки в задані моменти часу дії пожежі. Результати обчислень заносимо до таблиці.

| τ , мин | $h_\tau = h - 2v\tau$, см | $b_\tau = b - 2v\tau$, см | $F(\tau) = b_\tau \times h_\tau$, см ² | $\delta(\tau) = N_H / F_\tau$, МПа |
|--------------|----------------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|
| 0 | 18 | 15 | 270 | 5,18 |
| 15 | 15,9 | 12,9 | 205 | 6,84 |
| 30 | 13,8 | 10,8 | 149 | 9,43 |
| 45 | 11,7 | 8,7 | 113 | 12,4 |
| 60 | 9,6 | 6,6 | 63,5 | 22 |
| 80 | 6,8 | 3,8 | 25,9 | 54,2 |

3) Будуємо графік зміни напруження $\delta(\tau)$ стискання в матеріалі даної стійки по мірі зменшення її робочого перерізу при пожежі. По вісі абсцис відкладаємо час від початку пожежі, по вісі ординат відкладаємо напруження стискання відповідно до часу від початку пожежі.

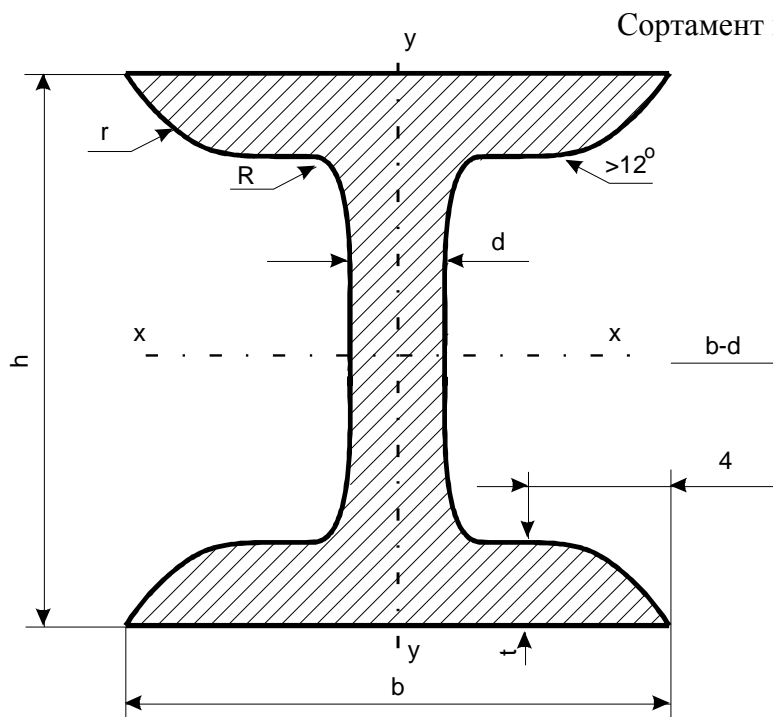
4) Потім на вісі ординат відмічаємо значення нормативного опору деревини R_H . Точка перетинання горизонталі R із кривою $\delta(\tau)$ дає на вісі абсцис потрібне значення часу втрати стійкою своєї несучої здатності при пожежі.

5. ЛІТЕРАТУРА.

1. Кодекс цивільного захисту України.
2. Металлические конструкции / Под ред. Белени Е.И. – М.: Стройиздат, 1986;
3. Металлические конструкции. Элементы конструкций т.1/ Под ред. В.В. Горева. – М.: Высшая школа, 2004;
4. А.А. Васильев «Металлические конструкции». – М.: Стройиздат, 1979;
5. В.Н. Демехин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре».- М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2003;
6. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. «Огнезащита строительных конструкций». – М.: Стройиздат, 1991;
7. ДБН В.1.2-14:2008 «Система надійності та безпеки в будівництві. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ».
8. ДБН В.2.6-163:2010 «Конструкції будинків і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу».
9. ДБН В.2.6-161:2010 «Дерев'яні конструкції. Основні положення».
10. ДБН В.1.2-2-2006 «Система надійності та безпеки в будівництві. Навантаження і впливи».

