

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**В. Д. КРПАК**

**ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ  
ЗА ЄВРОПЕЙСЬКИМИ НОРМАМИ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано вченою радою Київського національного  
університету будівництва і архітектури як навчальний посібник  
для здобувачів ступеня вищої освіти «магістр»  
галузі знань 19 - Архітектура та будівництво  
спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія  
освітньої програми «Промислове та цивільне будівництво»*

Київ  
Видавництво Ліра-К  
2023

УДК 624 012

К82

*Затверджено на засіданні вченої ради Київського національного  
університету будівництва і архітектури,  
протокол №11 від 25 вересня 2023 року*

Рецензенти: *Клімов Ю.А.*, д-р техн. наук, професор, КНУБА  
*Бамбура А.М.*, д-р техн. наук, професор, ДП НДІБК  
*Барабаш М.С.*, д-р техн. наук, професор, НАУ

**Кріпак В.Д.**

**К82** Основи проектування залізобетонних конструкцій за  
Європейськими нормами: навч. посіб. / В.Д. Кріпак. Київ :  
Видавництво Ліра-К, 2023. 148 с.  
ISBN 978-617-520-657-7

Викладені основні положення розрахунку і проектування  
будівельних конструкцій згідно вимог Європейських норм.  
Наведені методи розрахунку перерізів залізобетонних конструкцій  
відповідно до норм Єврокод 2. Теоретичні викладки ілюстровані  
допоміжними таблицями та прикладами розрахунку нормальних  
згинальних та позacentрово стиснутих і розтягнутих елементів.

Призначено для здобувачів ступеня вищої освіти «магістр»,  
які навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна  
інженерія».

**УДК 624 012**

**ISBN 978-617-520-657-7**

© Кріпак В.Д., 2023  
© КНУБА, 2023  
© Видавництво Ліра-К, 2023

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ .....	7
1.1. ЦІЛІ І ЗАДАЧІ .....	7
1.2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ.....	7
1.3. ПЕРЕДУМОВИ .....	8
2. ОСНОВНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	11
2.1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ. ....	11
2.2. РОЗРАХУНКИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	12
2.3. ІДЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ СПОРУДИ.....	14
2.4. ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	15
2.5. ГЕОМЕТРИЧНІ НЕДОСКОНАЛОСТІ.....	18
2.6. МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ КОНСТРУКЦІЙ.....	19
3. МАТЕРІАЛИ .....	20
3.1. БЕТОН .....	20
3.2. ДІАГРАМИ МЕХАНІЧНОГО СТАНУ БЕТОНУ .....	27
3.3. ОПІР БЕТОНУ ПРИ ТРИВІСНОМУ СТИСКУ .....	30
3.4. АРМАТУРНА СТАЛЬ.....	31
3.5. ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНА АРМАТУРА.....	34
4. ДОВГОВІЧНІСТЬ І ЗАХИСНИЙ ШАР АРМАТУРИ .....	37
4.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	37
4.2. УМОВИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	38
4.3. ВИМОГИ ДО ДОВГОВІЧНОСТІ.....	41
4.4. ЗАХИСНИЙ ШАР БЕТОНУ .....	42
5. МЕТОД РОЗРАХУНКУ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ.....	44
5.1. ЗАГАЛЬНЕ.....	44
5.2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І ПЕРЕДУМОВИ ДЕФОРМАЦІЙНОГО МЕТОДУ ЗАКЛАДЕНОГО В НОРМИ ЄВРОКОД.....	46
5.3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ НОРМАЛЬНИХ ПЕРЕРІЗІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	47
5.4. РОЗРАХУНКОВІ РІВНЯННЯ МЕТОДУ .....	51
6. РОЗРАХУНКИ ПРЯМОКУТНИХ ПЕРЕРІЗІВ.....	61
6.1. РОЗРАХУНКОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ.....	61
6.2. ВИЗНАЧЕННЯ АРМАТУРИ В ПРЯМОКУТНОМУ ПЕРЕРІЗІ.....	63

