



Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-4-2023-1>

УДК 624.046:5



ПЕРЕЛЬМУТЕР А.В.

Доктор техн. наук, головний науковий співробітник Науково-виробниче товариство «SCAD Soft», Україна
e-mail: avp@scadsoft.com
тел.: +38 (050)-382-16-25
ORCID: 0000-0001-9537-2728



ВОСКОБІЙНИК О.П.

Доктор техн. наук, директор Департаменту технічного регулювання у будівництві Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України
e-mail: o.voskobiinyk@mtu.gov.ua
тел.: +38 (050) 304-40 23
ORCID : 0000-0002-8547-762X

ДРУГЕ ПОКОЛІННЯ ЄВРОКОДІВ І НАЦІОНАЛЬНІ НОРМИ

АНОТАЦІЯ

Наведено короткий аналіз досвіду застосування Європейських норм щодо проектування будівельних конструкцій як у міжнародній, так і в національній практиці. Показано переваги та недоліки інтернаціоналізації у розробці нормативних документів різних країн. Розглянуто основні засади, покладені в основу розробки Єврокодів другого покоління, а також основні напрямки вдосконалення нормативних документів із проектування будівельних конструкцій. Звертається увага на рекомендацію використовувати принцип LOA, за котрим будь-яка розрахункова модель опору може бути представлена на декількох розрахункових рівнях апроксимації, а також на реалізації підходу «простота застосування». Показано, що одним із основних завдань на найближчу перспективу слід вважати збереження національних норм та вдосконалення їх з урахуванням міжнародних досягнень. Вказано на важливість практики європейських країн, де розробляються додаткові до норм документи (довідники, посібники, рекомендації, підручники,

програмне забезпечення тощо).

Щодо питань розвитку нормативної гілки норм, то більш детально аналізуються необхідність розробки нормативного забезпечення проблеми живучості будівель і споруд, проблема комп'ютеризації проектування, майже не розробленої в існуючих нормах, задача упорядкування норм, присвячених методам оцінювання існуючих конструкцій. Для цих питань дається опис головних чинників, що повинні знайти своє місце у нормах. Розглянуто деякі супутні проблеми модернізації вітчизняної нормативної бази проектування, вирішення котрих потребує прийняття низки розпорядчих рішень, включно до законодавчого рівня.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: норми проектування, міжнародний досвід, живучість, комп'ютеризація, простота застосування.

SECOND GENERATION OF EUROCODES AND NATIONAL STANDARDS



ABSTRACT

A brief analysis of the experience of applying European standards for the design of building structures in both international and national practice is given. The advantages and disadvantages of internalization in the development of regulatory documents of different countries are shown. The basic principles underlying the development of the second-generation Eurocodes, as well as the main areas of improvement of normative documents on the design of building structures, are considered. Attention is drawn to the recommendation to use the LOA principle, according to which any calculation model of resistance can be presented at several calculation levels of approximation, as well as to the implementation of the "ease of use" approach. It is shown that one of the main tasks for the near future should be considered the preservation of national norms and their improvement taking into account international achievements. It is pointed out the importance of the practice of European countries, where documents additional to the norms are developed (reference books, manuals, recommendations, textbooks, software, etc.).

As for the issues of the development of the normative branch of norms, the need to develop normative support for the problem of the survivability of buildings and structures, the problem of computerization of design, which is almost not developed in existing norms, and the task of streamlining norms devoted to methods of evaluating existing structures are analyzed in more detail. For these issues, a description of the main factors that should find their place in the regulations is given. Some accompanying problems of the modernization of the domestic regulatory framework of design are considered, the solution of which requires the adoption of a number of administrative decisions, including at the legislative level.

KEYWORDS: design standards, international experience, durability, computerization, ease of use

ВСТУП

Україна вступила у період корінної модернізації національної системи будівельного нормування, в рамках якої планується переробка деяких чинних нормативних документів. Однією з цілей цієї модернізації є врахування вимог Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського парламенту та Ради від 9 березня 2011 року, що встановлює гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельних виробів, що ясно окреслило тенденцію орієнтації на узгодження з європейськими нормами.

І наразі тут виникає питання про вибір шляху розвитку національної галузі нормування: чи зберігати особливості вітчизняної гілки норм проектування, чи йти по шляху приєднання до

міжнародних норм. Для відповіді на це запитання доцільно пам'ятати про шлях розвитку будівельних норм з національних до міжнародних.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Основною метою даної публікації є акцентування уваги на актуальних задачах, пов'язаних із удосконаленням вітчизняної системи норм будівельного проектування, і аналіз проблем, що виникають при її узгодженні з міжнародною практикою.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

БУДІВЕЛЬНЕ НОРМУВАННЯ ЯК БЕЗПЕРЕРВНИЙ ПРОЦЕС

Поява будівельних норм історично обумовлена як мінімум двома основними причинами:

- забезпеченням безпеки користувача будівель і споруд, що зводяться;
- створенням умов та гарантій, необхідних для рівної конкуренції сторін, що формують пропозиції щодо проектування та будівництва. Проектні рішення можуть справедливо конкурувати тільки в тому випадку, якщо вони запроектовані, спираючись на однакові принципи (переважно, концепцію надійності).

