



Розрахунок критичних температур сталевих конструкцій у ПК ЛІРА-САПР



Башинська Ольга Юріївна

кандидат технічних наук, розробник ПК ЛІРА-САПР



Структура доповіді:

1. Вступ. Мета розрахунку на вогнестійкість.
2. Критична температура. Що це?
3. Автоматизація розрахунку критичної температури завдяки ПК ЛІРА САПР .
4. Вирішення задачі теплопровідності у ПК ЛІРА САПР.
5. Висновки.

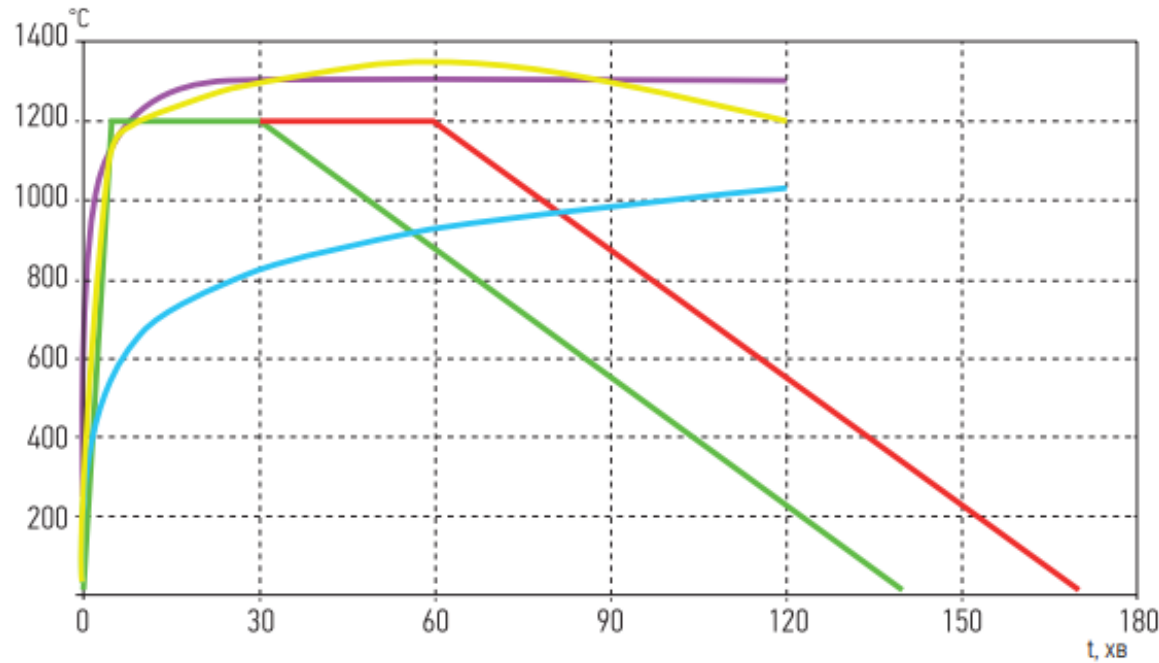




Розрахункова межа вогнестійкості

$$t_{designed} \geq t_{required}$$

Необхідна межа вогнестійкості



- кривая стандартного пожара
- кривая RABT ZTV (для автомобильных тоннелей)
- кривая RABT ZTV (для железнодорожных тоннелей)
- кривая углеводородного пожара (НС)
- кривая модифицированного углеводородного пожара (НС)
- кривая RWS (имитирует горение 50 м³ бензовоза в тоннелях)

Рисунок 1. Стандартні графіки зміни температури при пожежі

Таблиця 1 – Ступінь вогнестійкості будинку та класи вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні значення класів вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні значення груп поширення вогню по них								
	Стіни				Колони	Сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	Перекрыття міжповерхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	Елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні ненесучі	внутрішні ненесучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
I	REI 150 M0	REI 90 M0	E 30 M0	EI 30 M0	R 150 M0	R 60 M0	REI 60 M0	RE 30 M0	R 30 M0
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15, M0 E 30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E 15 M1	EI 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M0	RE 15 M1	R 15 M0
IIIб	REI 60 M1	REI 30 M1	E 15, M0 E 30, M1	EI 15 M1	R 60 M1	R 45 M0	REI 45 M1	RE 15, M0 RE 30, M1	R 45 M1
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M1	EI 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормуються	
IVa	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M2	EI 15 M1	R 15 M0	R 15 M0	REI 15 M0	RE 15 M2	R 15 M0
V	Не нормуються								

Примітка 1. Класи вогнестійкості будівельних конструкцій визначають залежно від нормованих граничних станів та межі вогнестійкості відповідно до ДБН В.1.2-7, ДСТУ Б В.1.1-4, визначених у додатку Г.

