



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА

Вогнестійкість у проектуванні несучих конструкцій з використанням бетону

Білик Артем

к.т.н., доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій Київського національного
університету будівництва та архітектури
Голова інженерного центру УЦСБ

Основні бар'єри щодо вогнезахисту при проектуванні сталевих каркасів:

- Потреба обетонувувати сталеві перерізи, заповнювати бетоном осердя або захищати спеціальними заходами
- Відсутність національного регулювання із конструктивного вогнезахисту
- Нормативні перепони (наприклад щодо спринклерних систем)
- Відсутність національних методик урахування реальних сценаріїв пожеж, призначення конструкцій, рівнів навантаження тощо
- Інерціальність галузі щодо впровадження імплементованих європейських норм
- Примарне бачення, що залізобетон стійкий до вогню

Пожежа складу заводу поліпропіленових виробів м. Ржищів 2015



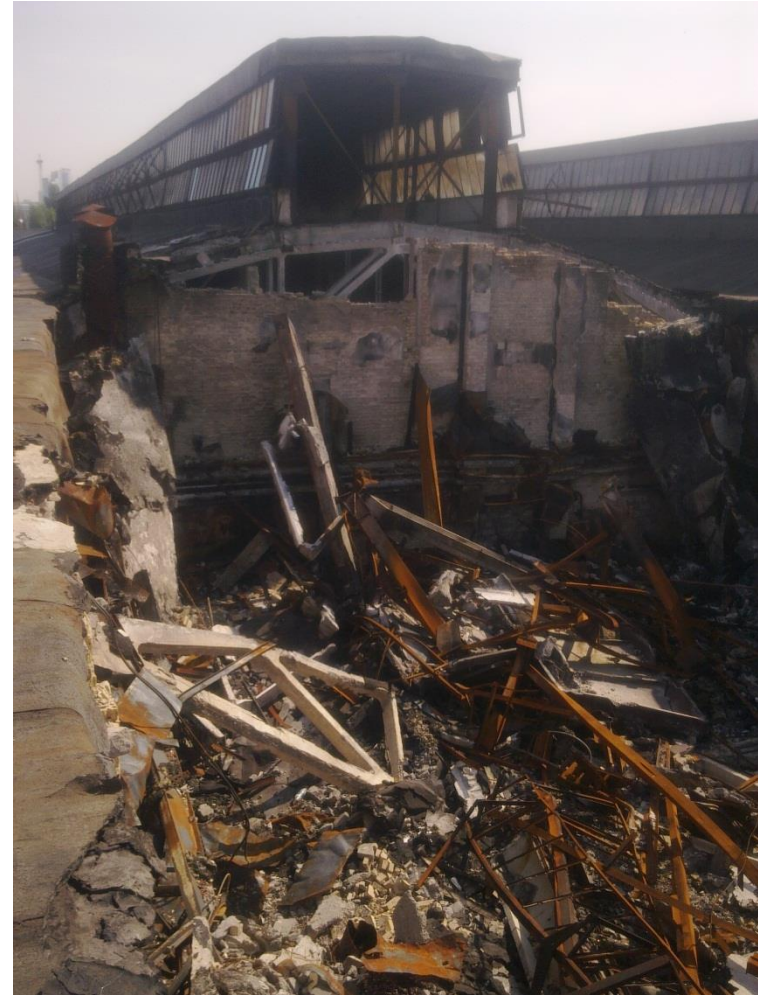




Пожежа на київській фурнітурній фабриці 2011



Цілковите обвалення конструкцій покрівлі





Вихід із площини ферми покриття та цегляної стіни між приміщеннями



Розтріскування, відлущення захисного шару, несучої залізобетонної колони внаслідок дії вогню

Пожежа у Будинку Профспілок 2014



Кіптява на конструкціях, відлущення
тиньку



Дегідратація цементного
каменю



Відсутність заглушок,
послаблення опорної зони



Поздовжні тріщини, випадіння нижніх
поличок та армування



Прогресуюче обвалення
плит

Пластичні деформації арматури,
перехід у мембранну роботу і
обвалення



Температура нагріву бетону і арматури порожнинних плит при еквівалентній товщин - 120 мм

