



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЕВОГО
БУДІВНИЦТВА

Основи розрахунку сталевих конструкцій згідно Єврокодів

Ельвіра Ковалевська
Провідний інженер-конструктор УЦСБ

Семінар
«Розрахунок сталевих конструкцій відповідно до Єврокодів»
26.05.2016

Головні відмінності проектування згідно Єврокоду 3 та ДБН В.2.6-198 :2014

- Єврокоди орієнтовані **на комп'ютерні, а не ручні методи розрахунку**. На **практиці** у Європі широко використовуються пакети прикладних програм, що скорочують рутинні операції. В нашій країні також розробляється спеціалізоване ПЗ але воно у більшій мірі застосовується на практиці для визначення напружено-деформованого стану конструкцій і орієнтоване на національну нормативну базу.
- В залежності від характеру роботи конструкції, у європейських нормах закладена необхідність **урахування геометричної та фізичної нелінійності**. На **практиці** при статичному розрахунку найбільш часто ураховується геометрична нелінійність.
- При статичному розрахунку Єврокоди вимагають **враховування теоретичних початкових недосконалостей** системи двома шляхами: 1 - моделювання системи з геометричними відхиленнями; 2 - задавання моделюючих недосконалості еквівалентних зусиль. На **практиці** рекомендується застосовувати другий підхід.
- У Єврокодах відсутні обмеження за гнучкістю. Переміщеннями елементів, що віднесено до сфери визначення Національних додатків. Національний додаток України визначає обмеження за переміщеннями відповідно до чинного ДСТУ Б В 1.2.3:2006
- Поперечні перерізи елементів за напружено-деформованим станом розподіляються на 4 а не 3 класи як у ДБН. Процес визначення класу по суті є перевіркою втрати місцевої стійкості частин перерізу

Головні відмінності проектування згідно Єврокоду 3 та ДБН В.2.6-198 :2014

Клас 1 - поперечні перерізи, у яких може утворюватися повний пластичний шарнір без зниження несучої здатності від втрати місцевої стійкості.

Клас 2 - поперечні перерізи, у яких можуть утворюватися часткові пластичні деформації, обмежені внаслідок втрати місцевої стійкості.

Клас 3 - поперечні перерізи, які працюють у пружній області, а напруження досягають межі текучості тільки у крайніх волокнах. Пластичні деформації у перерізах 3 класу не розвиваються внаслідок втрати місцевої стійкості.

Клас 4 - поперечні перерізи, у яких втрата місцевої стійкості у одній або кількох ділянках перерізу настає до досягнення межі текучості.

Фактично 4 клас є найменш ефективним. До нього в основному відносяться легкі тонкостінні елементи, а також деякі інші типи перерізів. **На практиці** намагаються компонувати профілі таким чином, щоб вони підпадали під перші два класи.

Головні відмінності проектування згідно Єврокоду 3 та ДБН В.2.6-198 :2014

- Система часткових коефіцієнтів надійності за матеріалом, умовами роботи, навантаженнями тощо у ДБН фактично відповідає Єврокодам. Однак, у загальному випадку, Єврокоди зводять їх до приведених коефіцієнтів надійності за навантаженнями та несучою здатністю:



Головні відмінності проектування згідно Єврокоду 3 та ДБН В.2.6-198 :2014

- У Єврокодах основною геометричною характеристикою зварних швів є не катет шва а його висота (перпендикуляр із вершини умовного перерізу шва до гіпотенузи). Також немає розділення перевірки міцності зварного шва за металом шва та межею зплавлення. Фактично вважається, що межа зплавлення рівномічна а руйнування може відбутися тільки за металом шва.
- У Єврокодах до основним перевірок болтових з'єднань додана перевірка на відрив частини перерізу

Зазначені відмінності між національними та європейськими нормами не є фундаментальними, вони пов'язані насамперед із різним рівнем технології проектування і виготовлення металоконструкцій, традиційністю галузі, рівнем нормування та контролю якості виробництва

Національний додаток (Зміна № 1 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд) містить зокрема наступні основні корегування:

- Національні кліматичні умови. Особливі регіональні або кліматичні чи аварійні ситуації відсутні.
- Характеристики сталі можливо приймати за сертифікатами
- Прогини і переміщення – приймаються за ДСТУ Н.Б.1.2-3:2006

Також див. Національний додаток до ДСТУ-Н Б EN 1991, Єврокод 1: «Дії на конструкції» для деяких типів навантажень і коефіцієнтів зональності!

