



УКРАЇНСЬКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЕВОГО  
БУДІВНИЦТВА

# Розрахунок елементів на стиск, згин, розтяг та зріз

Білик Артем Сергійович

к.т.н., голова інженерного центру УЦСБ, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА

Семінар  
«Розрахунок сталевих конструкцій відповідно до Єврокодів»  
26.05.2016

# Характеристики сталі

---

У розрахунках показники матеріалу для конструкційних сталей, необхідно приймати такими:

- модуль пружності  $E = 210\,000\text{ Н/мм}^2$ ;
- модуль зсуву

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000\text{ Н/мм}^2$$

- коефіцієнт Пуассона у пружній стадії  $\nu = 0,3$ ;
- коефіцієнт лінійного температурного розширення  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (при  $T \leq 100\text{ } ^\circ\text{C}$ ).

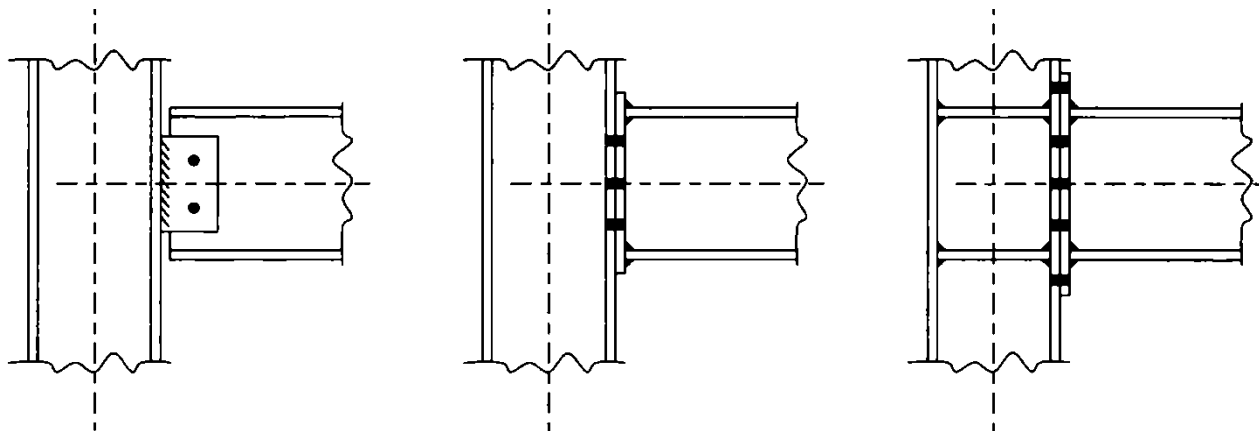
# Індекси, вживані у Єврокодi (довiдково)

Нижній підстрочний iндекс у Єврокодi	Визначення	Приклад	
$E_d$	Розр. значення ефекту дії	$M_{Ed}$	Розр. значення згин. моменту
$R_d$	Розр. значення несучої здатності	$M_{Rd}$	Розр. значення несучої здатності на згин
$e_l$	Властивості пружності	$W_{el}$	Момент опору перерізу у пружній стадії
$p_l$	Властивості пластичності	$W_{pl}$	Момент опору перерізу у пластичній стадії