Навіть при швидкому вивченні перших норм проектування залізобетонних конструкцій привертає увагу той факт, що вони були досить прості як у розумінні, так і в практичному застосуванні. Наприклад, [1], перші датські норми Dutch Code for Reinforced Concrete (1912), склалися всього з 30 сторінок, а запропоновані М.А. Белелюбським Технічні умови (ТУ) і нормативи для залізобетонних конструкцій приблизно того ж періоду часу, прийняті в 1911 році, – лише з 28 сторінок. Слід зазначити, що за цими нормами на початку XX століття було запроектовано та побудовано 22 мости.

Разом з тим, незважаючи на названі вище причини, вже запровадивши перші норми проектування, фахівці були стурбовані обмежувачим ефектом, який може впливати на інновації в будівельній галузі. Як показано в [1], в одному з перших технічних журналів з проектування конструкцій (1905) наводиться таке висловлювання: «Необхідно переконатися в тому, що приписи будівельних норм є настільки гнучкими, що будівельна індустрія, в якій з'являються щодня нові ідеї, не пов'язана і залишається вільною для розвитку нових способів проектування та зведення конструкцій».

Протягом останнього століття розробка норм проектування – практично безперервний процес, і у цей період у більшості країн були розроблені національні норми проектування, які мали досить



високий рівень (СНіП, ДБН, АСІ, РН, ВS, DІN, АSCE та ін.).

Слід зазначити, що виконаний аналіз вимог і правил проектування, включених до норм різних країн, дозволив констатувати, що вони базуються на досить подібних концептуальних підходах, маючи за основу метод граничних станів. Просто їх зміст (наповнення) відповідає рівню економічного розвитку, географічному розташуванню країни, а головне – існуючій національній інженерній традиції.

В останні десятиліття було вжито активних дій, спрямованих на перехід від національних норм до міжнародних, загальних для великих груп країн. Найбільш характерним прикладом інтернаціоналізації будівельних норм стосовно європейської практики є використання єдиних європейських норм – Єврокодів, розробка яких виконується під наглядом Європейського комітету по стандартизації (Comité Européen de Normalisation, CEN) і триває вже понад 30 років. Слід також зауважити, що міжнародні стандарти розробляє не тільки CEN, а й, паралельно, ISO (International Standard Organization). Ці розробки добре узгоджені між собою.

Як наголошується в ряді публікацій, найбільш значущим досягненням Єврокодів слід вважати їх гармонізацію на базі єдиної концепції надійності, загальних символів та позначень, легальних одиниць виміру, що застосовуються в нормах.

За задумом їх укладачів, наявність єдиних норм проектування та супутніх (пов'язаних) з ними стандартів мають забезпечити умови для вільного переміщення продуктів будівельної галузі, будівельних послуг та наукової думки щодо будівництва між країнами – членами CEN (Директива 106/ЕС).

З іншого боку, неможливість досягнення консенсусу при прийнятті голосуванням чергових версій попередніх норм призвела до появи Національних додатків (National Annex), в яких відображаються так звані параметри, що національно встановлюються (National Determined Parameters), які розвиваються в Національних документах із застосування (National Application Documents).

Водночас, на думку авторів [1], Національні додатки були введені не так через розбіжності та неможливість досягнення консенсусу при голосуванні за окремими положеннями, як для підтримки національних вимог до рівня безпеки та обліку національних аспектів, пов'язаних із традиціями проектування.

МІЖНАРОДНА І НАЦІОНАЛЬНА ПІЛКИ БУДІВЕЛЬНИХ НОРМ

Інтернаціоналізація норм несе у собі такі переваги:

- 1) суттєво полегшує обмін науково-технічними даними та думками між вченими та

фахівцями різних країн. Дискусія на міжнародному рівні та відповідна кооперація у проведенні досліджень підвищує рівень знання суттєвіше, ніж це може бути отримано фахівцями окремої країни (особливо в тих випадках, коли невеликі країни відчувають дефіцит висококваліфікованих фахівців з окремих напрямків досліджень);

- 2) обговорення різних точок зору є набагато раціональнішою основою для розробки загальноприйнятих логічних правил проектування.

А щодо необхідності збереження системи національних норм проектування будівельних конструкцій, то слід взяти до уваги наступне.

Згідно з практикою розробки та прийняття європейських нормативних документів, у цьому процесі участь можуть брати тільки країни – члени ЄС. За таких умов інші країни можуть лише висловлювати свій власний погляд та розуміння принципів та правил проектування виключно при розробці своїх вітчизняних нормативних документів. Таким чином, питання збереження та постійного вдосконалення своєї національної нормативної системи, побудованої на принципах спільної з Єврокодами концепції надійності [7], набуває принципового значення.