Примітка 2. Клас вогнестійкості самонесучих стін, які враховуються у розрахунках жорсткості та стійкості будинку, приймають як для несучих стін.

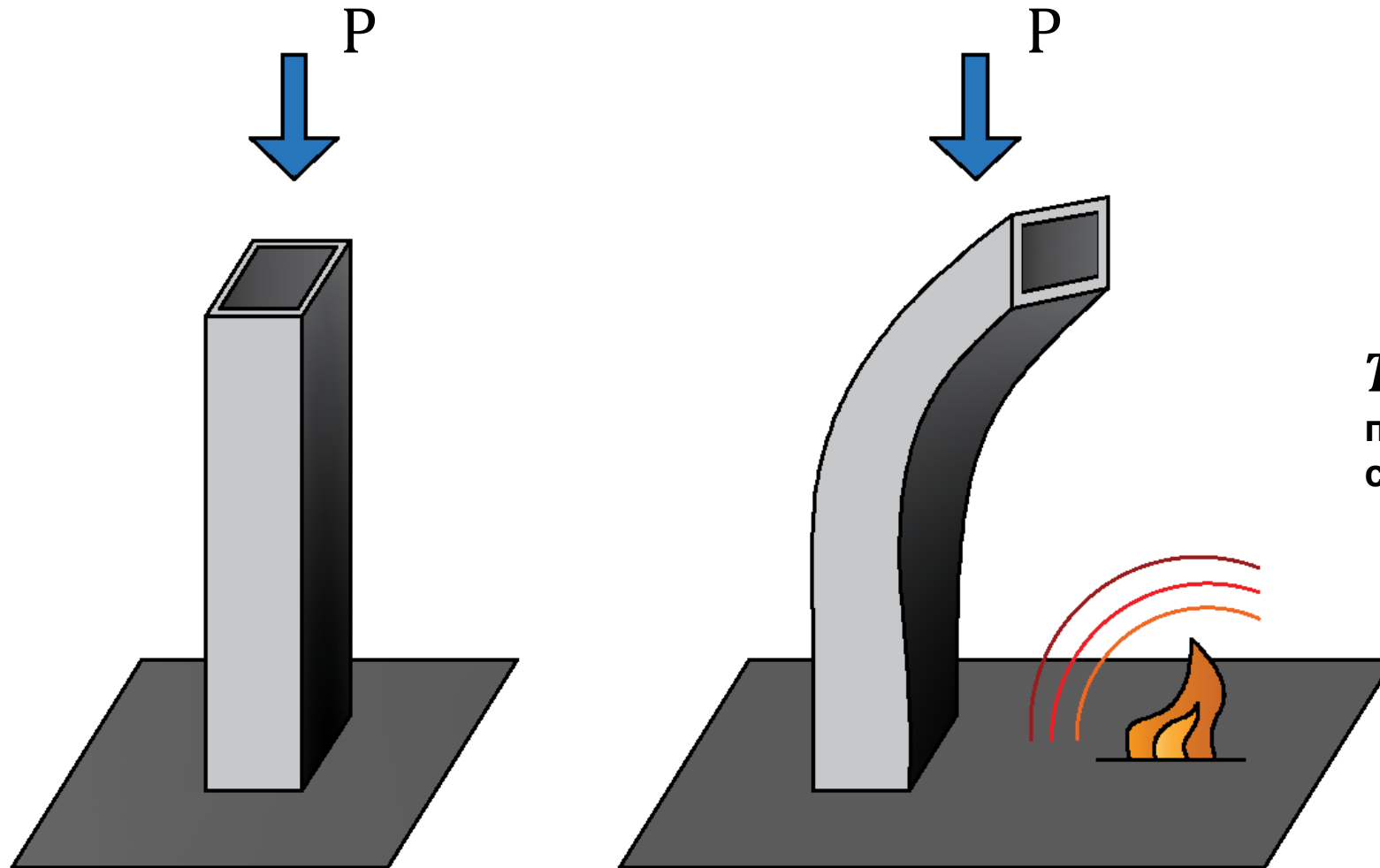
Примітка 3. Групи поширення вогню будівельними конструкціями визначають за методом, наведеним у додатку Д цих Норм.





