

Лантух-Лященко А.І., д-р техн. наук

ЄВРОКОД – НОВИЙ ПІДХІД В ПРОЕКТУВАННІ МОСТІВ

Анотація. Стаття присвячена огляду Єврокоду та аспектам його впровадження в Україні.

Ключові слова: Єврокод, нормативна база проектування, надійність, довговічність.

Аннотация. Статья посвящена обзору Еврокода и аспектам его внедрения в Украине.

Ключевые слова: Еврокод, нормативная база проектирования, надежность, долговечность.

Annotation. The article presents overview of the Eurocode and some aspect of implementation.

Key words: Eurocode, regulatory design framework, reliability, durability.

Проблема. Цією публікацією автор хотів би привернути увагу науковців і проєктантів будівельної галузі України до процесу неминучого переходу в проєктуванні за спільними нормами Європейського Союзу – так званого Єврокоду.

Чому Єврокод? Мотивів є декілька. По-перше, впровадження європейських нормативних документів на проєктування об'єктів будівництва є одним із складових елементів української державної політики інтеграції з Євросоюзом [1]. На державному рівні прийнято закони і постанови про наближення законодавчої бази України до європейської. Чітко сформульована державна концепція адаптації національної нормативної бази до нормативів ЄС, її інтегрування у європейський нормативно-правовий простір технічного регулювання у будівництві [2], [3].

По-друге, сьогодні експертами всього світу визнається, що Єврокод є новітньою, найбільш досконалою базою нормативного регулювання в

будівництві. І дійсно, протягом 30 років в розробці, введенні та науковому супроводі приймають активну участь видатні фахівці більшості країн Європи. Завдяки цьому Єврокод адсорбував сучасні наукові досягнення в теорії споруд, механіці ґрунтів, механіці і фізиці будівельних матеріалів.

По-третє, Єврокод – це перша в світі система проектування, в основу концепції якої, покладено принцип *керованої* надійності і довговічності. Безумовно, до цього всі системи проектування, мали за центральну мету гарантувати безпеку споруди, проте тільки за Єврокодом проектанту було надано *апарат керування надійністю*, а відтак і довговічністю об'єкта будівництва.

Мотивацію актуальності впровадження в Україні Єврокодів можна було би продовжити, проте викладено, мабуть достатньо, щоби бачити важливість і необхідність гармонізації нормативної бази України з нормативною базою ЄС.

В рамках вдосконалення національної нормативної бази будівництва останні роки знаменуються рішучими кроками з впровадження Єврокодів в проектування споруд. Так, починаючи з липня 2013 р., Законом України «Про будівельні норми» [1] встановлюється період одночасної дії національних будівельних норм та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами ЄС, тобто Єврокодів. Порядок застосування зазначених норм визначається постановою Кабінету Міністрів України від 23.05.2011 № 547 [2] та національним нормативним документом ДБН А.1.1-94:2010 [4]. Це означає що в країні існуватиме дві паралельні системи проектування об'єктів будівництва. Як довго – прогнозувати сьогодні неможливо.

План впровадження Єврокодів в Україні, як і у всіх країнах ЄС, має дві глобальні складові: підготовка гармонізованих стандартів і заходи стосовно інформування та освіти спеціалістів і студентів за новою системою нормативного регулювання в будівництві.

Гармонізація (термін з глосарію Єврокодів) – це є заходи подальшого розвитку Єврокодів, які складаються з ідентичного перекладу стандартів на національну мову, доповнення їх параметрами національного рівня та погодженими технічними специфікаціями. Україна сьогодні пройшла вже значну частину цього шляху – підготовлено українською мовою ідентичні переклади всіх 58 документів Єврокоду, розпочато роботу з підготовки, так званих, Національних додатків (НД), що містять параметри відкриті для

національного вибору, розроблено велику кількість погоджених специфікацій. За планами Мінрегіону України гармонізація більшості стандартів Єврокоду має бути закінчена до 1.07.2013 року.

Що стосується освітянських заходів стосовно Єврокодів, то ця робота в Україні тільки починається. Програмами ЕС на період співіснування двох гілок нормативного регулювання в будівництві передбачаються такі заходи:

- інформування і надання спеціалістам повних знань про Єврокоди;
- надання можливості спеціалістам постійного професійного розвитку і навчання;
- заохочення укладання підручників, настанов з проектування, програмного забезпечення тощо для сприяння впровадженню Єврокодів;
- заохочення університетів і технічних коледжів до викладання проектування будівель і споруд за Єврокодами.