Конструктивний елемент, схема нагріву	Відстань від грані	Час нагріву, температура нагріву при товщині плити - 200 мм			Час нагріву, температура нагріву при товщині плити - 100 мм			Час нагріву, температура нагріву при еквівалентній товщині плити -120 мм		
		90	120	150	90	120	150	90	120	150
		920	950	975	900	950	975	905	950	975
Плита, балка Нагрів з одного боку	Центр - 2 см	600	700	750	600	700	750	640	705	755
	центр - 4 см	400	500	550	400	500	550	440	500	550
	центр- 6 см	250	320	370	250	320	385	274	320	380
	центр -8 см	150	220	270	150	220	270	174	220	270
	Центр 10 см	80	150	190	100	157	187	92	156	190



**Відлущення захисного шару
ригелів, випадіння, втрата
стійкості арматури**



Підкріплення колон з метою зменшення розрахункової довжини



Фасадні колони і колони всередині будівлі – майже не постраждали внаслідок конструктивного вогнезахисту

<p>Тривалості інтенсивної пожежі за ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 до температури охолодження 110°C. Температура пожежі 715°C</p>	<p>Тривалості інтенсивної пожежі за «Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром / НИИЖБ. - М.: Стройиздат, 1987» до температури охолодження 200°C. Температура пожежі 1050°C</p>	<p>Прийнято у розрахунках</p>
<p>90 хв.</p>	<p>150 хв</p>	<p>90 -120-150 хв.</p>