Коефіцієнти надійності

- ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990) Єврокод: «Основи проектування конструкцій»+національний додаток

Дії: навантаження і впливи

- ДСТУ-Н Б EN 1991, Єврокод 1: «Дії на конструкції»:
- ..EN 1991-1-1 Питома вага, власна вага, експлуатаційні навантаження на будівлі
- .. EN 1991-1-2 Дії на конструкції під час пожежі
- .. EN 1991-1-3 Снігові навантаження
- .. EN 1991-1-4 Вітрові навантаження
- .. EN 1991-1-7 Особливі динамічні навантаження

Навантаження на конструкції:

- **Постійні G:** власна вага, стаціонарне обладнання та покриття, осідання опор;
- **Перемінні Q:** корисні навантаження на перекриття і покриття, атмосферні;
- **Епізодичні A:** вибухи, удари у конструкції транспорту

Категорія	Вид використання	Значення рівномірно-розподіленого навантаження кН/м.кв.
A	Перекриття у житловій зоні	1,5 – <u>2,0</u>
B	Офісні зони	2,0 – <u>3,0</u>
C5	Зони скупчення людей, де проводяться суспільні заходи	<u>5,0</u> – 7,5
D2	Торговельні будинки та універсами	4,0 – <u>5,0</u>

* Додатково перегородки 0,5-1,2 кН/м.кв.

Деякі відмінності змінних навантажень від національної системи

- Вітрові навантаження визначаються залежно від швидкості напору а не еквівалентного тиску
- Снігові навантаження і вітрові на покрівлі є сумісними але не з людьми
- Покриття розраховують як на розподілене так і на варіант зосередженого навантаження

Диференціація надійності за відповідальністю прийнята відповідно національній за ДБН В.1.2-14:2009:

Національний додаток, Таблиця НБ.3.3

Клас наслідків	Категорія відповідальності конструкції	Значення K_{FI} при розрахункових ситуаціях:		
		постійних	перехідних	аварійних
СС3	А	1,250	1,050	1,050
	Б	1, 200	1,000	
	В	1,150	0,950	
СС2	А	1,100	0,975	0,975
	Б	1,050	0,950	
	В	1,000	0,925	
СС1	А	1,000	0,950	0,950

* У національних нормативних документах (ДБН В.1.2-14:2009) еквівалентом для K_{FI} є коефіцієнт надійності за призначенням γ_n .

Терміни експлуатації

Категорії проектних термінів експлуатації	Проектний термін експлуатації (у роках)	Приклади
1	10	Тимчасові споруди
2	10-25	Замінювані частини несучих конструкцій, (підкранові балки, деякі опори, в'язі)
3	не менше 25	Будівлі і споруди, що експлуатуються у сильно агресивному середовищі
3	15-30	Сільськогосподарські та складські будівлі і споруди
4	50	Будівельні конструкції загального призначення при нормальних умовах експлуатації
5	100	Монументальні споруди, мости та інші цивільні інженерні споруди

Граничні стани

Перша група (ultimate limit state) – граничні стани за несучою здатністю:

EQU – втрата стійкості положень конструкції чи її частини, вцілому. Суттєву роль грають навантаження, а характеристики матеріалів малозначущі.

STR - втрата міцності або стійкості форми конструкції чи її частини. При цьому характеристики матеріалів визначальні і контролюються.

GEO – втрата несучої здатності основи конструкції . При цьому характеристики ґрунтів визначальні і контролюються.

FAT – руйнування конструкції або її елементів внаслідок втоми.

Друга група (serviceability limit state) – граничні стани за експлуатаційною придатністю:

- **Зворотні** граничні стани за експлуатаційною придатністю при яких після припинення дій їх наслідки, що перевищують граничні значення відсутні і не розвиваються
- **Незворотні** граничні стани за експлуатаційною придатністю при яких деякі наслідки дій, які перевищують граничні значення, лишаються після припинення дій

Граничні стани за експлуатаційною придатністю



Розрахункові сполучення дій:

- Усталені (постійні)
- Перехідні (тимчасові)
- Аварійні
- Сейсмічні

Слід пам'ятати про живучість!