6. ДОДАТКИ.

Додаток 1.



Балки двотаврові (за ГОСТ 8239-72)

Позначення:

h – висота балки;

J – момент інерції;

b – ширина полиці;

W – момент опору;

d – товщина стінки;

i – радіус інерції;

t – середня товщина полиці;

S – статичний момент пів перерізу.

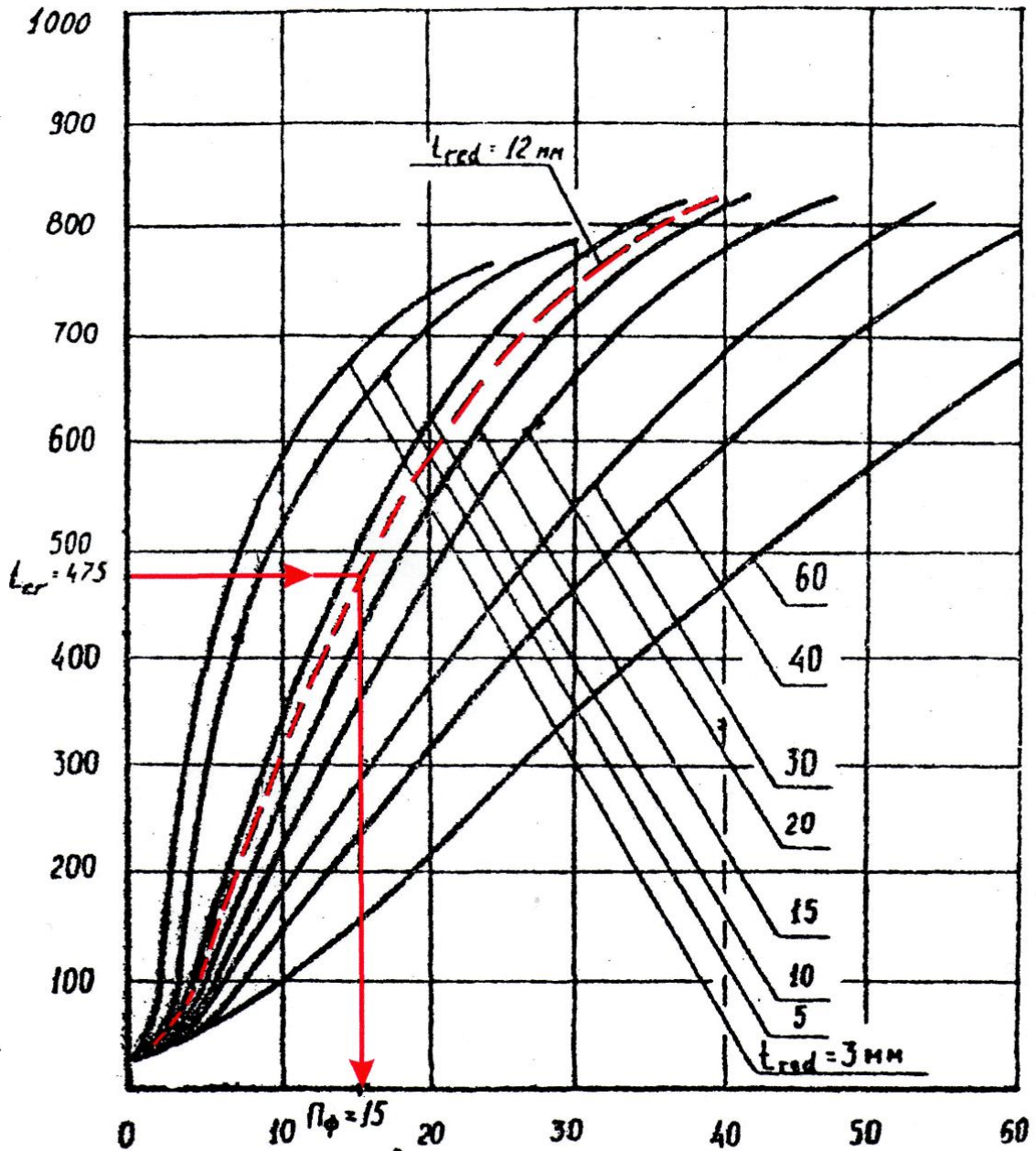
Таблиця 1

| Номер профілю | Розміри, мм | | | | Площа переізу, см^2 | $J_x, \text{см}^4$ | $W_x, \text{см}^3$ | $i_x, \text{см}$ | $S_x, \text{см}^3$ | $J_y, \text{см}^4$ | $W_y, \text{см}^3$ | $i_y, \text{см}$ | Маса $l_m, \text{кг}$ |
|---------------|-------------|-----|-----|------|------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| | h | b | d | t | | | | | | | | | |
| 10 | 100 | 55 | 4.5 | 7.2 | 12 | 198 | 39.7 | 4.06 | 23.0 | 17.9 | 6.49 | 1.22 | 9.46 |
| 12 | 120 | 64 | 4.8 | 7.3 | 14.7 | 350 | 58.4 | 4.88 | 33.7 | 27.9 | 8.72 | 1.38 | 11.5 |
| 14 | 140 | 73 | 4.9 | 7.5 | 17.4 | 572 | 81.7 | 5.73 | 46.8 | 41.9 | 11.5 | 1.55 | 13.7 |
| 16 | 160 | 81 | 5 | 7.8 | 20.2 | 873 | 109 | 6.57 | 62.3 | 58.6 | 14.5 | 1.7 | 15.9 |
| 18 | 180 | 90 | 5.1 | 8.1 | 23.4 | 1290 | 143 | 7.42 | 81.4 | 82.6 | 18.4 | 1.88 | 18.4 |
| 18a | 180 | 100 | 5.1 | 8.3 | 25.4 | 1430 | 159 | 7.51 | 89.8 | 114 | 22.8 | 2.12 | 19.9 |
| 20 | 200 | 100 | 5.2 | 8.4 | 26.8 | 1840 | 184 | 8.28 | 104 | 115 | 23.1 | 2.07 | 21 |
| 20a | 200 | 110 | 5.2 | 8.6 | 28.9 | 2030 | 203 | 8.37 | 114 | 155 | 28.2 | 2.32 | 22.7 |