Вимушені заходи

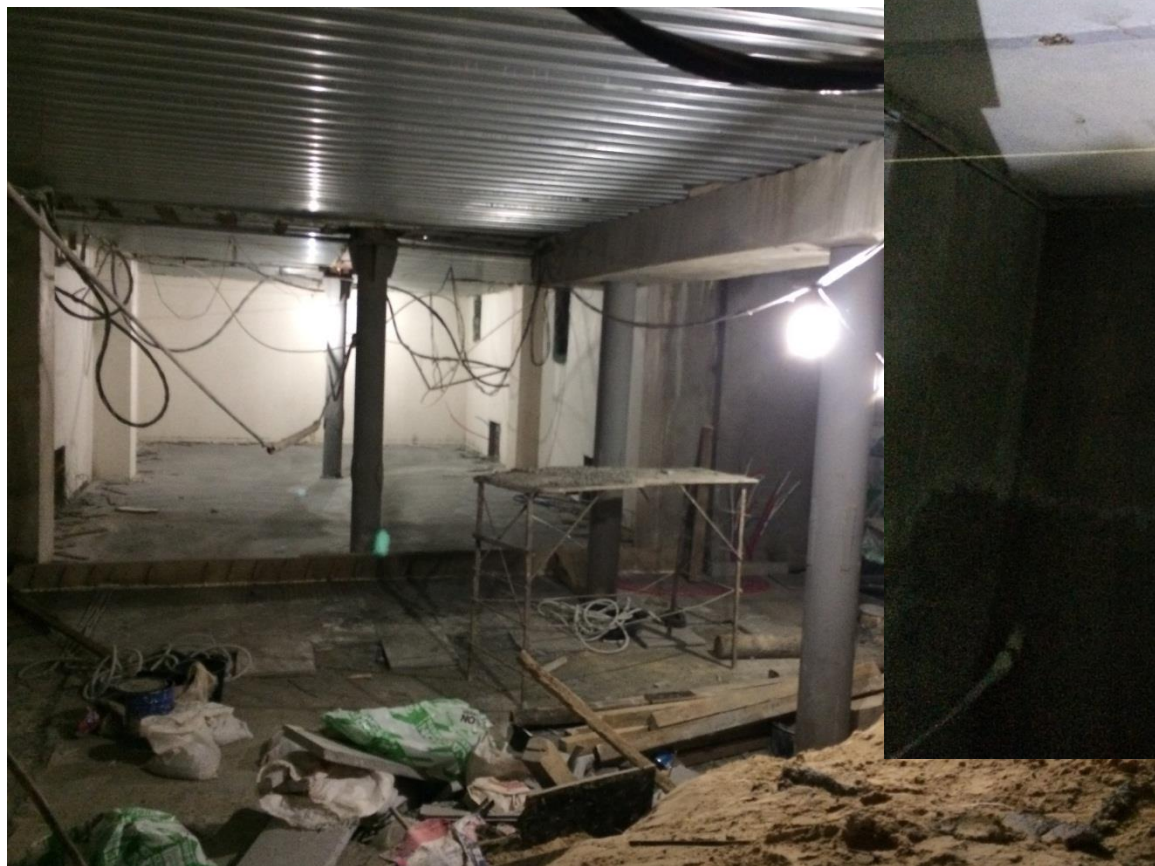


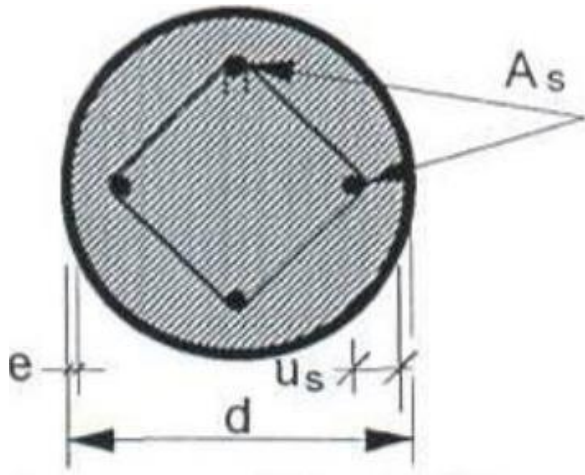
Заповнення бетоном колон

Урахування настилу тільки
як опалубки



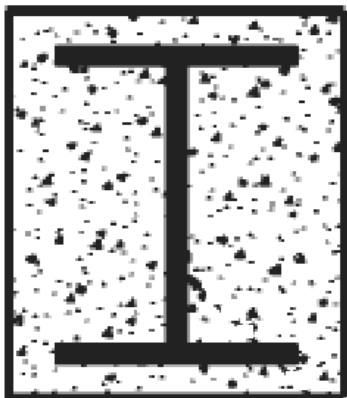
Отинькування колон після
заповнення бетоном для
послідуючого навішання
гранітних плит





**Мінімальні параметри сталобетонних і
сталезалізобетонних колон трубчатого
перерізу для вогнестійкості
R30 - R180 за методикою Єврокода**

Параметри		Клас вогнестійкості				
		R30	R60	R90	R120	R180
1. Мінімальні розміри перерізів для рівня навантаженості $\eta_{fi,t} \leq 0,28$						
1.1	Мінімальні розміри h, b або d, мм	160	200	220	260	400
1.2	Мінімальне армування $A_s/(A_c + A_s)$, %	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Мінімальні відстані до осі арматурних стержнів u_s , мм	-	30	40	50	60



Минимальные толщины покрытия из бетона для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн¹

Коэффициент перерізу профільний $A_m/V, \text{м}^{-1}$	Приведен а товщина $\delta_{\text{пр}}, \text{мм}$	Клас вогнестійкості					
		R 60	R 90	R 120	R 180	R 240	
Важкий бетон, $d_c = 2322 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_c = 1,64 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$							
100	10	25,4	25,4	38,1	63,5	76,2	
113	8,9			50,8	76,2	88,9	
195	5,2		50,8			101,6	
240	4,2		63,5				
283	3,6	38,1					
316	3,2	38,1	88,9				
399	2,6						

T= 538°C, 721.5.1 (2) International Building Code. Chapter 7 - Fire and Smoke Protection Features

Порівняння меж вогнестійкості стін та їх товщин (мм) в залежності від типу штучного каменю

Тип шт.каменю	Межа вогнестійкості, хв				
	60	90	120	180	240
Силікатний	90	109	127	157	178
Вапняно-цементний	81	102	117	145	168
Пісчано-легкий	69	84	97	117	117
Легкий бетон	64	79	91	112	137

ASTM E 119 , T= 392°C.
International Building Code. Chapter 7 - Fire
and Smoke Protection Features

Межа вогнестійкості R_f опоряджувальних матеріалів

Товщина	R хв
Гіпсокартонні листи	
2 листа 26 мм	40
Тиньк	
Цементно-пісчаний на метал. сітці, 19 мм	20
22 мм	25
25 мм	30
Гіпсо-пісчаний, 13 мм	35
16 мм	40
19 мм	50
Гіпсо-пісчаний на метал. сітці, 19 мм	50
22 мм	60
25 мм	80