Все це вельми коштовні заходи, проте більшість країн Європи вважають такі витрати виправданими в силу значного очікуваного економічного ефекту. (Так, наприклад, вартість перепідготовки в Голландії 6 тис. інженерів-проектувальників сягнула близько 10 млн. євро.)

Впровадження Єврокодів у жодній країні не здійснюється примусово. Широко прийняті засоби заохочення замовника та проектувальників застосовувати Єврокод. Наприклад, при проведенні міжнародних тендерів на проектування у ЄС усталено висувається вимога застосування Єврокодів, надається перевага проектам за Єврокодами при укладанні угод, що фінансуються за державні або муніципальні кошти.

Цілі і статус Єврокодів. Головна мета Єврокодів декларується як документ регулювання в будівництві країн ЄС (наприклад в [5]), що застосовується в таких цілях:

- як засіб довести відповідність будівель і споруд основним вимогам Директиви Ради 89/106/ЕЕС, зокрема основній вимозі N°1- Механічна стійкість та стійкість і основній вимозі N°2 – Пожежна безпека;
- як основа для укладання контрактів для будівель і споруд та пов'язаних з ними інженерних послуг;
- як основа для складання узгоджених технічних специфікацій для будівельних виробів (ENs та ETAs).

Призначенням Єврокодів, за словами керівників Технічного комітету CEN/TC250 [6], є досягнення таких потенційних переваг:

- забезпечення взаєморозуміння при проектуванні споруд між замовниками, експлуатаційними службами, проектантами, будівельниками і постачальниками будівельних матеріалів;
- забезпечення єдиних критеріїв і методів при розробці конкретних вимог з механічної міцності, стійкості, вогнетривкості, довговічності та економічності;
- сприяння ринку і застосуванню будівельних компонентів країнах ЄС;
- бути загальною основою для досліджень і дослідних розробок, що має привести до значного зниження витрат на дослідження;
- надання можливості розробки універсальних засобів проектування та відповідного програмного забезпечення;
- сприяння європейським фірмам і підприємцям будівельної галузі, проектантам та постачальникам будівельних матеріалів підвищенню їх конкурентоспроможності.

Склад і структура нормативної бази ЄС. Нормативна база регулювання в будівництві ЄС продумано структурована, має кілька рівнів ієрархії. На найвищому рівні знаходилася донедавна Директива Ради ЄС 89/106/ЕЕС щодо зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень держав-членів ЄС стосовно будівельних матеріалів. (З початку 2013 року Директиву замінено на Регламент ЄС № 305/2011 Європейського Парламенту і Ради). Цими документами встановлено загальні підходи до технічного регулювання в галузі будівництва на всій території ЄС. Передбачається, що рівень потрібної безпеки будівельних об'єктів на території тієї чи іншої держави є виключною прерогативою цієї держави. Установлено, що вимоги до забудови територій та об'єктів будівництва приймаються на національному рівні.

Тлумачні та керівні документи до Директиви уточнюють її положення і підкреслюють її специфічність у порівнянні з іншими директивами.

Сьогодні у ЄС налічується близько 500 стандартів, які забезпечують відповідність вимогам Директиви, крім того у галузі будівництва діє біля 2500 інших стандартів (категорії В та Vh), що так чи інакше пов'язані з виконанням Директиви. Ці складові є невід'ємними частинами технічного регулювання у комплексній сфері будівництва та промисловості будівельних матеріалів.

Структура європейської системи технічного регулювання у будівництві наведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура Європейської системи нормування у будівництві

Єврокоди стосуються виключно проектування будівельних конструкцій. Цим пакетом стандартів охоплюються основні будівельні конструктивні матеріали (бетон, сталь, деревина, камінь/цегла й алюміній), всі сфери проектування конструкцій (навантаження, механічна міцність та стійкість, захист від пожежі, сейсміка тощо).

Сама система Єврокод також чітко структурована: складається з 10 Європейських стандартів (EN 1990, EN 1991, ..., EN 1999) для проектування конструкцій, а кожний стандарт, в свою чергу, складається з декількох частин (загалом є 58 частин), котрі присвячені конкретним технічним аспектам, наприклад «Дії на конструкції», «Проектування сталезалізобетонних елементів мостів» і т.п. Стандарти Єврокоду верхнього рівня та гармонізовані національні стандарти представлені в табл. 1.

Проектування мостів за Єврокодом регламентується, окрім загального для всіх конструкцій стандарту EN 1990 Eurocode: Basis of Structural Design (Основи проектування конструкцій), п'ятьма стандартами другого рівня (табл. 2). Цими стандартами охоплюються всі типи мостів. Проектування фундаментів

виконується за стандартом першого рівня EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design (Геотехнічне проектування).