| 22 | 220 | 110 | 5.4 | 8.7 | 30.6 | 2550 | 232 | 9.13 | 131 | 157 | 28.6 | 2.27 | 24 |
| 22a | 220 | 120 | 5.4 | 8.9 | 32.8 | 2790 | 254 | 9.22 | 143 | 206 | 34.3 | 2.5 | 25.8 |
| 24 | 240 | 115 | 5.6 | 9.5 | 34.8 | 3460 | 289 | 9.97 | 163 | 198 | 34.5 | 2.37 | 27.3 |
| 24a | 240 | 125 | 5.6 | 9.8 | 37.5 | 3800 | 317 | 10.1 | 178 | 260 | 41.6 | 2.63 | 29.4 |
| 27 | 270 | 125 | 6 | 9.8 | 40.2 | 5010 | 371 | 11.2 | 210 | 260 | 41.5 | 2.54 | 31.5 |
| 27a | 270 | 135 | 6 | 10.2 | 43.2 | 5500 | 407 | 11.3 | 229 | 337 | 50 | 2.80 | 33.9 |
| 30 | 300 | 135 | 6.5 | 10.2 | 46.5 | 7080 | 472 | 12.3 | 268 | 337 | 49.9 | 2.69 | 36.5 |
| 30a | 300 | 145 | 6.5 | 10.7 | 49.9 | 7780 | 518 | 12.5 | 292 | 436 | 60.1 | 2.95 | 39.2 |
| 33 | 330 | 140 | 7 | 11.2 | 53.8 | 9840 | 597 | 13.5 | 339 | 419 | 59.9 | 2.79 | 42.2 |
| 36 | 360 | 145 | 7.5 | 12.3 | 61.9 | 13380 | 743 | 14.7 | 423 | 516 | 71.1 | 2.89 | 48.6 |
| 40 | 400 | 155 | 8.3 | 13 | 72.6 | 19062 | 953 | 16.2 | 545 | 667 | 86.1 | 3.03 | 57 |
| 45 | 450 | 160 | 9 | 14.2 | 84.7 | 27696 | 1231 | 18.1 | 708 | 808 | 101 | 3.09 | 66.5 |
| 50 | 500 | 170 | 10 | 15.2 | 100 | 39727 | 1589 | 19.9 | 919 | 1043 | 123 | 3.23 | 78.5 |
| 55 | 550 | 180 | 11 | 16.5 | 118 | 55962 | 2035 | 21.8 | 1181 | 1356 | 151 | 3.39 | 92.6 |
| 60 | 600 | 190 | 12 | 17.8 | 138 | 76806 | 2560 | 23.6 | 1491 | 1725 | 182 | 3.54 | 108 |