Перспективи для проектування і мінімізації витрат на вогнезахист сталевих конструкцій:

- Забезпечення урахування природного конструктивного вогнезахисту
- Урахування наявності інших протипожежних заходів
- Диверсифікований підхід до меж вогнестійкості щодо призначення елементів та їх завантаження
- Широке впровадження імплементованих європейських норм та методик розрахунку
- Приймання дійсної, нижчої вогнестійкості залізобетону
- Урахування спільної роботи та захищеності композитних перекриттів
- Застосування жаростійких, високоміцних сталей

Table A.2 of Approved Document B

Maximum height, m.	Approximate number of storeys	Office	
		Without Sprinklers	With Sprinklers
> 30m		Not Permitted	120
≤ 30m	10	90	60
≤ 18m	6	60	30
≤ 5m	1 to 2	30	30

Fire resistance period: time required for a building to retain its load carrying capacity to enable evacuation of the building



8-поверхова будівля для
тесту

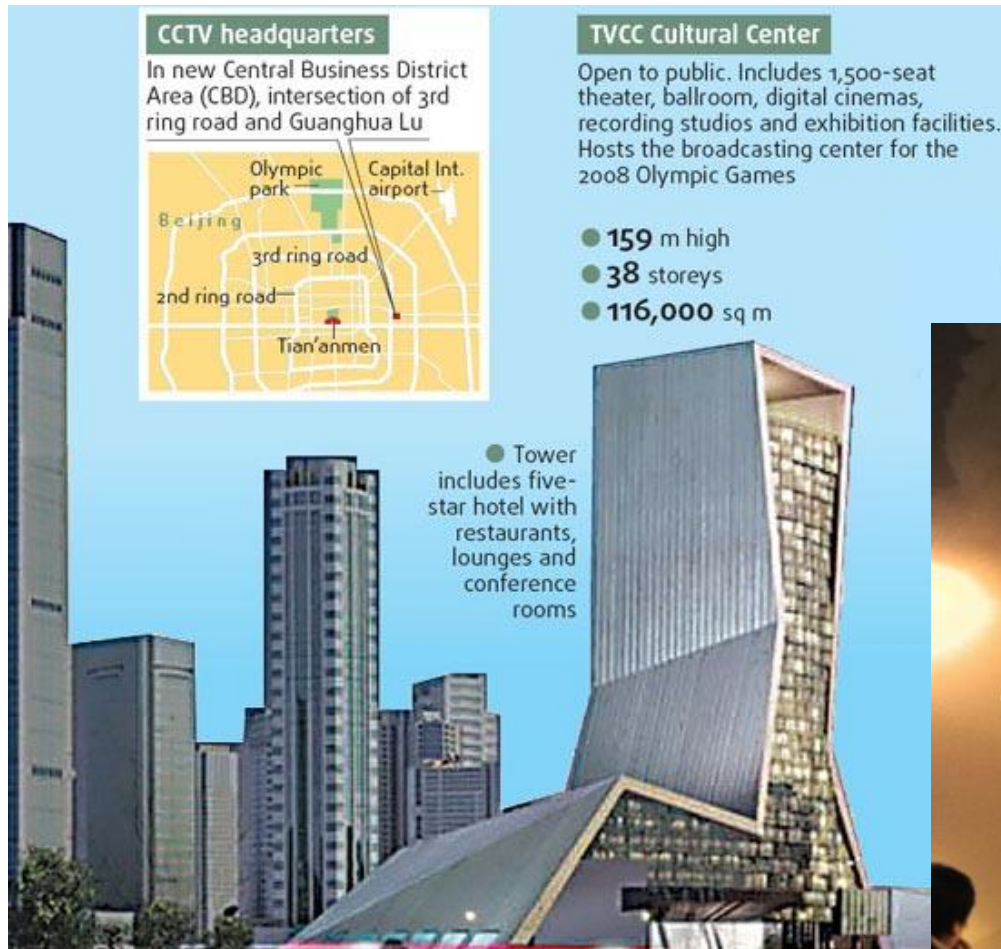


Система каркасу зі сталевими
балками і композитними
перекрыттями



Максимальна температура
пожежі склала 1213 гр.
Балки нагрілися до 1100 гр.