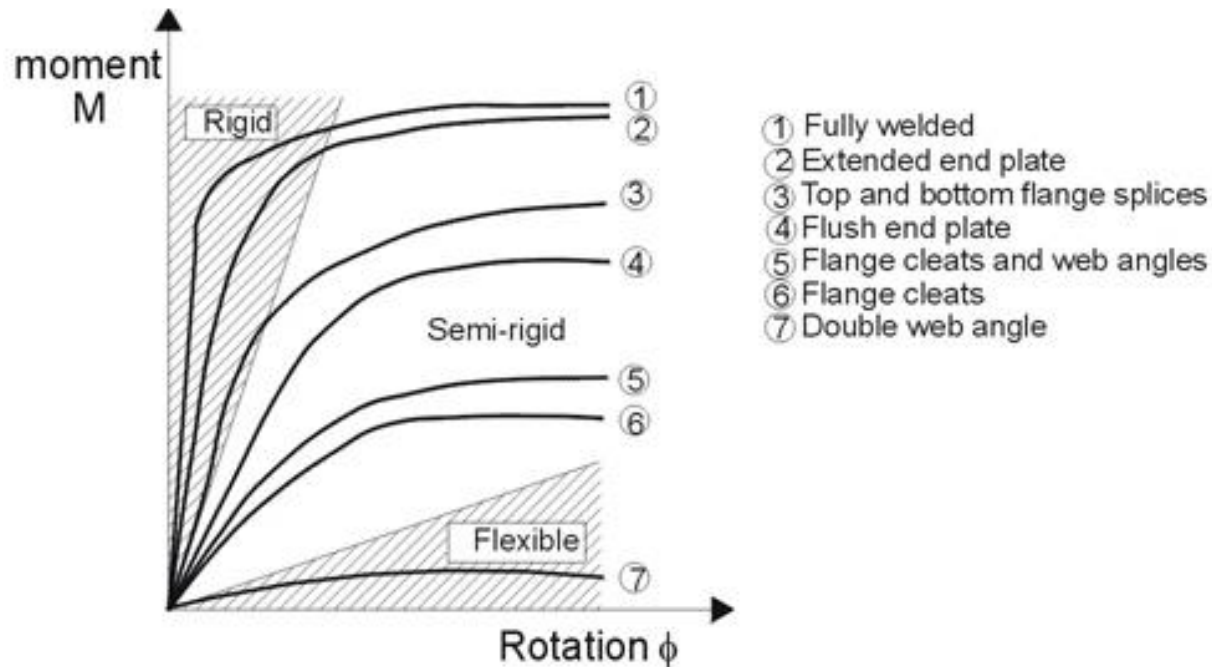
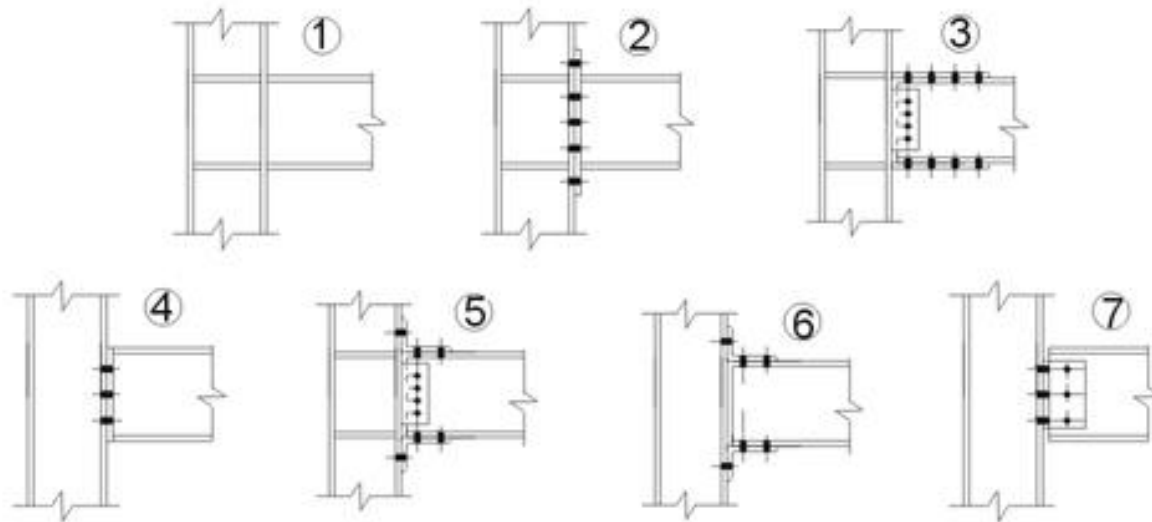
## Моделювання конструкцій

Для визначення випадків, в яких потрібно враховувати вплив характеру **роботи вузлів** при розрахунку, необхідно розрізняти **три моделі вузлів**, (дивись EN 1993-1-8):

- **шарнірну**, для якої можна припустити, що вузол не передає згинальні моменти;
- **жорстку**, для якої можна припустити, що характер роботи вузла не впливає на розрахунок;
- **напівжорстку**, для якої характер роботи вузла необхідно враховувати при розрахунках.



# Експериментально отримані графіки М-φ



# Моделювання конструкцій

---

Розрахунок **першого порядку** може бути використаний для конструкції, **якщо зростанням відповідних внутрішніх сил або моментів можна знехтувати**. Ця умова може вважатися у загальному випадку виконаною, якщо задовольняються критерії:

для розрахунку в пружній стадії

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$$

для розрахунку в пластичній стадії

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$$

$\alpha_{cr}$  – коефіцієнт, на який розрахункове навантаження повинно бути збільшене для досягнення загальної втрати стійкості у пружній стадії

$F_{cr}$  – критичне навантаження при втраті загальної стійкості у пружній стадії, визначене на основі початкових пружних жорсткостей

$F_{Ed}$  – розрахункове навантаження на конструкцію

# Моделювання конструкцій

Портальні рами з невеликими ухилами покриття і плоскі каркаси будівель балково-стійкового типу, мають  $\alpha_{cr}$  що може бути обчислений із використанням наближеної формули, за умови, що осьовий стиск у балках або ригелях є незначним:

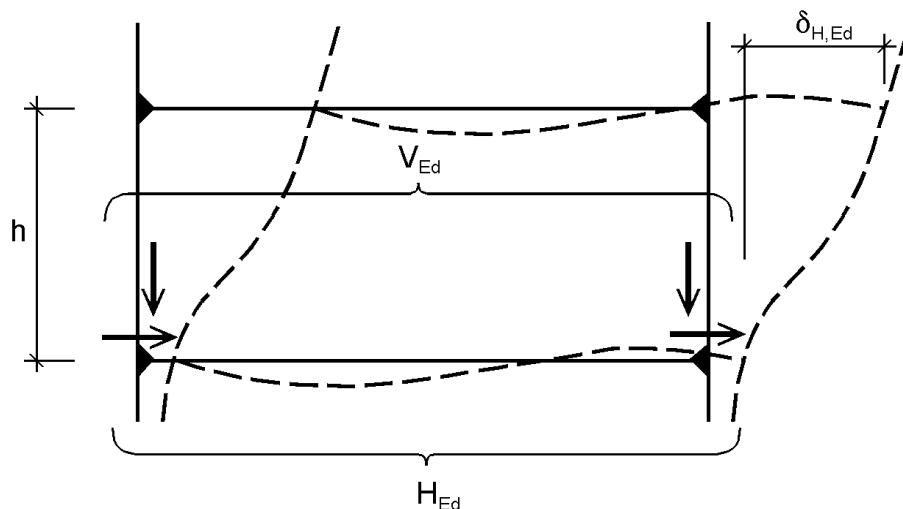
$$\alpha_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left( \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right)$$

$H_{Ed}$  – розрахункове значення горизонтальної реакції у нижній частині поверху від горизонтальних навантажень

$V_{Ed}$  – сумарне розрахункове вертикальне навантаження на конструкцію у нижній частині поверху

$\delta_{H,Ed}$  – горизонтальне переміщення верхньої частини поверху відносно нижньої при дії горизонтальних навантажень, прикладених на рівні кожного поверху

$h$  – висота поверху



## Перша група граничних станів

---

При перевірці граничного стану STR та/або GEO має виконуватися нерівність:

$$E_d \leq R_d$$

Для однорідних матеріалів (як сталь) розрахункове значення міцності можна визначити прямо на основі характеристичного:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$



## Перша група граничних станів

---

У загальному вигляді:

Для перевірки міцності **в пружній стадії** може застосовуватись критерій:

$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \left( \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \left( \frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

консервативна, оскільки виключає епюру напружень із пластичними деформаціями, що допускається при пружному розрахунку

## Розтяг

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0$$

Несуча здатність перерізу бруто у пластичній стадії

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$$

При наявності отворів:

$$\text{Min} \left( N_{pl,Rd} ; N_{u,Rd} = \frac{0.9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} \right)$$

Частинні  
коефіцієнти  
надійності для  
несучої здатності

$$\gamma_{M0} = 1.0$$

перерізу

$$\gamma_{M1} = 1.0$$

елементу

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

перерізу (розтяг)

## У каркасі встановлюють горизонтальні і вертикальні вязі

Кожна горизонтальна в'язь має витримувати зусилля розтягу:

$$\text{Внутрішні в'язі } T_i = 0.8(g_k + \psi q_k) s L \quad \text{або } 75 \text{ кН}$$

$$\text{В'язі по периметру } T_p = 0.4(g_k + \psi q_k) s L \quad \text{або } 75 \text{ кН}$$

$s$  - Крок в'язей

$L$  - Довжина в'язі

$g_k$  - характеристичне значення власної ваги кН/м.кв.

$q_k$  - характеристичне значення корисного навантаження кН/м.кв.

$\psi$  - коефіцієнт сполучення навантажень для відповідної аварійної розрахункової ситуації ( $\psi_1$  або  $\psi_2$ )

## Стиск (міцність)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c, Rd}} \leq 1.0$$

Несуча здатність для класів 1, 2 та 3 :

$$N_{c, Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$$

Отвори для болтів не враховують, якщо болти вставлені у отвори

Варіанти з вирізами враховують окремо

## Згинані елементи

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Розрахункова несуча здатність на згин відносно однієї з вісей

для Класу 1 та 2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

для Класу 3

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

$W_{el,min}$  обчислюється для найбільш напружених волокон

---

При згині відносно двох вісей для двотаврових профілів

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right] \leq 1$$

Отвори для єднальних деталей у розтягнутій полиці допускається не враховувати за умови, що

$$\frac{A_{f, net} 0.9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}}$$

$A_f$  – площа розтягнутої полиці

## Елементи при дії поперечної сили

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1.0$$

$V_{c,Rd}$  розрахункова несуча здатність перерізу на зсув у пластичній стадії =  $V_{pl,Rd}$ .