Приложение

График зависимости температуры незащищенных металлических пластин от времени прогрева и приведенной толщины металла

$t, ^\circ\text{C}$



Обозначение: t_{red} - приведенная толщина сечения.
 Пример определения предела огнестойкости элемента ($t_\phi = 15$ мин) при значениях $t_{red} = 12$ мм и $t_{cr} = 475^\circ\text{C}$

| Швелери [№ 5 – № 40 | Площа попереч- ного перерізу, см ² | Периметр | tred = A/u |
|----------------------------|---|--|---------------------------|
| [№ 5 | A = 6,16 | $u = 2 \times 50 + 4 \times 32 - 2 \times 4,4 = 219,2 \text{ мм}$ | tred = 2,81 мм |
| [№ 6,5 | A = 7,51 | $u = 2 \times 65 + 4 \times 36 - 2 \times 4,4 = 265,2 \text{ мм}$ | tred = 2,832 мм |
| [№ 8 | A = 8,98 | $u = 2 \times 80 + 4 \times 40 - 2 \times 4,5 = 311 \text{ мм}$ | tred = 2,89 мм |
| [№ 10 | A = 10,9 | $u = 2 \times 100 + 4 \times 46 - 2 \times 4,5 = 375 \text{ мм}$ | tred = 2,91 мм |
| [№ 12 | A = 13,3 | $u = 2 \times 120 + 4 \times 52 - 2 \times 4,8 = 438,4 \text{ мм}$ | tred = 3,034 мм |
| [№ 14/14a | A = 15,6 | $u = 2 \times 140 + 4 \times 58 - 2 \times 4,9 = 502,2 \text{ мм}$ | tred = 3,11/ 3,28 мм |
| [№ 16/16a | A = 18,1 | $u = 2 \times 160 + 4 \times 64 - 2 \times 5,0 = 566 \text{ мм}$ | tred = 3,198/ 3,351 мм |
| [№ 18/18a | A = 20,7 | $u = 2 \times 180 + 4 \times 70 - 2 \times 5,1 = 629,8 \text{ мм}$ | tred = 3,29/ 3,44 мм |
| [№ 20/20a | A = 23,4 | $u = 2 \times 200 + 4 \times 76 - 2 \times 5,2 = 683,4 \text{ мм}$ | tred = 3,424/ 3,55 мм |
| [№ 22/22a | A = 26,7 | $u = 2 \times 220 + 4 \times 80 - 2 \times 5,4 = 749,2 \text{ мм}$ | tred = 3,564/ 3,71 мм |
| [№ 24/24a | A = 30,6 | $u = 2 \times 240 + 4 \times 90 - 2 \times 5,6 = 828,8 \text{ мм}$ | tred = 3,692/ 3,88 мм |
| [№ 27 | A = 35,2 | $u = 2 \times 270 + 4 \times 95 - 2 \times 6,0 = 908 \text{ мм}$ | tred = 3,877 мм |
| [№ 30 | A = 40,5 | $u = 2 \times 300 + 4 \times 100 - 2 \times 6,5 = 987 \text{ мм}$ | tred = 4,1 мм |
| [№ 33 | A = 46,5 | $u = 2 \times 330 + 4 \times 105 - 2 \times 7,0 = 1066 \text{ мм}$ | tred = 4,36 мм |
| [№ 36 | A = 53,4 | $u = 2 \times 360 + 4 \times 110 - 2 \times 7,5 = 1145 \text{ мм}$ | tred = 4,664 мм |
| [№ 40 | A = 61,5 | $u = 2 \times 400 + 4 \times 115 - 2 \times 8,0 = 1244 \text{ мм}$ | tred = 4,94 мм |