За змістом Єврокоди не є цілком документом прямої дії, а встановлюють лише основні (базові) вимоги щодо проектування конструкцій (слід зазначити, що серед великої групи розробників Євроном існує думка про те, що ці норми повинні містити головним чином філософію проектування, а детальні правила мають бути включені до національних норм). Для детального проектування у практиці європейських країн розроблено або розробляються додаткові документи (довідники, посібники, рекомендації, підручники, програмне забезпечення тощо), в яких містяться, в тому числі, й альтернативні розрахункові моделі, застосування яких забезпечує [3] надійність конструкцій, але які враховують вітчизняні інженерні традиції.

Деякі з країн – членів CEN, крім того, запровадили (реалізували) додаткові національні правила та коментарі у формі NCI (Non-contradictory Complementary Information – Несуперечлива додаткова інформація) для застосування на національному рівні. Як правило, цими можливостями скористалися, насамперед, провідні країни – члени CEN.

У такому документі можуть розглядатися додаткові до EN відомості у вигляді схем зусиль, рівнянь рівноваги, відносних параметрів напруженого стану, а також допоміжних таблиць, що значно полегшують проектувальнику виконання розрахунків опору елементів конструкції. Разом з тим, таке Національне доповнення не дозволяє включити всі потрібні зміни, зокрема, пов'язані як із застосуванням нових матеріалів, так і розробкою



нових методів розрахунку опорів. Тому розробка національних норм, що спираються на останні досягнення як національної, так і міжнародної будівельної науки при збереженні національних традицій, залишається актуальною.

Важливою особливістю є той факт, що міжнародні норми майже не торкаються так званих об'єктних нормативних документів, і проблема узгодження з ними цілком належить національній гілці нормативних документів.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ ЄВРОКОДІВ

Наразі Єврокоди прийнято розглядати як найбільш передові комплексні норми проектування. Як стверджують розробники Єврокодів, їх застосування дозволяє виробити спільне розуміння проблеми проектування та забезпечує, з одного боку, розробку гармонізованих проектних стратегій для країн Європи, а з іншого – відкриває широкі можливості для міжнародного співробітництва. Необхідно мати на увазі, що реальне ставлення до Єврокодів є різним у країнах – членах Європейського Комітету нормування (CEN). Незважаючи на взяті зобов'язання щодо скасування з березня 2010 року національних стандартів, що входять у суперечність із Єврокодами, більшість країн, насамперед Німеччина (DIN) та Великобританія (BS), які ініціювали застосування Євростандартів, не лише зберегли національні норми, але й продовжують їх активно розвивати та наполегливо пропонувати як міжнародні.

Таким чином, за всіх декларованих раніше переваг інтернаціоналізації виділяється група так званих «провідних» країн, які мають можливості виконання досліджень і покладають на себе право внесення змін до норм. На даний час спостерігається перегляд та коригування чинних Єврокодів з метою їх удосконалення та покращення. Водночас, Національні комітети повинні переглянути зміст Національних додатків в умовах подальшої гармонізації документів.

Перше покоління Єврокодів було опубліковано між 2002 і 2007 роками. Зараз з'являються документи, що є частиною другого покоління Єврокодів. Вони були підготовлені відповідно до Мандату М/515, виданого до CEN від Європейської комісії та Європейської асоціації вільної торгівлі.

Роботи з коригування конструкційних Єврокодів виконує Технічний комітет TC 250. Програма включає як розробку нових конструкційних Єврокодів, наприклад, конструкції зі скла, так і перегляд існуючих норм з доповненням розділів, що стосуються перевірок живучості конструктивних систем в особливих розрахункових ситуаціях, оцінок існуючих конструкцій, методів нелінійного аналізу тощо.

Концепція вдосконалення Єврокодів другого покоління (G-2), сформульована TC 250, базується на двох основних підходах:

- 1) подальшій гармонізації норм проектування через зменшення кількості NDPs (Національно-встановлюваних параметрів);
- 2) реалізації принципу «Easy-for-Use».

У рамках підходу «подальшої гармонізації» вимог EN 1992-1-1 передбачається скорочення переважно кількості NDPs (Національно-встановлюваних параметрів) без істотних змін основної структури та змісту нормативного документа. Після введення Єврокодів низка Європейських країн заморозила власні програми розробки національних документів, а відповідно й дослідження з метою стандартизації. У той же час Німеччина досить інтенсивно проводила дослідження в рамках різних програм, тому слід очікувати, що більшість із скорочених NDPs спиратимуться на результати німецьких досліджень. Враховуючи ту обставину, що робочі групи з окремих розділів Єврокодів є деякими досить закритими спільнотами, малоймовірно, що ними будуть прийняті пропозиції інших країн. Таким чином, цілком зрозуміло, що повна гармонізація Єврокодів (за повного виключення NDPs) є наразі практично неможливою.