Основні елементи повинні бути розраховані на розрахункове аварійне навантаження (A_d) = 34 кН/м.кв.

Розрахункове значення дії (F_d) у загальному вигляді може бути виражене формулою:

$$F_d = \gamma_F \psi F_k$$

ψ коефіцієнт сполучення

γ_F частковий коефіцієнт надійності

F_k характеристичне значення дії

Перша група (ultimate limit state) – граничні стани за несучою здатністю:

Усталена або перехідна розрахункова ситуація

$$\text{EQU: } \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

STR та GEO :

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

* Національний додаток ДСТУ-Н Б EN 1990 для перевірки за STR (відмова або надмірна деформація конструкції) виключає формулу (6.10) та визначає часткові коефіцієнти за навантаженням для формул (6.10a) та (6.10b)

Перша група

Випадкова, аварійна розрахункова ситуація

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.11b)$$

$G_{k,j}$ характеристичне значення усталеної дії

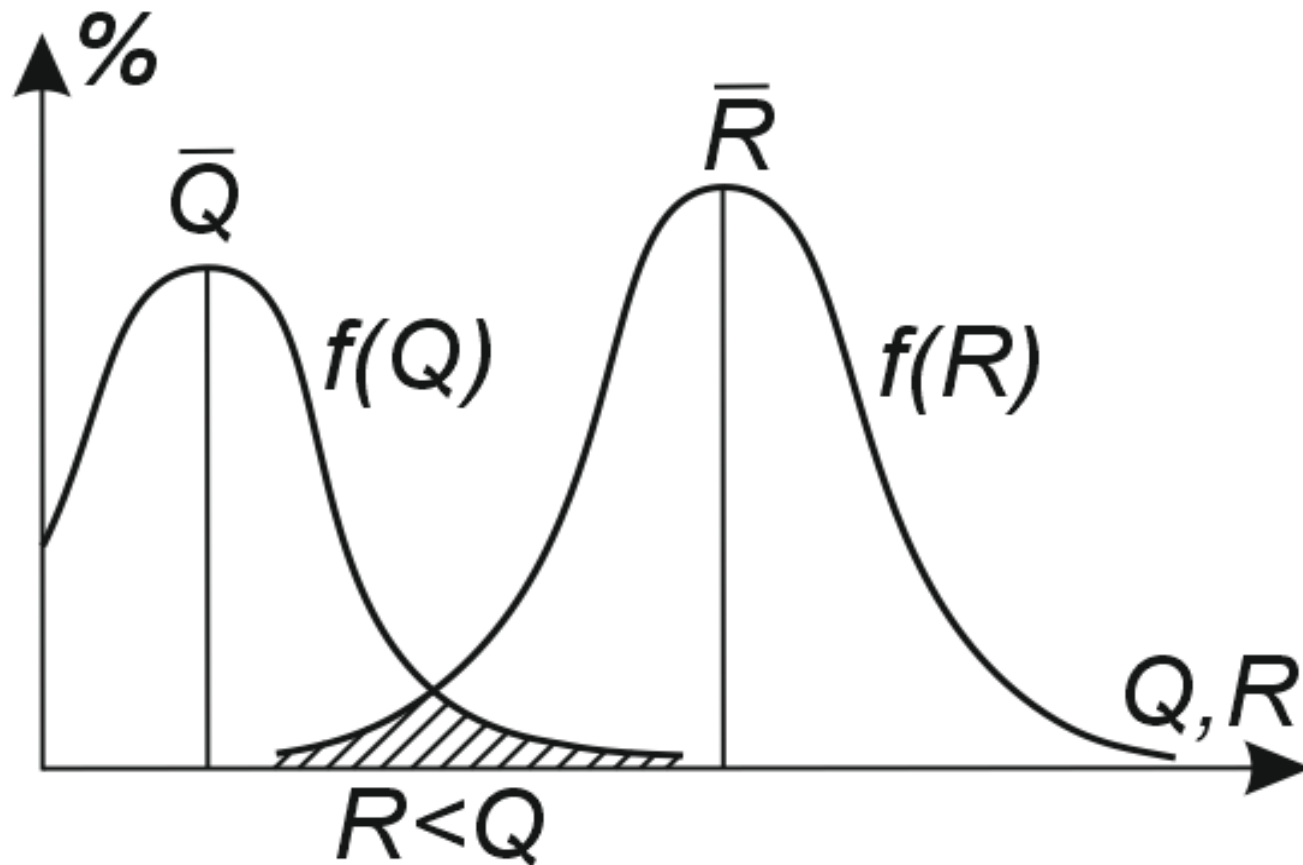
$Q_{k,1}$ характеристичне значення переважаючої перемінної дії