Додаток 4.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1, 90 91,140 | 2, 89 92, 139 | 3, 88 93, 138 | 4, 87 94, 137 | 5, 86 95, 136 | 6, 85 96, 135 | 7, 84 97, 134 | 8, 83 98, 133 | 9, 82 99, 132 | 10, 81 100, 126 |
| 2 | 11, 80 101,140 | 12, 79 102, 139 | 13, 78 103, 138 | 14, 77 104, 137 | 15, 76 105, 136 | 16, 75 106, 127 | 17, 74 107, 126 | 18, 73 108, 128 | 19, 72 109, 129 | 20, 71 110, 130 |
| 3 | 21, 70 111, 121 | 22, 69 112, 122 | 23, 68 113, 123 | 24, 67 114, 129 | 25, 66 115, 128 | 26, 65 116, 127 | 27, 64 117, 126 | 28, 63 91, 118 | 29, 62 92, 119 | 30, 61 93, 120 |
| 4 | 31, 60 121,91 | 32, 59 122, 92 | 33, 58 93, 123 | 34, 57 94, 124 | 35, 56 95, 125 | 36, 55 96, 126 | 37, 54 127, 97 | 38, 53 128, 98 | 39, 52 99, 129 | 40, 51 130, 140 |
| 5 | 41, 50 131,134 | 42, 49 132, 135 | 43, 48 96, 133 | 6, 44 97, 134 | 5, 45 98, 135 | 4, 46 122, 136 | 3, 47 121, 137 | 2, 48 120, 138 | 1, 49 127, 139 | 11, 50 140, 128 |
| 6 | 51, 7 91, 106 | 5, 52 92, 107 | 4, 53 93, 108 | 3, 54 94, 109 | 2, 55 95, 110 | 1, 56 96,111 | 10, 57 97, 112 | 9, 58 98, 113 | 8, 59 99, 114 | 7, 60 100, 115 |
| 7 | 61, 17 101, 140 | 16, 62 102, 139 | 15, 63 103, 138 | 14, 64 104, 137 | 13, 65 105, 136 | 12, 66 106, 134 | 11, 67 107, 135 | 10, 68 108, 121 | 9, 69 109, 122 | 8, 70 110, 120 |
| 8 | 71, 27 111, 91 | 26, 72 112, 92 | 25, 73 93, 113 | 24, 74 94, 114 | 23, 75 95, 115 | 22, 76 96,116 | 21, 77 97, 117 | 20, 78 98, 118 | 19, 79 99, 119 | 18, 80 91, 120 |
| 9 | 81, 37 121, 101 | 36, 82 122, 102 | 35, 83 103, 123 | 34, 84 104, 124 | 33, 85 105, 125 | 32, 86 106, 126 | 31, 87 107, 127 | 30, 88 108, 128 | 29, 89 109, 129 | 28, 90 110, 130 |
| 0 | 1, 47 131, 91 | 2, 46 92, 132 | 3, 45 93, 133 | 4, 44 94, 134 | 5, 43 95, 135 | 6, 42 96, 136 | 7, 41 97,137 | 8, 40 98, 138 | 9, 39 99, 139 | 10, 38 100, 140 |