Таблиця 1 – Стандарти Єврокоду верхнього рівня

Оригінальний документ	Український гармонізований документ
EN 1990 Eurocode: Basis of Structural Design	ДСТУ-Н Б EN 1990 Єврокод: Основи проектування конструкцій
EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures	ДСТУ-Н Б EN 1991 Єврокод 1: Дії на конструкції
EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures	ДСТУ-Н Б EN 1992 Єврокод 2: Проектування бетонних конструкцій
EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures	ДСТУ-Н Б EN 1993 Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій
EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures	ДСТУ-Н Б EN 1994 Єврокод 4: Проектування сталезалізобетонних конструкцій
EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures	ДСТУ-Н Б EN 1995 Єврокод 5: Проектування дерев'яних конструкцій
EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures	ДСТУ-Н Б EN 1996 Єврокод 6: Проектування конструкцій кам'яної кладки
EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design	ДСТУ-Н Б EN 1997 Єврокод 7: Геотехнічне проектування
EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance	ДСТУ-Н Б EN 1998 Єврокод 8: Проектування конструкцій при сейсмічному навантаженні
EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminum structures	ДСТУ-Н Б EN 1999 Єврокод 9: Проектування алюмінієвих конструкцій

Таблиця 2 – Стандарти Єврокоду другого рівня – мости

Оригінальний документ	Український гармонізований документ
EN 1991-2:2003 Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges	ДСТУ-Н Б EN 1991-2:2010 «Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 2. Рухомі навантаження на мости (EN 1991-2:2003, IDT)»
EN 1992-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures – Concrete bridges – Design and detailing rules	ДСТУ-Н Б EN 1992-2:2012 «Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 2. Залізобетонні мости. Правила проектування (EN1992-2:2005, IDT)»
EN 1993-2:2006 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 2: Steel Bridges	ДСТУ-Н Б EN 1993-2:2012 «Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 2. Сталеві мости (EN 1993-2:2006, IDT)»
EN 1994-2:2005 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 2: Bridges	ДСТУ-Н Б EN 1994-2:2012 «Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 2. Загальні правила і правила для мостів (EN 1994-2:2005, IDT)»
EN 1995-2:2004 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 2: Bridges	ДСТУ-Н Б EN 1995-2:2012 «Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 2. Мости (EN 1995-2:2004, IDT)»

Концепція надійності в Єврокодi. В одному із перших пунктів стандарту [7] декларується наступне: «EN 1990 дає керівні вказівки щодо аспектів надійності, які відносяться до безпеки, експлуатаційної придатності та довговічності»

В ідейних засадах визначення надійності споруди за Єврокодом немає революційних звершень. Це фундаментальні принципи пов'язані для нас із прізвищами В.В. Болотіна [13] та А.Р. Ржаніцина [14]. Однак на відміну від всіх норм, котрі застосовувалися раніше і мали “приховану” надійність, про рівень якої ми тільки здогадуємося, Єврокоди мають апарат “керованої” надійності. Це означає, що рівень надійності споруди перевіряється проектантом за допомогою кількісного показника і може змінюватись на вимогу замовника чи іншого компетентного органу. В цій концепції безумовна принципова новизна європейської системи нормативного регулювання в будівництві.

Проте, в Єврокодах ми не вбачаємо ніякої абсолютизації кількісного показника надійності. Поряд із своїм основним призначенням – характеризувати рівень безпеки споруди, він має іншу функцію – служить інструментом оптимізації якості проекту. Так в [7], знаходимо: “Слід наголосити, що значення параметру надійності є формальним чи уявним показником ймовірності руйнування. Він використовується скоріше, як засіб для розвитку послідовних проектних правил, ніж для опису частоти руйнування конструкції”.

Поняття надійності споруди трактується як ймовірність того, що буде перевищеним граничний стан:

$$P_f = P(F > F_d), \quad (1)$$

де F_d – резерв узагальненої опірності споруди в граничному стані:

$$F_d = R - Q, \quad (2)$$

де R – узагальнена опірність споруди; Q – узагальнене навантаження.

Наведене класичне формулювання надійності є загальноновизнаним.

Єврокод рекомендує скористатися для визначення проектної надійності одним з трьох методів:

- за допомогою коефіцієнтів надійності, визначених на основі історичного досвіду і гіпотез математичної статистики. Ці методи названі “Рівень I”;
- застосуванням методики “FORM”, заснованої на класичних засадах теорії ймовірностей і надійності – “Рівень II”;
- застосуванням новітніх точних рішень теорії надійності – “Рівень III”.