$Q_{k,i}$ характеристичне значення супутніх перемінних дій

A_d розрахункове значення випадкової, аварійної дії

Перша група

Навантаження, фізико-механічні характеристики матеріалів – мають імовірнісну природу



Частинні коефіцієнти надійності для навантажень за I групою:

Стан	Постійна дія $Y_{G,j}$		Переважаюча основна перемінна дія $Y_{Q,1}$	Супутні перемінні дії $Y_{Q,i}$	
	Несприятл.	Сприятл.		Головні	Інші
EQU (6.10)	$1.1 G_{kj,sup}$	$0.9 G_{kj,inf}$	$1.5 Q_{k,1}^*$	$1.4 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
GEO (6.10)	$1.35 G_{kj,sup}$	$1.0 G_{kj,inf}$	$1.5 Q_{k,1}^*$	$1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
STR/GEO (6.10a)	$1.35 G_{kj,sup}$	$1.0 G_{kj,inf}$	-	$1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$	$1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$
STR/GEO (6.10b)	$\xi Y_{G,j} =$ $= 0.85 \cdot 1.35 =$ $1.15 G_{kj,sup}$	$1.0 G_{kj,inf}$	$1.5 Q_{k,1}^*$	-	$1.5 \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(6.11a/b)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	A_d	ψ_{11}	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

*При сприятливій (тобто такій що зменшує сумарне навантаження) переважаючій основній перемінній дії $Y_{Q,1}=0$

Коефіцієнти сполучень дій ψ для будівель

Корисні навантаження згідно категорій ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1	ψ_0	ψ_1	ψ_2
A: житлові	0.7	0.5	0.35
B: офісні	0.7	0.5	0.35
C: місця скупчень людей	0.7	0.7	0.6
D: торгові площі	0.7	0.7	0.6
E: складські площі	1.0	0.9	0.8
H: покрівлі	0.7	0	0
Снігові нав. за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3	0.6	0.5	0.3
Вітрові нав. за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4	0.6	0.2	0
Температурні нав.(без пожежі) в будівлях за ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5	0.6	0.5	0

Друга група (serviceability limit state) – граничні стани за експлуатаційною придатністю:

Характеристичне сполучення (для незворотних станів):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Часто повторюване сполучення (для зворотних станів):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

..Квазіпостійні (не розглядаються)

Приклад 1

Розрахувати усталене сполучення для обох граничних зворотних станів для балки офісної будівлі при розрахунку на згин

прийняте характеристичне значення постійної дії $G_{k,j}$ 10 кПа

характеристичне значення переважаючої перемінної дії $Q_{k,1}$ 3 кПа

характеристичне значення супутніх перемінних дій $Q_{k,i}$ 1 кПа

Приклад 1. Розв'язок:

Перша група граничних станів:

$$\begin{aligned} (6.10a): \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} = \\ = 1,35 * 10 + 1,5 * 0,7 * 1 = 14,55 \text{ кН/м.кв.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (6.10b): \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} = \\ = 1,15 * 10 + 1,5 * 3 = 16 \text{ кН/м.кв.} \end{aligned}$$

Друга група граничних станів:

$$\begin{aligned} \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} = \\ = 10 + 0,5 * 3 + 0,35 * 1 = 11,85 \text{ кН/м.кв.} \end{aligned}$$

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!