Окремо слід зупинитись на реалізації підходу «простота застосування» («Easy-for-Use»). Як показує досвід впровадження, практично завжди при введенні нової версії норм виникає неприйняття в основному з боку інженерів-практиків, яким, однак, необхідно вдосконалювати професійні знання. На їхню думку, кількість норм, що збільшується стає все більш насиченою інформацією і пропонує все більш складні розрахункові моделі. Крім того, як вважають практикуючі інженери, нормативні документи стають все більш складними з погляду науки і втрачають зв'язок з інженерною практикою [1].

Слід зазначити, що ускладнення розрахункових моделей, що вносяться до норм при спробах проникнути глибше у фізичні аспекти опору конструкції, може призвести до простого нерозуміння і, як наслідок, до великих помилок при проектуванні, підвищує ризики відмови конструкцій. З іншого боку, ускладнення моделей веде до збільшення невизначеностей (помилки моделювання). Але саме такі моделі доцільно використовувати при комп'ютерній реалізації нормативних вимог.

З цієї причини рекомендовано при складанні норм використовувати принцип LOA (скор. від англ. Level of Approximation – Рівень апроксимації). Відповідно до даного принципу, будь-яка розрахункова модель опору, що вноситься в норми (якщо це можливо), може бути представлена на декількох розрахункових рівнях апроксимації в міру зростання складності. Найнижчий рівень I



(LOA I), будучи найпростішим, характеризується найменшою трудомісткістю, але дає найбільш консервативний результат. Найбільш високий рівень LOA IV вимагає значних витрат праці та часу на виконання розрахунків, високої кваліфікації розрахівника, спеціальних комп'ютерних програм тощо, але дає при цьому більш об'єктивний результат оцінювання опору і є менш консервативним. За задумом розробників норм [1, 2] це дозволяє поєднувати в одних нормах як прості, так і досить складні методи перевірок граничних станів.

Найбільш прості (спрощені) розрахункові моделі LOA I можуть застосовуватися на стадії попереднього проектування (англ. predesign of a structure), тоді як більш складні LOA IV і нелінійні моделі – у разі проектування або оцінювання відповідальних або існуючих конструкцій, коли постає питання необхідності виконання посилення [1].

Слід зазначити, що термін «простота» визначається не лише рівнем складності прийнятих моделей, що включають набори розрахункових формул як розшифровку, сформульовану в принципах проектування філософії, а й узгодженість як положень норми, так і різних взаємопов'язаних норм.

Таким чином, реалізація принципу «Easy-of-Use» передбачає:

- простоту та ясність викладу, короткі стислі формулювання;
- взаємозв'язок як окремих положень норм, так і норм між собою, зокрема, зі стандартами на матеріали та вироби і навіть нормами на зведення;
- обмеження, де це можливо, альтернативних правил та розрахункових моделей, що застосовуються для однієї розрахункової ситуації;
- виняток правил, що мають дуже рідкісне практичне застосування;
- забезпечення певної наступності нормативних документів (Evolution, not Revolution). При розробці нового покоління норм ЄС слід уникати внесення фундаментальних змін до методів проектування;
- заохочення інноваційних підходів;
- облік нових соціальних потреб суспільства;
- сприяння гармонізації національних технічних ініціатив за новими тематиками, які становлять інтерес для будівельної галузі різних країн;
- включення до норм лише таких матеріалів, які отримані на основі загальноновизнаних результатів досліджень та підтверджені досвідом практичного застосування.

Безперечно, що ці положення слід брати до уваги при розробці не лише міжнародних, а й національних норм будь-якого рівня. І тут доцільно вказати на різницю між традиційним стилем викла-

дання наших норм, що побудовані на безальтернативному принципі з вимогою обов'язкового виконання наведених вимог, і прийнятим, як правило, стилем рекомендації в нормах Європи, які надають проектувальнику більшу свободу, але й вимагають більшої відповідальності. Це може стати якщо не юридичним, то психологічним фактором використання принципу LOA у вітчизняних умовах.

Корисно також звернути спеціальну увагу на новий розділ, включений у всі Єврокоди, що містить визначення застосовуваних форм дієслів. Можна навести численні приклади, коли неправильне трактування форми дієслова призводило або до непотрібних дискусій, або до суб'єктивних викладів вимог норми.

У Єврокодах нового покоління наведено такі визначення стосовно форм дієслів:

- дієслово "shall" відбиває безальтернативні вимоги, яких слід суворо дотримуватися, відхилення від такого положення не допускаються;
- дієслово "should" відображає настійно рекомендований вибір (нормативну рекомендацію) або кращий напрямок дії. З урахуванням вимог національного технічного регулювання та/або будь-яких відповідних угод допускається застосування альтернативних підходів (положень), якщо вони технічно обґрунтовані;
- дієслово "may" показує напрямок допустимої дії в межах обмежень, встановлених Єврокодами;
- дієслово "can" використовується для позначення можливості та здібності.

ВИМОГИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ

Класична форма методу граничних станів не передбачала розгляду позамежної (аварійної) стадії роботи конструкцій. Але сьогодні дослідження реакції споруди на можливі катастрофічні впливи та перевірка живучості стали практично обов'язковим елементом проектування. Тому зрозумілою є поява присвяченого живучості спеціального додатку Е у загальнокеруючому Єврокод-0 [8].

Вважаючи, що прописні правила проектування будуть наведені в інших Єврокодах, а конкретика повинна бути наведена в Національних додатках до EN 1990:2023, цей додаток має довідковий характер і містить самі загальні рекомендації, а саме такі:

- А) Відомості про стратегію проектування конструкцій з підвищеною живучістю, що можуть бути обрані з наступних:
 - створення альтернативних шляхів завантаження шляхом забезпечення достатньої пластичності, опору та деформованості при локальних пошкод-



женнях та надмірності конструкції або за рахунок застосування спеціальних правил проектування;

- проектування ключових елементів для протидії небезпечним впливам на невизначену природу;
- поділу конструкції на окремі частини (сегментації) за допомогою одного або декількох слабкіших конструктивних елементів, так що кожна частина може зруйнуватися незалежно, не впливаючи на безпеку інших частин;

Б) Метод проектування задля забезпечення підвищеної живучості може бути обраний з урахуванням класу наслідків (СС).

Подальша деталізація повинна взяти до уваги, що під сумнівом опинилися деякі з основних положень традиційного способу перевірки робото спроможності конструкції, зокрема, орієнтація на використання статистичних властивостей навантажень і матеріалів при застосуванні методу граничних станів.

Катастрофічні події, які спричиняють важкі наслідки, вкрай рідкісні, і для них відсутній достатній обсяг статистичних даних. Тому, на відміну від звичайних методів аналізу, основний підхід полягає у перенесенні уваги з оцінки впливу зовнішніх навантажень на можливі варіанти пошкодження будівельної конструкції. Живучість конструкції полягає в тому, щоб пошкодження одного елемента не поширювалося лавиноподібно на інші елементи і не призводило до обвалення всієї системи або її значної частини. Перевірка цього була покладена в основу методики аналізу живучості (відсутності прогресуючого обвалення), яка базується на перевірках несучої здатності системи при видаленні з неї того чи іншого елемента.

ПРОБЛЕМА КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Однією з відмінних рис Єврокодів нового покоління є поява розділів, присвячених використанню в розрахунках методу скінчених елементів (FEM-analysis). Прикладом може бути афішована чотирнадцята частина Єврокоду-3 EN 1993-1-14 [10].

Тут слід відзначити, що розрахункове обґрунтування проектних рішень – це багата етапний процес, у якому, як мінімум, слід розрізнити дві основні частини: визначення напружено-деформованого стану (НДС) та перевірку прийнятих перерізів (або армування). На жаль, цей факт не акцентується, і коли говорять про розрахунок конструкцій, не завжди чітко обговорюється, про що йдеться.

Але з точки зору нормування відмінності тут принципові: визначення НДС є завданням будівельної механіки, і цей процес в принципі не

повинен бути предметом нормування, у той час як перевірка несучої здатності перерізів є умовною процедурою, орієнтованою на досягнення певної міри безпеки, і тут нормування, що є встановленням певних вимог суспільства, цілком доречно.

Повертаючись до етапу визначення НДС можна сказати, що тут елементами нормування можуть бути лише деякі «дозвільні процедури», за допомогою яких встановлюються допустимі спрощення завдання. Тут важливо зауважити, що йдеться саме про припустимі спрощення, а не про обов'язкове їх застосування, хоча в текстах нормативних документів ця принципова різниця ніяк не обговорюється. І тут постає питання про нерівноправність результатів спрощеного розрахунку за нормами та можливим результатом більш точного аналізу.

Традиційно норми будівельного проектування були орієнтовані на певний набір розрахункових схем, найчастіше це були плоскі стрижневі системи, занурені в одній площині або у взаємно ортогональних площинах і працюючі в умовах одновісного напруженого стану. Просторові конструкції, особливо оболонкового типу, розглядаються набагато рідше. Разом з тим, вони є практично стандартними при розрахунках з використанням програмних засобів. І тут виникає певний дисбаланс можливостей, коли багато положень, нормованих для традиційних розрахунків, просто відсутні стосовно розрахунків просторових систем. Як приклад, згадаємо лише той факт, що в нормах проектування сталевих та залізобетонних конструкцій наводиться розрахункова діаграма деформування роботи матеріалу тільки для одновісного напруженого стану та відсутні рекомендації для оцінки роботи конструкцій в умовах дво- чи тривісного напруженого стану.

Крім того, однією з найбільш актуальних проблем розробки нового покоління норм є застосування нелінійних кінцево-елементних методів розрахунку. При цьому, крім реалізації власне розрахункових процедур, по-новому постає питання про забезпечення необхідного формату безпеки при виконанні нелінійних розрахунків.