Застосування методики рівня 1 не потребує від проектанта виконання будь-яких ймовірнісних розрахунків. Розрахунки мають вигляд детермінованих, а всі необхідні обчислення в рамках теорії ймовірностей і математичної статистики, у цьому випадку, виконані укладачами норм. Вимоги надійності формуються як виконання нерівності:

$$E(F_k \gamma_k) [R(a_k, f_k, \gamma_k)] \quad (3)$$

де E – узагальнена зовнішня дія на споруду; R – узагальнений опір споруди; F_k – зовнішнє навантаження; a_k – геометричні параметри; f_k – механічні характеристики; γ_k – коефіцієнти надійності, що отримуються з виразу: $\gamma_k = R_k / E_k$.

Метода рівня II вимагає від проектанта імовірнісних розрахунків. Умова безпеки формується як ймовірне рішення проблеми:

$$F_d = R - E, \quad (4)$$

де F_d – узагальнений резерв опірності споруди, $F_d > 0$.

Вводиться характеристика безпеки β , котра визначається на основі фундаментальних принципів теорії ймовірностей та математичної статистики, виходячи із наступних гіпотез:

- вважається, що F_d , R та E є випадковими величинами;
- постулюється, що розподіл R та E і, як слідство F_d , є нормальним.

Характеристика безпеки вводиться як відношення середнього значення резерву опірності споруди до її стандарту:

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \quad (5)$$

де μ_R – середнє значення узагальненого опору споруди; μ_E – середнє значення узагальненого навантаження споруди; σ_R – середнє квадратичне відхилення узагальненого опору споруди (стандарт); σ_E – середнє квадратичне відхилення узагальненого навантаження споруди.

(Формулювання характеристики безпеки (5) належить А.Р. Ржаніцину [14]. В літературі зараз нерідко зустрічається назва параметру β – “індекс надійності”, що є дослівним перекладом англійського “reliability index”. Ми вважаємо за доцільне вживати ту назву, під якою визначення цього параметру було вперше опубліковано.)

Між надійністю за визначенням (1) та характеристикою надійності є чіткий математичний зв'язок:

$$P_f = \Phi(-\beta), \quad (6)$$

де $\Phi(-\beta)$ – функція Лапласа.

Графічна інтерпретація характеристики безпеки в просторі випадкових змінних E, R наведена на рис. 2.

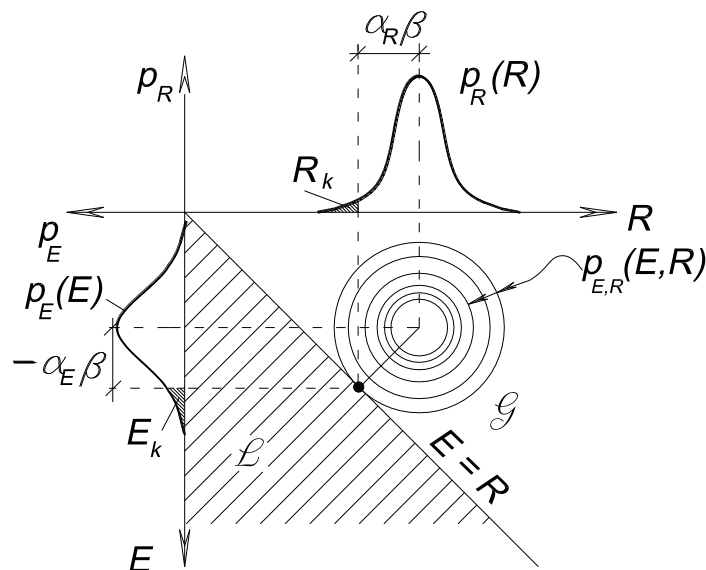


Рисунок 2 – Характеристика безпеки

В закордонній літературі наведене формулювання кількісного параметру надійності має назву FORM (First-Order Reliability Method).

Надійність споруди на рівні II досягається перевірками в граничних станах першої та другої груп. В необхідних випадках має бути здійснена перевірка за втомою. Розрахункові значення зовнішньої дії на споруду E_d та опору споруди R_d визначаються так, щоб ймовірність отримання більш несприятливого значення була наступною:

$$\begin{aligned} P(E > E_d) &= \Phi(+\alpha_E\beta), \\ P(R > R_d) &= \Phi(+\alpha_R\beta), \end{aligned} \quad (7)$$

де α – ваговий коефіцієнт методи FORM ($-1 \leq \alpha \leq +1$); β – мінімальне значення характеристики рекомендоване в [7].