За відсутності кручення розрахунковий опір на зріз у пластичній стадії дорівнює:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Площа  $A_v$ , що працює на зсув, при навантаженні у площині найбільшої жорсткості:

а) для прокатних двотаврів

$$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

б) для зварних двотаврів і коробчатих профілів

$$1,2 \sum h_w t_w \text{ (до S460)}$$

с) для прокатних швелерів

$$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$$

е) для прямокутних замкнених профілів

$$A^*h / (b + h)$$

Місцева стійкість стінок при зсуві забезпечена, якщо

$$\frac{h_w}{t_w} < 60\varepsilon$$



## Згин і поздовжня сила

Для поперечних перерізів класів 1 і 2 повинна виконуватися наступна умова

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

$M_{N,Rd}$  – розрахунковий опір на дію моменту в пластичній стадії,  
зменшений внаслідок дії осьової сили  $N_{Ed}$

Для прямокутного суцільного перерізу без отворів для кріпильних деталей  
 $M_{N,Rd}$  необхідно приймати як:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[ 1 - \left( N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right]$$

Для двотаврових перерізів з двома осями симетрії та інших поличкових профілів, поправку осьової сили на дію моменту в пластичній стадії робити не потрібно, якщо виконуються умови:

Якщо відносно осі y - y

Якщо відносно осі z - z

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \quad \text{та}$$

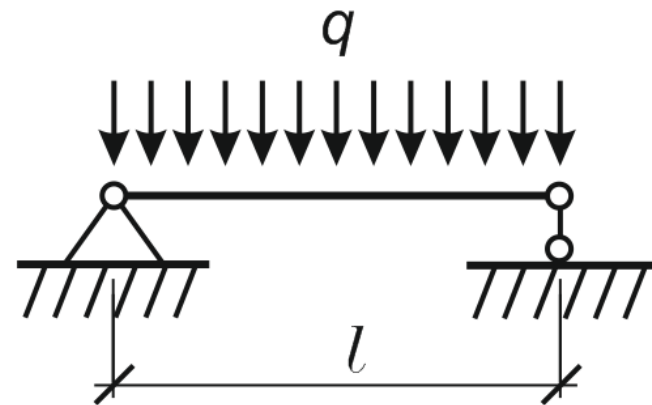
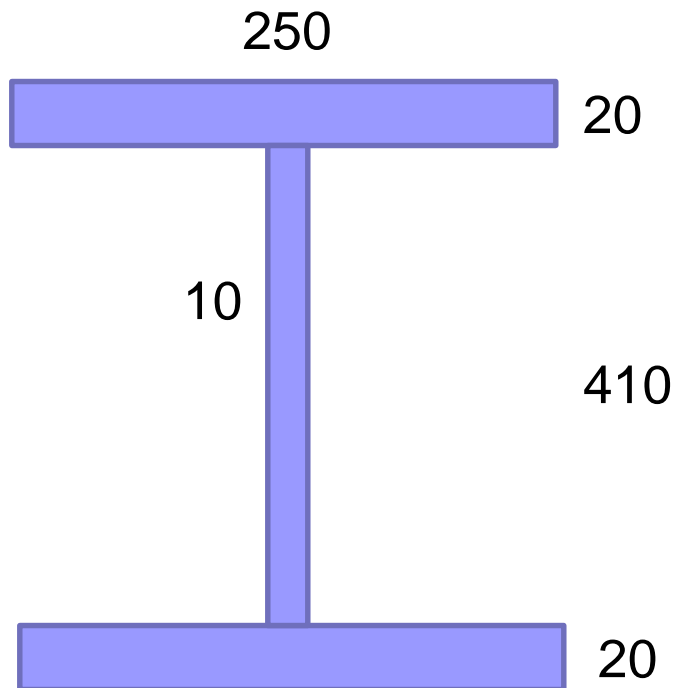
$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

## Приклад 3.

Прийнята сталь S235

Перевірити переріз балки на міцність при згині класу 1 та зі зведеним навантаженням 16 кН/м.пог.



Довжина балки 8 м

## Розв'язок:

---

Навантаження для розрахунку за першою групою граничних станів:

$$q = 16 \text{ кН/м.пог.}$$

Розрахунковий згинальний момент:

$$M_{Ed} = 16 * 8^2 / 8 = 128 \text{ кН*м}$$

Переріз відноситься до першого класу

Частинний коефіцієнт надійності для несучої здатності

$$\gamma_{M0} = 1.0$$

## Розв'язок:

Для товщини елементів менше 40 мм  $f_y = 235$  МПа

Момент опору перерізу

$$W_{pl} = 2311,2 \text{ см.куб.}$$

для Класу 1:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2311,2 * 235}{1,0 * 1000} = 543,13 \text{ кН*м}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{128}{543,13} = 0,24 < 1,0$$

**Висновок:** умова міцності при згині задовольняється

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**