Проектна температура, °C		400	450	500	550	600	650
Наведена товщина δ , мм	Коефіцієнт перерізу, $A_m/V, m^{-1}$	Клас вогнестійкості R 45					
		Мінімальна товщина покриття, при якій температура нижча за проектну, мм					
14,5	69	0,55	0,40	0,29	0,21	0,21	0,21
14,3	70	0,56	0,41	0,30	0,21	0,21	0,21
12,5	80	0,65	0,49	0,37	0,26	0,21	0,21
11,1	90	0,74	0,57	0,43	0,32	0,23	0,21
10,0	100	0,83	0,64	0,49	0,37	0,27	0,21
9,1	110	0,91	0,70	0,55	0,42	0,32	0,23
8,3	120	0,98	0,76	0,60	0,46	0,35	0,26
7,7	130	1,05	0,82	0,64	0,50	0,39	0,29
7,1	140	1,11	0,87	0,69	0,54	0,42	0,32
6,7	150	1,17	0,92	0,73	0,57	0,45	0,35
6,3	160	1,23	0,97	0,76	0,61	0,48	0,38
5,9	170	-	1,01	0,80	-	0,51	0,40
5,6	180	-	1,05	0,83	-	0,53	0,42
5,3	190	-	1,09	0,87	-	0,55	0,44
5,0	200	-	1,12	0,90	-	0,57	0,46

Економія матеріалу
11%



T_{cr} – температура,
при якій елемент втрачає
свою несучу здатність



Розрахунковий опір попереченого перерізу

Стиск
(із врахуванням втрати стійкості):

$$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_M}$$

f_y - межа текучості
 γ_M - частковий коефіцієнт надійності

Згин за втратою стійкості:

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W \cdot f_y}{\gamma_M}$$

χ - знижувальний коефіцієнт для відповідної форми втрати стійкості
 χ_{LT} - понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за втратою плоскої форми згину

Сумісний стиск та згин:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

W - момент опору перерізу

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M}} + \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_M}} \leq 1$$

A - площа перерізу



Таблиця 1. Коефіцієнти зниження характеристик сталі

Температура сталі Steel Temperature θ_a	Коефіцієнти зниження за температури θ_a відносно значення f_y або E_a для 20 °C Reduction factors at temperature θ_a relative to the value of f_y or E_a at 20 °C		
	Коефіцієнт зниження (відносно f_y) для розрахункової границі текучості Reduction factor (relative to f_y) for effective yield strength $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Коефіцієнт зниження (відносно f_y) для границі пропорційності Reduction factor (relative to f_y) for proportional limit $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$	Коефіцієнт зниження (відносно E_a) для нахилу лінійної пружної ділянки Reduction factor (relative to E_a) for the slope of the linear elastic range $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000

Примітка. Для проміжних значень температури сталі може бути застосована лінійна інтерполяція.

Note: For intermediate values of the steel temperature, linear interpolation may be used.