Питання готовності до застосування нелінійних розрахунків у практиці проектування вже обговорювалося у публікаціях [4, 3], а проблемі забезпечення формату безпеки присвячено останніми роками досить багато робіт [3 - 6]. Застосування нелінійних розрахунків у практиці проектування стало можливим, з одного боку, завдяки інтенсивному розвитку комп'ютерної техніки, з другого – внаслідок розробки програмних комплексів, що реалізують нелінійні розрахункові процедури. В даний час обчислювальні комплекси, засновані на застосуванні методу скінчених елементів (FEM-method) та декларуючі можливості нелінійного



аналізу, реалізують, як правило, спрощену процедуру так званої модифікованої або адаптивної жорсткості та повністю нелінійну модель, засновану на застосуванні складних (деформаційних) моделей з врахуванням перерозподілу зусиль при утворенні та розкритті тріщин. Докладно нелінійні моделі розглянуті в роботах [4, 7].

Як показано в [3], нелінійний аналіз за своєю природою завжди є оцінкою глобального типу, при якому всі конструктивні елементи системи та їх переріз перебувають у взаємодії.

Слід зазначити, що міжнародні і деякі національні норми проектування містять пропозиції щодо регулювання рівня надійності і під час нелінійних розрахунків з допомогою так званого глобального коефіцієнта безпеки (англ. «global resistance factor»). При цьому практично завжди проблема зводиться до одностороннього оцінювання надійності (розрахункові значення опорів встановлюють без урахування мінливості впливів).

Слід зробити ще одну ремарку, перш ніж говорити про застосування нелінійного аналізу. При застосуванні цієї процедури передбачається розглядати дві групи завдань:

1. Нелінійний скінченно-елементний аналіз окремих конструктивних елементів або найпростіших систем (нерозрізних балок, плоских рам тощо), коли пробують фізичне моделювання поведінки конструкції під навантаженням. Безумовно, у такій постановці вкрай трудомістко моделювати поведінку реальних конструктивних систем. Такий нелінійний аналіз надзвичайно корисний, зокрема, під час вирішення завдань локального опору у вузлах, контактних завдань тощо за відсутності обґрунтованих аналітичних моделей, а також під час проведення наукових досліджень чисельними методами.
2. При виконанні нелінійного скінченно-елементного аналізу ідеалізованих конструктивних систем. Такі розрахунки є більш наближеними до практичного проектування та дозволяють знаходити з певною точністю рішення для реальних складних конструктивних систем.

Слід зазначити, що формат безпеки при виконанні нелінійних розрахунків, як і раніше, залишається однією з обговорюваних і суперечливих проблем теорії надійності, а запропоновані методи піддаються постійній модифікації.

ОЦІНЮВАННЯ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Ще одним з найважливіших завдань, сформульованих під час упорядкування норм нового покоління, є розробка адекватних методів оцінювання існуючих конструкцій. При цьому, як зазначається у [1], у розпорядженні інженерів

мають бути надані як науково обґрунтовані моделі, так і критерії, що дозволяють приймати адекватні рішення щодо необхідності посилення великих груп конструкцій та брати на себе відповідальність за те, щоб утриматися від втручання у існуючий технічний стан несучої конструкції.

При розробці нової редакції норм проектування щодо оцінювання існуючих конструкцій треба одержати відповіді на такі основні питання:

- Чи слід включати правила для оцінювання існуючих конструкцій як додаткові частини (окремі видання) Єврокодів (наприклад, EN 1992-5), чи включати їх у вигляді розділів, додатків до відповідного Єврокоду?
- Чи доречно вносити значення цільових індексів надійності для оцінювання існуючих конструкцій, відмінних від індексів надійності, прийнятих під час проектування нових конструкцій? Якщо так, то чи повинен цільовий рівень надійності призначатися з урахуванням залишкового терміну служби об'єкта, вимог безпеки користувача, наслідків відмови тощо.
- Чи припустиме калібрування значення часткових коефіцієнтів методу (тобто методу часткових коефіцієнтів), спираючись на отриману в процесі обстеження фактичну інформацію про конструкцію (властивості матеріалів, геометричні характеристики тощо) та умови її експлуатації, включаючи впливи, а також невизначеності оцінювання?
- Як забезпечити формат безпеки при виконанні нелінійних розрахунків конструктивних систем з урахуванням невизначеностей розрахункових моделей та невизначеностей визначення властивостей матеріалів? Слід зазначити, що властивості матеріалів, включаючи показники мінливості, визначають за результатами випробувань.
- За яких обставин було б доцільно виконувати оцінку існуючих конструкцій, виходячи з досвіду минулої роботи цієї конструкції?