Пожежа у CCTV Tower 2009р. (КНР)



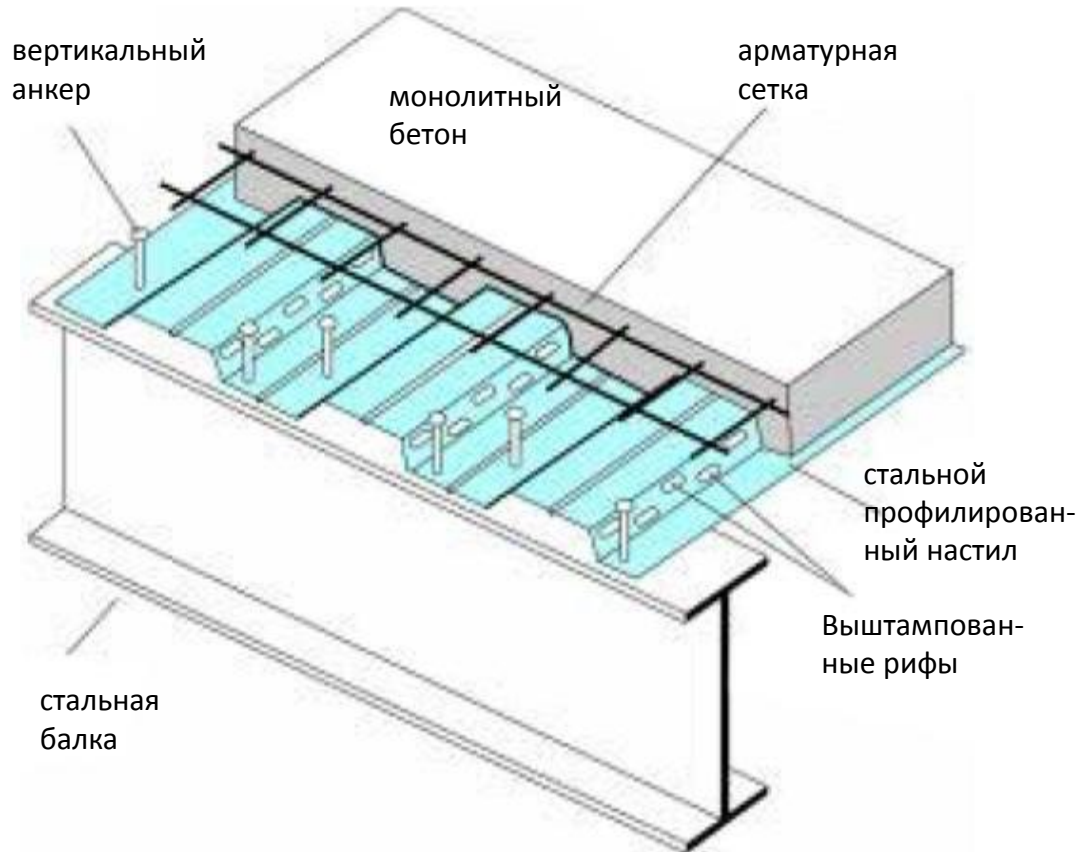
**Пожежа не призвела до істотного пошкодження
конструктивних елементів каркасу**



AON (Formerly First Interstate) Tower, ЛА, США. Пожежа 1988 року



Композитна робота сталевих балок та залізобетонної плити настилу – дозволяє знизити металоємність, зменшити будівельну висоту та підвищити жорсткість каркасу. Також зростає стійкість перекриття до вогню та вібрацій та живучість.