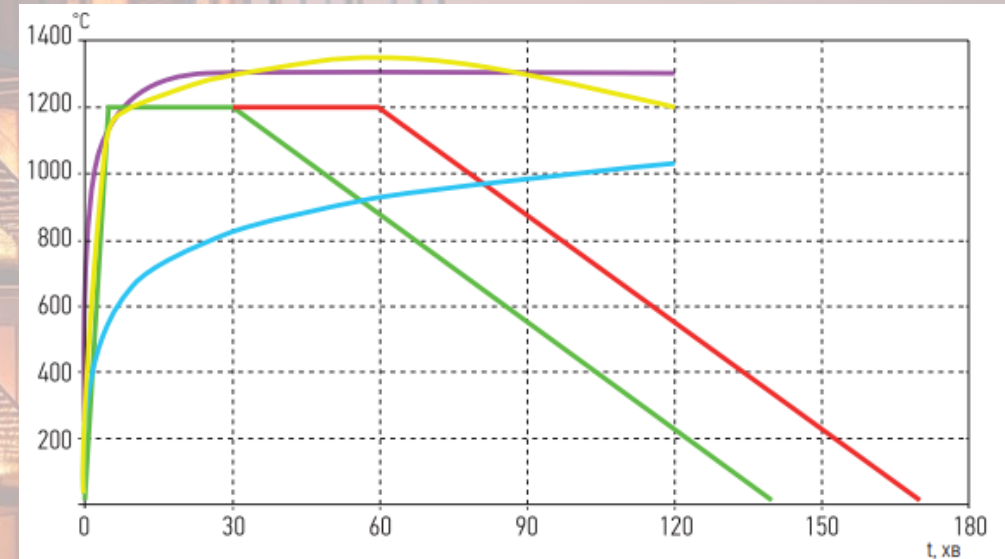


Рисунок 1. Стандартні графіки зміни температури при пожежі



Розрахунковий опір із врахуванням температурного впливу

Стиск
(із врахуванням втрати стійкості):

$$N_{Rd} = \frac{\chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}$$

Згин за втратою стійкості:

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{LT,fi} \cdot W \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}$$

Сумісний стиск та згин:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{min} \cdot \frac{A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{W_y \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{W_z \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}} + \frac{k_z \cdot M_{z,Ed}}{\frac{W_z \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y}{\gamma_M}} \leq 1$$

$k_{y,\theta}$

- коефіцієнт зниження для розрахункової границі текучості

f_y

- межа текучості

γ_M

- частковий коефіцієнт надійності

χ

- знижувальний коефіцієнт для відповідної форми втрати стійкості

χ_{LT}

- понижувальний коефіцієнт для втрати стійкості за втратою плоскої форми згину

W

- момент опору перерізу

A

- площа перерізу



Жорсткості та матеріали

Призначати властивості: тільки поточної закладки

Жорсткість:
1. Двотавр 2652

Матеріали: EN 1993-1-1:2005/ Варіант 1

Матеріал	Додаткові харак...	Обмеження підб...
1. Матеріал	4. Характерист...	1. Обмеження

Задане армування:

Жорсткості | 3/Б | **Метал** | Кладка | ТЗА

Задання параметрів сталевих та алюмінієвих конструкцій

- Матеріал
- Додаткові характеристики
- Обмеження підбору

Додати...
Змінити...
Перегляд...
Копіювати
Видалити
Скинути поточний
Налаштування...

Список для фрагмента

Метал Цегла

1ГС 2ГС МС 1ГС 2ГС МС

Максимальні результати по еле...

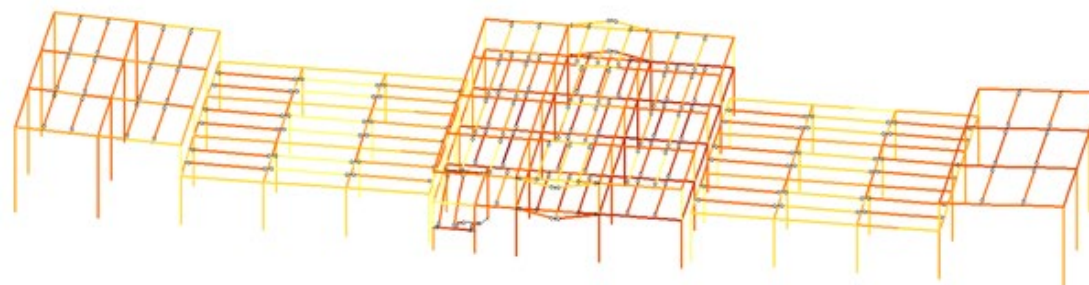
Перевірка, Tcr
Підбір, Tcr

Металевий розрахунок

Результати (метал) | Армокам'яні конструкції | Опції | Вікно ?