Питання калібрування значень часткових коефіцієнтів γ_i протягом тривалого часу дискутуються та викликають інтерес у практикуючих інженерів, які займаються оцінкою технічного стану існуючих конструкцій. Застосування часткових коефіцієнтів γ_b , відкаліброваних для проектування нового будівництва (при деяких усереднених показниках мінливості базисних змінних і періоду повторюваності 50 років), дає практично завжди консервативний результат при оцінюванні існуючих конструкцій. При проектуванні нового будівництва проектувальник оперує абстракціями, а під час оцінювання технічного стану експерт має справу з реальною конструкцією, наділеною властивостями, пара-



метри яких можна вимірювати відомими способами.

Відповідно до існуючих пропозицій [9], конструкції, запроектовані та зведені за раніше діючими нормами або навіть без норм, можуть розглядатися як безпечні для подальшого застосування, спираючись на позитивний досвід експлуатації, при одночасному виконанні наступних умов:

- ретельне обстеження не виявило жодних суттєвих ознак ушкоджень, шкоди, деструкції чи погіршення стану конструкції;
- конструкція продемонструвала задовільний технічний стан протягом тривалого періоду експлуатації, протягом якого могли з'явитися екстремальні значення впливів;
- не було виявлено жодних змін протягом досить довгого періоду часу, які могли призвести до суттєвого зростання рівня впливів або вплинути на довговічність конструкції, та такі зміни не передбачаються.

Слід зазначити, що в такій широкій постановці питання не лише оцінювання, а й розробки методів посилення у європейській практиці порушується вперше. Разом з тим, у національній практиці розробки нормативних документів питанням оцінювання технічного стану існуючих конструкцій, включаючи розробку адекватних розрахункових моделей опору (як існуючих, так і конструкцій, що посилюються), завжди приділяли належну увагу, і були розроблені відповідні посібники [11].

ДЕЯКІ СУПУТНІ ПРОБЛЕМИ

Вдосконалення вітчизняної нормативної бази проектування потребує прийняття низки організаційно-розпорядчих рішень, включно до законодавчого рівня. Вкажемо лише на деякі з них.

ПРОЕКТУВАННЯ ЗА ЄВРОКОДАМИ

В Україні є законна можливість проектування за Єврокодами, це закріплено у ДБН А.1.1-94-2010 «Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення». Вимагається, щоб при цьому були виконані усі стандарти, на котрі посилається Єврокод. І якщо в Україні відсутній якийсь потрібний матеріал за європейським стандартом (прокат, арматура, бетон, кераміка тощо), то його треба імпортувати чи організувати відповідне виробництво. Хто і як буде за цим спостерігати поки невідомо, і потрібно цей аспект продумати.

Можливо, потрібно цей аспект проблеми відбивати у деякій декларації, яка додається до пояснювальної записки і стає частиною проектної документації. Якщо прийняти таке рішення, то потрібно внести відповідний пункт у ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної

документації на будівництво».

Але Єврокоди вирішують питання лише на 30-40%, бо, крім того, існує великий масив так званих об'єктних норм (житло, школи, лікарні, дороги, трубопроводи тощо), і проблема узгодження з ними цілком належить національній гілці нормативних документів. У багатьох з цих документів є посилання на розрахункові норми, і такі посилання пов'язані тільки з вітчизняними нормативними документами, що створює досить неприємну колізію при проектуванні за Єврокодами. Виникає необхідність якимось чином пристосувати об'єктні норми для такої ситуації.

Слід мати на увазі, що проектування деяких об'єктів для України можуть виконувати закордонні фірми (особливо, коли вони інвестують у таке будівництво), а англійського перекладу об'єктних норм немає, і не треба покладатись, що він може з'явитися «самотужки» і буде мати необхідну точність. Мабуть, потрібно мати англійський варіант деяких об'єктних норм і національних додатків до Єврокодів. Не обов'язково ці матеріали видавати, можна мати лише їхні електронні версії.

Крім того, національні додатки розсіпані по різних розділах Єврокоду, але для закордонних проектувальників було б зручно звести їх у одне видання, оскільки загальний текст Єврокодів вони мають.

ОЦІНКА ВІДДАЛЕНИХ НАСЛІДКІВ

Широко розрекламована BIM-технологія переконує, що вона дозволяє об'єднати всі етапи життєвого циклу будівельного об'єкта – від проектування до кінця експлуатації – в одну систему, де кожна зміна зафіксована та тягне за собою інші зміни. Але це твердження викликає деякі сумніви.

Технологія управління життєвим циклом об'єкта, аналогічна рекламованій у BIM, з'явилася значно раніше в машинобудуванні і під назвою PLM (Project Lifecycle Management) широко використовується, наприклад, в кораблебудуванні або в аерокосмічній галузі. І добре відомі досягнуті за її допомогою результати, які часто згадуються у рекламних текстах. Хоча тут відразу слід вказати на дві принципові відмінності, властиві галузі будівництва: непорівнянні терміни експлуатації і дисципліна експлуатації, що абсолютно відрізняється.