6.3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПРЯМОКУТНИХ ПЕРЕРІЗІВ .....	65
6.4. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ДО РОЗДІЛУ 6. ....	71
7. РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ .....	80
7.1. РОЗРАХУНКОВІ ВИПАДКИ .....	80
7.2. РОЗРАХУНКОВІ РІВНЯННЯ.....	83
7.3. ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ АРМАТУРИ В ЕЛЕМЕНТАХ ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ .....	89
7.4. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТАВРОВОГО ПРОФІЛЮ .....	90
7.5. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ДО РОЗДІЛУ 7. ....	97
8. СТИСНУТІ ЕЛЕМЕНТИ .....	105
8.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ. ....	105
8.2. ВПЛИВ ГНУЧКОСТІ СТИСНУТОГО ЕЛЕМЕНТА .....	106
8.3. РОЗРАХУНКИ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ .....	115
8.4. ПІДБІР АРМАТУРИ В СТИСНУТОМУ ПЕРЕРІЗІ.....	116
8.5. ВИЗНАЧЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПОЗАЦЕНТРОВО СТИСНУТОГО ПЕРЕРІЗУ.....	118
8.6. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ДО РОЗДІЛУ 8. ....	128
9. РОЗТЯГНУТІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ЕЛЕМЕНТИ.....	134
9.1. РОЗРАХУНКОВІ ВИПАДКИ .....	134
9.2. ПІДБІР АРМАТУРИ В РОЗТЯГНУТИХ ПЕРЕРІЗАХ.....	137
9.3. ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ДО РОЗДІЛУ 9. ....	141
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....	146

## ПЕРЕДМОВА

В 1975 році Комісія Європейського союзу прийняла рішення про впровадження системи єдиних погоджених технічних правил для проектування будівель і споруд на території держав членів Союзу. Створений Постійний комітет протягом 15 років розробив програму Єврокодів і в 1989 році комісія і держави Євросоюзу затвердили статус Єврокодів як європейського стандарту (EN). Була прийнята постанова що Єврокоди являються базовими документами для виконання основних етапів проектування і зведення усіх будівель і споруд в державах Євросоюзу. Ідеологія впровадження Єврокодів передбачає що національний стандарт кожної країни повинен включати повний текст Єврокоду і має право і можливості для інтерпретації окремих положень, які будуть використовуватися в цій країні: значення та класи матеріалів; географічні та кліматичні особливості (сніг, вітер); деякі параметри та коефіцієнти; оговорені альтернативні методики розрахунків.

Основною задачею проектування залізобетонних конструкцій відповідно до вимог норм Єврокод являється забезпечення механічного опору і стійкості залізобетонних конструкцій і будівель з них. Єврокоди являються також основою для розробки погоджених умов на усі будівельні виробы, їх виготовлення та використання.

В Україні при створенні власної нормативної бази в галузі будівництва [3,4,5,6] більшість вимог і правил, що регламентують проектування залізобетонних конструкцій, були узгоджені з відповідними вимогами норм Єврокоду.

Директивні матеріали профільного міністерства та галузевої академії наук України вимагають якнайширшого впровадження в будівельну практику норм, які використовують країни Євросони.

Наряду з нормативними документами в Україні опублікован ряд робіт [8,9,10,11,12,13], орієнтованих на використання основних положень і вимог, синхронізованих з вимогами Єврокод 2 [1], з доведенням до практичного застосування для розрахунків залізобетонних конструкцій.

Метою цього навчального посібника є ознайомлення читачів з основними розрахунковими положеннями норм Єврокод 2 та використання цих норм для виконання практичних розрахунків залізобетонних конструкцій і їх конструюванні. Велика увага приділена методу розрахунку нормальних перерізів деформаційним методом з використанням лінійно-параболічної діаграми деформування бетону. Описаний в посібнику метод розрахунків нормальних перерізів визнаний в Єврокод 2 основним при розрахунку конструкцій довільної форми перерізу, зрозумілий за логікою дій і, що особливо важливо, табульований, що дозволяє використовувати його в навчальному процесі студентами будівельних вузів при виконанні розрахункових робіт і курсових проектів. Бажано, щоб деформаційний метод з лінійно-параболічною діаграмою деформування бетону був включений в перелік рекомендованих, при подальшій розробці нормативних документів України.