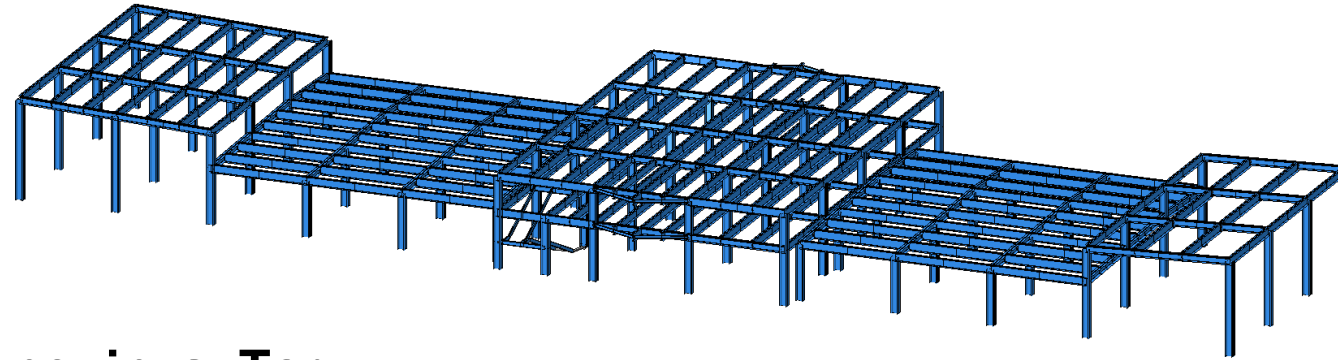
- Мозаїка результатів поелементно
- Мозаїка результатів по розрахункових перерізах СП та ДБН
- Мозаїка результатів по розрахункових перерізах ЕС3
- Підібрані перерізи
- Таблиці результатів...

- Перевірка, огинаюча максимумів за 1 ГС, 2 ГС, МС
- Підбір, огинаюча максимумів за 1 ГС, 2 ГС, МС
- Перевірка, 1 ГС
- Підбір, 1 ГС
- Перевірка, 2 ГС
- Підбір, 2 ГС
- Перевірка, МС
- Підбір, МС
- Перевірка, Tcr
- Підбір, Tcr





Приклад розрахунку в ПК ЛІРА-САПР



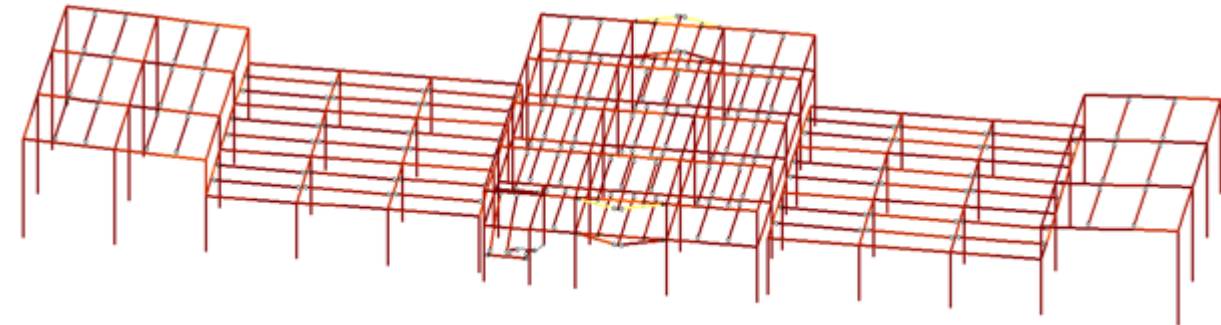
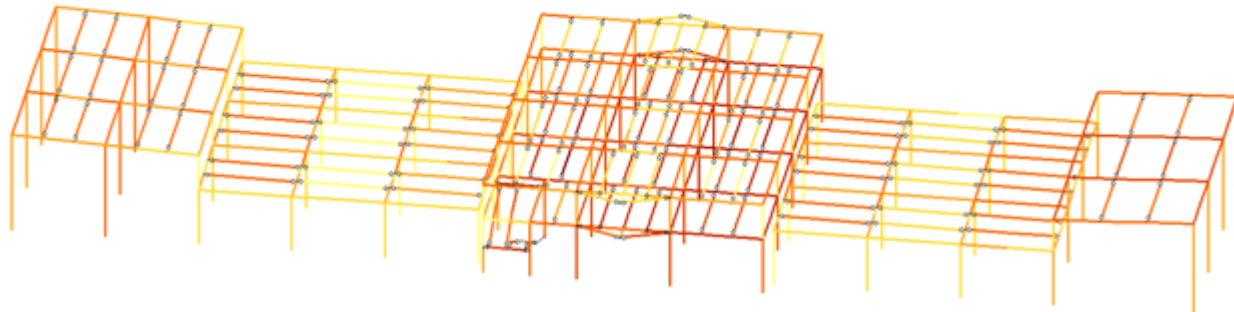
Перевірка, T_{cr}

Підбір, T_{cr}



Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСН:РСН (EUROCODE 3.1.1 EN 1993-1-1:2005/AC:2009)
Единицы измерения - °C