Для роботи при підвищених температурах придатні **теплостійкі** (жароміцні) сталі із низьким і середнім вмістом хрому (до 5–6%) із молібденом та ванадієм. Для роботи при більш високих температурах використовують жароміцні аустенітні сталі або сплави на основі никелю. Паспортні дані:

Марка	T, гр.Ц.	Межа текучості $\sigma_{0,2}$ МПа	Тимчасовий опір σ_b МПа	Орієнтовна ціна, кг
12X13	600	310-410	330-450	29
30X13	600	620	800	38
40X9C2	600	390	520	45

Критичні температури конструкцій для марок сталі за ДСТУ -Н

Сталь	$\theta_{a,cr}$, °C
Вуглецева Ст3, Ст5	470
Низьколегована 30XГ2С	500
Низьколегована 25Г2С	550
10X17Н13М2Т	700

Високоміцні марки сталі



Всесвітній торговий

Центр

м. Нью-Йорк, США

Рік будівництва :
2014

Висота: 541 м

Кількість поверхів: 104



Hearst Tower

м. Нью-Йорк, США

Рік будівництва :
2002

Висота : 201 м

Кількість поверхів : 47



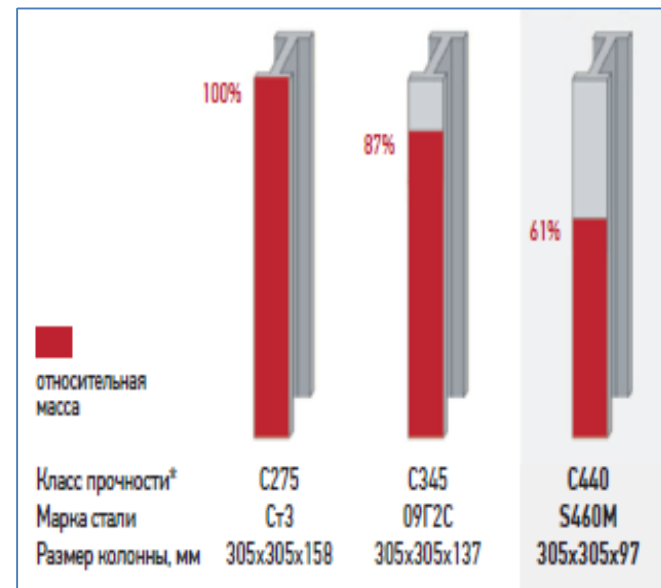
Mapfre Tower

м. Барселона, Іспанія

Рік будівництва:
1992

Висота : 154 м

Кількість поверхів : 42



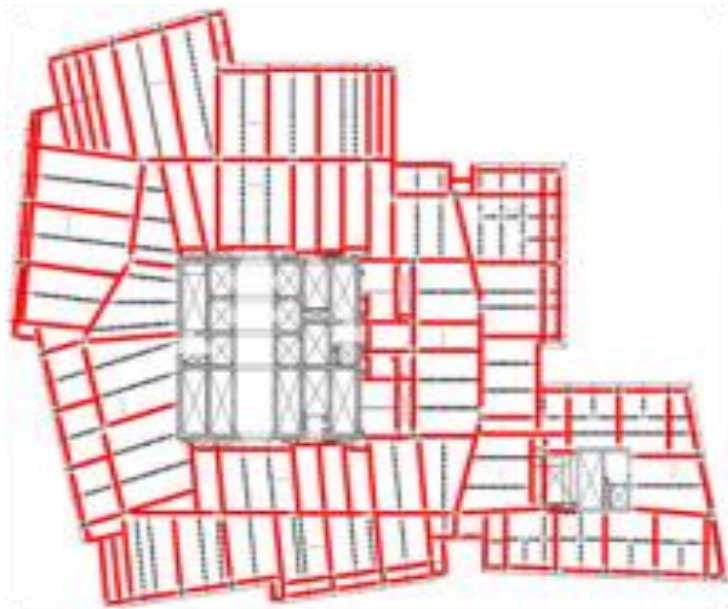
18Г2АФ



Зниження ваги металоконструкцій будівлі у результаті використання високоміцних марок сталі

Використання висоміцної сталі у колонах сучасних висотних будівель комерційного призначення дозволяє досягти 20-30% економії металопрокату

Введення в Україні в дію Єврокодів із 1.07.2014 р. відкриває можливість проектування будівель 1-4 категорії складності за європейськими нормами.



План балок МФК The Shard, що підлягають вогнезахисту (червоні)



Сталезалізобетонні колони МФК Sky Towers, у яких бетон виконує несучу та пожежозахисну функції

Підхід Єврокоду дозволяє зменшити вартість вогнезахисту на 30% та більше за рахунок залежності критичної температури від навантаженості елемента.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

www.uscc.ua | +38-044-590-01-56