Вагові коефіцієнти α можуть бути вирахованим точно через стандарти σ_R та σ_E :

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R / \sigma_E}{\sqrt{1 - (\sigma_R / \sigma_E)^2}}; \quad \alpha_E = \frac{1}{\sqrt{1 - (\sigma_R / \sigma_E)^2}} \quad (8)$$

Проте, Єврокод дозволяє приймати емпірично отримані значення:

$$\alpha_R = 0,8; \quad \alpha_E = -0,7 \quad (9)$$

В практичних розрахунках Єврокод [7] рекомендує скористатися залежністю записаною через параметри закону розподілу μ та σ .

$$\mu_E - \alpha_E\beta \sigma_E [\mu_R - \alpha_R\beta \sigma_R \quad (10)$$

Користуючись умовою (10) знаходять значення коефіцієнтів надійності γ_i для змінної X_i , що входить до виразу E або R :

$$\gamma_i = (\mu_i - \alpha_i \beta \sigma_i) / X_{ki}, \quad (11)$$

де X_{ki} – нормативне значення i -тої змінної.

Нерівності (10) наведені в [7] також для розподілів лог-нормального та Гумбеля.

Таким чином, для практичних розрахунків надійності за Єврокодом на рівні II потребується мати значення параметрів розподілу всіх випадкових змінних, тобто механічних характеристик матеріалів, топологічних даних та навантажень.

Що стосується визначення надійності на рівні III, то Єврокод не дає ніяких рекомендацій відносно методів, окрім вказівки що це “точні методи”.

Висновки

1. Глобалізація європейського економічного і соціального простору передбачає вироблення уніфікованих, загальноєвропейських основ для інтеграції. В економічній сфері такими основами є норми і стандарти, що дозволяють учасникам виробничого процесу в різних країнах пред'являти ідентичні вимоги до продукції і послуг країн ЄС. В галузі будівництва такими стандартами є Єврокод.

2. Єврокод сьогодні має репутацію новітньої найбільш досконалої бази нормативного регулювання в будівництві. Міжнародне значення, що надається Єврокодам обумовлене їх сприйняттям, як єдиних методичних підходів до проектування конструкцій. Головним керівним принципом стандартів є забезпечення безпеки будівель і споруд.

3. Впровадження Єврокодів в державах ЄС є добровільним. Політика застосування Єврокодів базується на принципах урахування національних законодавчих та нормативних актів і традицій проектування. Це означає, що проектувальник, застосовуючи Єврокоди, приймає основні визначальні параметри регламентованими на національному рівні. Ці параметри описуються в спеціальному документі, так званому, Національному додатку.

4. Можна очікувати, що в найближчі роки в Україні розпочнеться проектування будівель і споруд за Єврокодом. Національна нормативна база в будівництві, постійно вдосконалюючись, буде існувати, за оцінкою автора, ще не менше як пів століття.

Терміни і визначення:

CEN – Європейський комітет зі стандартизації (Comite Europeen de Normalisation);

ETAG – Європейські директиви з технічного контролю (European Technical Approval Guidelines);

hEN гармонізований європейський стандарт на будівельну продукцію (Harmonized European Standard for a construction product);

Національний додаток (National Annex) – додаток до документу Єврокоду, який містить параметри, що визначаються на національному рівні.

hEN и **ETA** Технические условия (Technical specifications) на строительные изделия.

Література

1. Закон України «Про будівельні норми» в редакції від 05.01.2013.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 23.05.2011 № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».
3. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.07.2010 № 1436-р «Про схвалення Концепції реалізації державної політики з нормативного забезпечення будівництва в Україні на період до 2015 року».
4. ДБН А.1.1-94:2010 «Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами». Мінрегіонбуд. К.: 2010.
5. ДСТУ-Н Б.В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN). Мінрегіонбуд, Укрархбудінформ. – К.: 2009.
6. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990: Основы проектирования сооружений: пер. с англ. / Х. Гульванесян, Ж.-А. Калгаро, М. Голицки; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит, ун-т» ; М.: МГСУ, 2011.
7. EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. European Committee for Standardization. Brussels: 2003.
8. EN 1991-2:2003 Eurocode 1: Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges. – European Committee for Standardization. Brussels: 2003.
9. EN 1992-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures – Concrete bridges – Design and detailing rules.
10. EN 1993-2:2006 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 2: Steel Bridges.
11. EN 1994-2:2005 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 2: Bridges.
12. EN 1995-2:2004 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 2: Bridges.
13. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982.- 351с.
14. Ржаницын А.Р. Применение статистических методов в расчетах сооружений на прочность и безопасность. – Строительная промышленность. 1952, № 6.