Розрахунки похилих перерізів залізобетонних елементів по поперечній силі та розрахунки елементів за другою групою граничних станів в даному посібнику не розглядалися. По перше – в діючих нормах в Україні [5,6] ці розділи в повних об'ємах адаптовані до вимог Єврокод 2, а по друге – такі розрахунки наведені в доступних для користувачів джерелах [8,9,10].

В посібнику наведені численні приклади розрахунку нормальних перерізів залізобетонних конструкцій при згині, позацентровому стиску і розтягу та, необхідні для виконання розрахунків, таблиці з допоміжними коефіцієнтами.

Посібник може представляти інтерес для студентів, аспірантів, інженерів, слухачів курсів по підвищенню кваліфікації та спеціалістів, які вивчають залізобетонні конструкції.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

## 1.1. ЦІЛІ І ЗАДАЧІ

Єврокод 2 застосовується для проектування і будівництва будівель і інженерних споруд із звичайного і попередньо напруженого монолітного і збірного залізобетону. В основу проектування і перевірок покладено EN 1990: Основи проектування конструкцій.

Єврокод 2 розглядає вимоги тільки стосовно несучої здатності та стійкості, придатності до нормальної експлуатації, довговічності та вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

Єврокод 2 призначений для застосування у поєднанні з:

EN 1990: Основи проектування конструкцій і споруд

EN 1991: Дії та впливи на споруди

hENs: Будівельні вироби для залізобетонних конструкцій

ENV 13670: Виробництво залізобетонних конструкцій

EN 1997: Проектування основ (геотехніка)

EN 1998: Проектування сейсмостійких залізобетонних конструкцій для сейсмоактивних зон

Єврокод 2 складається з таких частин:

Частина 1.1: Загальні норми і правила для конструкцій і споруд.

Частина 1.2: Протипожежне проектування конструкцій.

Частина 2: Мости зі звичайного і попередньо напруженого залізобетону.

Частина 3: Водозахисні споруди і резервуари.

В посібнику, який складається з 6 розділів, розглядається і коментується тільки Частина 1.1 в скороченому вигляді.

## 1.2. НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

При розробці норм Єврокод 2 передбачається, що їх застосування буде поєднуватися з вимогами і правилами таких міжнародних стандартів:

EN 1990: Основи проектування конструкцій і споруд

EN 1991-1-5: Впливи на споруди: дія температури

EN 1991-1-6: Впливи на споруди: дії, обумовлені особливостями зведення споруд

EN 1997: Проектування основ (геотехніка)  
EN 197-1: Цемент. Склад, технічні вимоги і критерії відповідності  
EN 206-1: Бетон. Склад, технічні вимоги і критерії відповідності  
EN 12350: Випробування бетону в молодому віці  
EN 10080: Арматурна сталь для звичайного залізобетону  
EN 10138: Арматурна сталь для попередньо напруженого залізобетону  
EN 17760: Допустимі стики армуванні елементів  
EN 13670: Зведення залізобетонних конструкцій  
EN 13791: Випробування бетону  
EN ISO 15630: Сталь для звичайної і попередньо напруженої арматури. Методи випробувань

### 1.3. ПЕРЕДУМОВИ

В доповнення до основних загальних передумов, які викладені у EN 1990, прийняті такі умови:

- конструкції споруд повинні проектуватися персоналом відповідної кваліфікації та досвіду;
- на заводах, комбінатах і будівельних майданчиках, повинен бути забезпечений контроль якості та відповідний нагляд;
- будівництво повинно вестися персоналом, який має відповідний досвід і кваліфікацію;
- будівельні матеріали і вироби повинні бути сертифіковані в відповідності з Єврокодом;
- будівельні об'єкти будуть експлуатуватися згідно з призначенням за проектом.