Вариант конструирования: Вариант 1
Расчет по РСН:РСН (EUROCODE 3.1.1 EN 1993-1-1:2005/AC:2009)
Единицы измерения - °C





Розрахунок металевих конструкцій на вогнестійкість

Вихідні дані

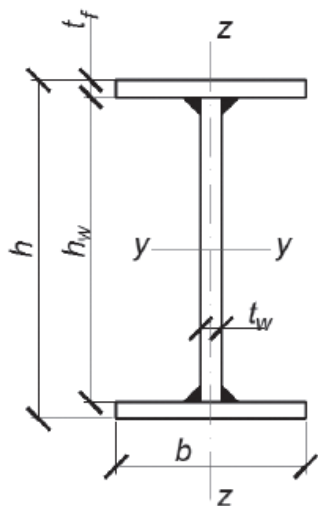
1. Двотавр 26Б2		
Ширина полиці Bf, мм	120	
Товщина полиці Tf, мм	10	
Висота H, мм	261	
Товщина стінки Tw, мм	6	
Радіус заокруглення R, мм	12	
Клас перерізу	3	

Геометричні характеристики перерізу	
Площа перерізу, см ²	39.70
Момент опору Wy, см ³	356.63
Момент опору Wz, см ³	48.13
Радіус інерції iy, см	10.83
Радіус інерції iz, см	2.70

Розрахункові довжини	
Розрахункова довжина Ly, м	1e-07
Розрахункова довжина Lz, м	1e-07

Діючі зусилля						
N, кН	My, кН * м	Vz, кН	Mz, кН * м	Vy, кН	Mx, кН * м	Bw, кН * м * м
-392.266	0.980664	0	0.980664	0	0.00349431	0

Розрахунок по міцності і стійкості						
$\theta_{cr}, ^\circ C$	$\frac{N_{fb}Ed}{X_{min,fb}N_{fb}\phi Rd}$	$\frac{k_y M_{y,fb}Ed}{M_{y,fb}\phi Rd}$	$\frac{k_z M_{z,fb}Ed}{M_{z,fb}\phi Rd}$	$\frac{N_{fb}Ed}{N_{fb}\phi Rd} + \frac{k_y M_{y,fb}Ed}{M_{y,fb}\phi Rd} + \frac{k_z M_{z,fb}Ed}{M_{z,fb}\phi Rd} \leq 1$	$\theta_{cr1}, ^\circ C$	
100	0.273297	0.005997	0.0487914	0.328086	652.511	
200	0.273297	0.005997	0.0487914	0.328086		
300	0.273297	0.005997	0.0487914	0.328086		
400	0.273297	0.005997	0.0487914	0.328086		
500	0.350381	0.00710668	0.0598186	0.417306		
600	0.581483	0.0088994	0.0856681	0.676051		
700	1.18825	0.0026553	0.102066	1.29297		
800	2.48452	-0.0638216	-0.112655	2.30804		
900	4.55495	-0.320149	-1.16133	3.07347		
1000	6.83243	-0.815408	-3.31741	2.69961		



Висота поперечного перерізу	$h = 304$ мм
Ширина поперечного перерізу	$b = 200$ мм
Висота стінки	$h_w = 280$ мм
Товщина стінки	$t_w = 10$ мм
Товщина полиці	$t_f = 12$ мм
Площа поперечного перерізу колони	$A = 76$ см ²



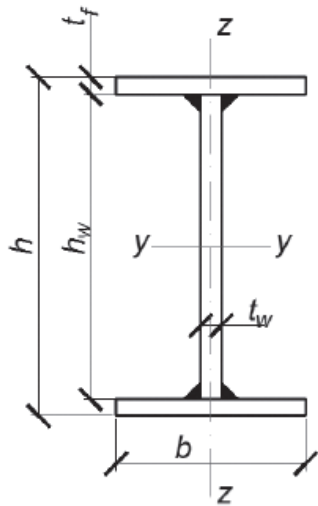
Зусилля	Критична температура, T _{cr} (°C)		Похибка, %
	Аналітичний розрахунок	СТК САПР	
N = -294,54 кН	664,6	654,556	1,5

ЛІРА САПР:

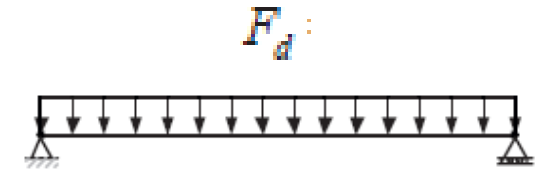
$$n_{fi} = 0.65$$

Ручний розрахунок
(практичний посібник УЦСБ):

$$\eta_{fi} = \frac{46,16 + 0,8 \cdot 165,375}{1,35 \cdot 46,16 + 1,5 \cdot 165,375} = 0,575.$$



Высота поперечного сечения	$h = 400 \text{ мм}$
Ширина поперечного сечения	$b = 300 \text{ мм}$
Высота стенки	$h_w = 368 \text{ мм}$
Толщина стенки	$t_w = 10 \text{ мм}$
Толщина полки	$t_f = 16 \text{ мм}$
Площадь поперечного сечения балки	$A = 132,8 \text{ см}^2$



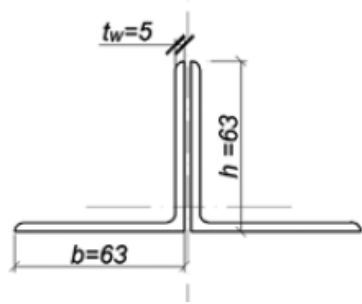
Зусилля	Критична температура, $T_{cr} \text{ (}^\circ\text{C)}$		Похибка, %
	Аналітичний розрахунок	СТК САПР	
$M = 290,6 \text{ кНм}$	691,63	665,43	3,7

СТК САПР:

$$n_{fi} = 0.65$$

Ручний розрахунок
(практичний посібник УЦСБ):

$$\eta_{fi} = \frac{1,053 + 0,8 \cdot 4,9}{1,35 \cdot 1,053 + 1,5 \cdot 4,9} = 0,57.$$



$$A = 6,13 \text{ см}^2;$$

$$i_x = 1,94 \text{ см};$$

$$i_y = 3,12 \text{ см}.$$

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{I}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482,$$

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

$$l_{ef,x} = 435 \text{ см}$$

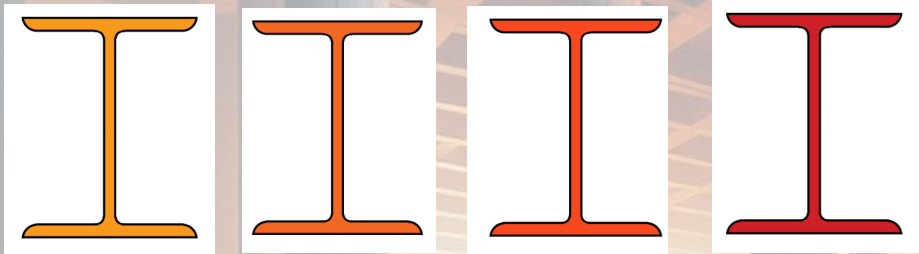
$$l_{ef,y} = 435 \text{ см}$$



Зусилля	Критична температура, T _{cr} (°C)		Похибка, %
	Аналітичний розрахунок	СТК САПР	
N= 326 кН	545,7	515,6	5,5

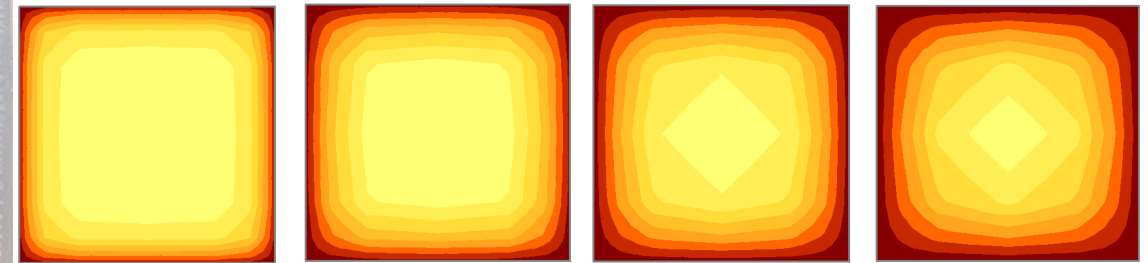


Розповсюдження температури сталі

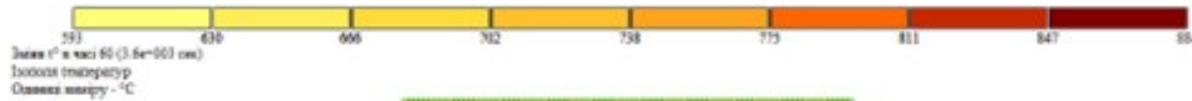


30 хвилин 60 хвилин 120 хвилин 240 хвилин

Розповсюдження температури залізобетону



30 хвилин 60 хвилин 120 хвилин 240 хвилин



Умови крайової задачі:

$$K_{xx} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_{yy} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_{zz} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + w = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Граничні умови 1го роду:

$$T_S = T(x, y, z, t) \quad x, y, z \in S$$

Граничні умови 2го роду:

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} l_x + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} l_y + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} l_z = -q$$

Граничні умови 3го роду:

$$K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} l_x + K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} l_y + K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} l_z = -h(T_S - T_b)$$



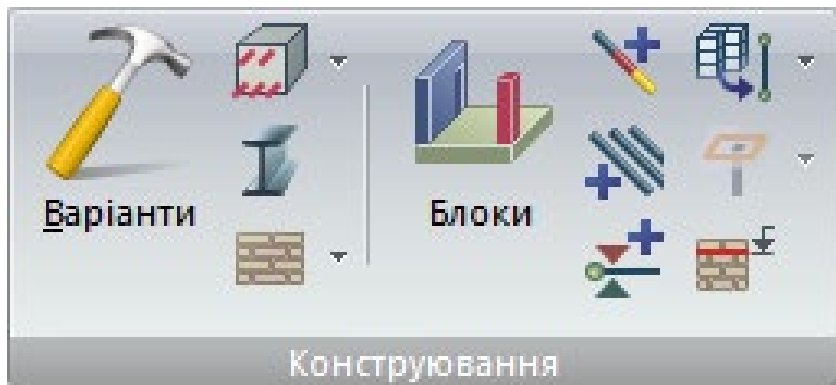


Висновки:

1. Основна задача вогнезахисту - забезпечення максимального часу.
2. Значення критичної температури необхідне для використання сучасних засобів вогнезахисту .
3. ПК ЛІРА-САПР дозволяє автоматизувати розрахунки критичної температури.
4. У ПК ЛІРА-САПР є можливість вирішити задачу теплопровідності методом скінченних елементів .



- Питання 1:** За якими стандартами ведеться розрахунок критичних температур(ДСТУ чи EN)?
- Питання 2:** Які вихідні дані необхідні для розрахунку критичних температур окремих елементів сталевого каркасу.
- Питання 3:** Чи достатньо проекту КМ, де вказано переріз елементів та опорні зусилля.
- Питання 4:** Як напружений стан елемента впливає на критичну температуру.
- Питання 5:** Основою для розрахунку критичних температур відповідно до національних норм є ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Склад документу багато в чому співпадає з ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 (розрахунок конструкцій на вогнестійкість за Єврокодами). Проте це породжує питання їх сумісності. Наприклад, вимоги до навантаження і механічних властивосте сталі пов'язані з ДБН В.1.2 и ДБН В.2.6-198, а перевірки міцності описані по правилам EN 1993. Тобто при розрахунку критичних температур ми маємо по суті рахувати конструкцію за Єврокодом, але на навантаження відповідно відчизняних норм?



Варіанти конструювання

Список варіантів конструювання схеми

- 1. Варіант 1 - ДБН
- 2. Варіант 2 - EN

Призначити поточним

Редагування варіанта

Номер: 1 ID:

Ім'я:

Розрахунок перерізів по:

РСЗ РСН Зусилля

РСН

Залізобетонний розрахунок

Норми

Підбір армування Перевірка заданого армування

Основний режим

Металевий розрахунок

Норми

Підбір перерізів Перевірка заданих перерізів

Розрахунок армокам'яних конструкцій

Норми

Варіанти конструювання

Список варіантів конструювання схеми

- 1. Варіант 1 - ДБН
- 2. Варіант 2 - EN

Призначити поточним

Редагування варіанта

Номер: 2 ID: 1

Ім'я:

Розрахунок перерізів по:

РСЗ РСН Зусилля

РСН

Залізобетонний розрахунок

Норми

Підбір армування Перевірка заданого армування

Основний режим

Металевий розрахунок

Норми

Підбір перерізів Перевірка заданих перерізів

Розрахунок армокам'яних конструкцій

Норми



Дякую за увагу!



Башинська Ольга Юріївна

кандидат технічних наук, розробник ПК ЛІРА-САПР

2024