### 1.4. СИМВОЛИ І ПОЗНАЧЕННЯ

$A$	–	площа поперечного перерізу
$A_c$	–	площа поперечного перерізу бетону
$A_{s1}$	–	площа поперечного перерізу розтягнутої арматури
$A_{s2}$	–	площа поперечного перерізу арматури, розташованої в стиснутій зоні бетону
$A_{s,min}$	–	мінімальна площа перерізу арматури
$A_{sw}$	–	площа поперечного перерізу поперечної арматури

$C$	– клас бетону
$E_{cm}$	– середнє значення початкового модуля пружності бетону
$E_{ck}$	– характеристичне значення початкового модуля пружності бетону
$E_s$	– розрахункове значення модуля пружності арматурної сталі
$EI$	– згинальна жорсткість
$I$	– момент інерції перерізу бетону
$L$	– довжина
$M$	– згинальний момент
$M_{Ed}$	– розрахункове значення зовнішнього згинального моменту
$M_{Rd}$	– розрахункова несуча здатність перерізу при згинанні
$N$	– осьова поздовжня сила
$N_{Ed}$	– розрахункове значення зовнішньої осьової сили
$N_{Rd}$	– розрахункова несуча здатність перерізу при розтягу
$V$	– поперечна сила
$V_{Ed}$	– розрахункове значення поперечної сили
$P$	– сила попереднього напруження
$a_1$	– відстань від центра ваги арматури $A_{s1}$ до краю перерізу більше розтягнутого чи менш стиснутого
$a_2$	– відстань від центра ваги арматури $A_{s2}$ до краю перерізу більше стиснутого чи менш розтягнутого
$b$	– ширина поперечного перерізу елемента
$b_{eff}$	– розрахункова ширина полиці таврового перерізу
$b_w$	– ширина ребра таврового перерізу
$c$	– захисний шар бетону
$d$	– робоча висота поперечного перерізу
$h$	– загальна висота перерізу
$h_f$	– висота полиці таврового перерізу
$l_0$	– розрахункова довжина елемента
$e_a$	– випадковий ексцентриситет
$e_0$	– розрахунковий ексцентриситет
$e_{tot}$	– ексцентриситет прикладення сили, визначений з урахуванням випадкового ексцентриситету і впливу поздовжнього вигину

$f_{bd}$	– розрахункове зчеплення бетону з арматурою в зоні анкерування
$f_{cd}$	– розрахункове значення міцності бетону на стиск
$f_{ck}$	– характеристичне значення циліндричної міцності бетону на стиск в віці 28 діб
$f_{cm}$	– середнє значення міцності бетону на стиск
$f_{ctm}$	– середнє значення міцності бетону на розтяг
$f_{ctk}$	– характеристичне значення міцності бетону на розтяг
$f_p$	– значення міцності на розтяг попередньо напруженої арматури
$f_{pk}$	– характеристичне значення міцності попередньо напруженої арматури
$f_{p0,1}$	– умовна границя текучості попередньо напруженої арматури, при якій залишкові деформації складають 0,1%
$f_{p0,1k}$	– характеристична умовна границя текучості попередньо напруженої арматури, при якій залишкові деформації складають 0,1%
$f_{p0,2k}$	– характеристична умовна границя текучості попередньо напруженої арматури, при якій залишкові деформації складають 0,2%
$\gamma$	– коефіцієнт надійності
$x$	– висота стиснутої зони перерізу
$x_{lim}$	– гранична висота стиснутої зони перерізу
$z_c$	– плече внутрішньої пари сил в перерізі
$\gamma_c$	– коефіцієнт надійності для бетону
$\gamma_s$	– коефіцієнт надійності для звичайної і попередньо напруженої арматури
$\gamma_m$	– коефіцієнт надійності для урахування невизначеностей властивостей матеріалу
$\delta$	– показник збільшення / перерозподілу
$\zeta$	– показник зменшення / коефіцієнт перерозподілу
$\varepsilon_c$	– значення відносних деформацій стиску бетону
$\varepsilon_{cl}$	– значення відносних деформацій стиску бетону при максимальних напруженнях $f_c$
$\varepsilon_{cu}$	– значення відносних граничних деформацій стиску бетону

$\varepsilon_{cu}$	– значення відносних граничних деформацій розтягу бетону
$\varepsilon_u$	– значення відносних деформацій в арматурі при максимальному навантаженні
$\varepsilon_{uk}$	– характеристичне значення відносних деформацій в арматурі при максимальному навантаженні
$\lambda$	– гнучкість
$\rho$	– густина бетону в абсолютно сухому стані
$\rho_l$	– коефіцієнт армування для поздовжньої арматури
$\sigma_c$	– напруження стиску у бетоні
$\sigma_{cu}$	– напруження стиску у бетоні при граничній деформації стиску $\varepsilon_{cu}$

## 2. ОСНОВНІ ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.

### 2.1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ.

Основні правила проектування залізобетонних конструкцій наведені в EN 1990: Основи проектування споруд. Ці правила закладені, з незначною інтерпретацією, і в нормативні документи України [5,6].

Бетонні та залізобетонні конструкції, спроектовані за стандартами обох норм, повинні відповідати вимогам щодо:

- безпеки (не виникало руйнування при самих невідгідних сполученнях навантажень);
- придатності до нормальної експлуатації (вимоги щодо тріщиностійкості, надмірного розкриття тріщин, переміщень, коливань, кутів повороту);
- довговічності;
- технологічності (охоплює стадії виготовлення, транспортування, складування, монтажу);
- економічності.

Навантаження, які використовуються в розрахунках, приймають по відповідних розділах EN 1991, які включають:

- EN 1991-1-1: Щільність, власна вага і навантаження на конструкції,
- EN 1991-1-2: Вплив вогню,
- EN 1991-1-3: Снігові навантаження,

EN 1991-1-4: Вітрові навантаження,  
EN 1991-1-5: Температурні впливи,  
EN 1991-1-6: Навантаження при виготовленні,  
EN 1991-1-7: Випадкові навантаження в вигляді ударів і вибухів,  
EN 1991-2: Рухомі навантаження на мости,  
EN 1991-3: Навантаження від кранів і інших механізмів,  
EN 1991-4: Навантаження в силосах і резервуарах.

Вплив температур враховують в основному тільки при розрахунках по придатності до нормальної експлуатації (друга група граничних станів), при розрахунках за несучою здатності вплив температур враховують тільки тоді, коли цей вплив істотно значущий.

## **2.2. РОЗРАХУНКИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ.**

Основи і методи розрахунку залізобетонних конструкцій являються ідентичними як для норм Єврокод 2 так і для будівельних норм України.

Бетонні та залізобетонні конструкції, спроектовані за стандартами обох норм, повинні відповідати вимогам щодо:

- безпеки (не виникало руйнування при самих невігідних сполученнях навантажень);
- придатності до нормальної експлуатації (вимоги щодо тріщиностійкості, надмірного розкриття тріщин, переміщення, коливань, кутів повороту);
- довговічності;
- технологічності (охоплює стадії виготовлення, транспортування, монтажу);
- економічності.

Метод розрахунку залізобетонних конструкцій – метод граничних станів. Цей метод спрямований на забезпечення безпечної експлуатації конструкції з урахуванням мінливості властивостей матеріалів, навантажень і впливів, геометричних характеристик конструкцій, умов їх роботи, а також ступеня відповідальності (значущості) проєктованих об'єктів, що визначаються матеріальним і соціальним збитком при порушенні їх експлуатаційних характеристик. При розрахунку методом граничних станів встановлені дві групи граничних станів конструкції,