Як можна говорити про стадію експлуатації та ремонту, якщо ця подія відбудеться через 30-70 років після проектування. І на той час, швидше за все, застаріють усі наші сьогоднішні технології та прийоми робіт. Та й можливість скористатися сьогоднішньою цифровою моделлю через 50 років є досить сумнівною: пригадаємо, наприклад, чи можемо ми сьогодні прочитати



старі перфокарти та магнітні стрічки, які містили інформацію про об'єкти, що проектувалися 40 років тому. Навряд чи можна спрогнозувати такі далекі параметри економічних розрахунків, що лежать в основі прийняття багатьох рішень, наприклад, таких як рівень дисконтування.

Що ж до технічної експлуатації, тобто комплексу робіт з ремонту, утримання, обслуговування та контролю стану будівлі, то проектувальник сьогодні штучно відсторонений від будь-яких рішень у цій галузі, хоча, як ніхто інший, обізнаний про особливості спроектованого об'єкта. Більше того, він не має можливості передбачити у проекті обмеження чи процедури в режимі використання об'єкта, які було б розумно застосувати, оскільки у ДБН А.2.2-3:2014 відповідного розділу проектної документації не передбачено.

КОМЕНТУВАННЯ НОРМАТИВНИХ ВКАЗІВОК

Будь-які вказівки нормативних документів мають деяке наукове чи практичне обґрунтування, що у тексті норм не наводиться. В той же час у проектувальника можуть виникати питання, які вимагають аналізу положень, що саме обґрунтовують. Найчастіше така ситуація пов'язана з тими випадками, коли виникає нестыковка у рекомендаціях різних норм, а також у випадках, коли необхідна перевірка певного положення норм за межами оголошеної сфери їх застосування.

У системі Єврокодів ця проблема вирішується тим, що технічні комітети, які розробляють норми або впливові інженерні спільноти, такі обґрунтування видають (див., наприклад, [12] або [13]), у вигляді розгорнутого коментаря або, у крайньому випадку, у вигляді посилань на публікації. Більш радикальне рішення демонструє Франція, де нормативні документи видаються таким чином, що на парних сторінках розміщуються пункти норм, а на непарних – коментарі до них.

Очевидно, і в Україні слід якимось чином вирішити це питання, як мінімум передбачивши таку форму нормативних документів, як посібник.

ВИСНОВКИ

1. Одним із основних завдань на найближчу перспективу слід вважати збереження національних норм. Найбільш раціональним підходом слід вважати розробку вдосконалених національних норм, що не входять у суперечність з європейськими нормами, з урахуванням досягнутих нових результатів як національних, так і міжнародних досліджень. Особливу увагу слід звернути на питання, у котрих міжнародні норми суттєво випереджають вітчизняні нормативні документи.

2. Деякі нормативні і законодавчі документи, що регламентують сферу розробки і дії нормативних документів з будівництва, потребують вдосконалення.
3. При розробці положень норм слід ґрунтуватися на прийнятому розробниками Єврокодів принципі «Easy-of-Use», за допомогою якого можливо одночасно представити як спрощені варіанти для ручного розрахунку, так і більш точні варіанти, орієнтовані на комп'ютерну реалізацію.
4. При плануванні наукових досліджень у галузі будівельних конструкцій слід орієнтуватися, головним чином, на розробку положень, що вносяться до норм проектування, та їх експериментальну перевірку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Walraven J. Codes of Practice: Burden or Inspiration? «High Tech concrete: Where technology and Engineering meet»: fib Symposium in Maastricht, June 2017. P. XIII–XXIV.
2. Ignatiadis A., Fingerloos F., Hegger J., Teworte F. Eurocode 2. Analysis of National Annexes. Structural Concrete. 2014. № 16 (1). DOI: 10.1002/suco.201400060
3. Перельмутер А.В., Туп В.В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. № 13 (3). P. 86–102.
4. Cervenka V. Global safety formats in fib Model Code 2010 for design of Concrete Structures. Proceeding of the 11th International Probabilistic Workshop, Brno, 2013. P. 27–31.
5. Bertagnoli G, Giordano L, Mancini G. Safety Format for the Nonlinear Analysis of Concrete Structures. Studi e ricerche. Politecnico di Milano, Scuola di specializzazione in costruzioni in cemento armato. № 25. 2004. P. 31-56.
6. Cervenka V. SARA – Structural Analysis and Reliability Assessment: User's manual. V. Cervenka consulting, Prague, 2003. 128 p.
7. Schlune H., Plos M., Gilltoft K. Safety Format for the non-linear analysis of Concrete Structures. Engineering Structures. 2011. № 33 (8). P. 2350-2356.
8. EN 1990:2023. Eurocode. Basis of structural and geotechnical design. Brussels: European Committee for Standardization, 2023. 172 p.
9. ISO 13822. Basis for design of structures. Assessment of existing structures. ISO, 2010.
10. EN 1993-1-14. Design of steel structures. Part 1-14: Design assisted by finite element analysis (under preparation).



11. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81*). УкрНИИпроектстальконструкция. Москва: Стройиздат, 1989. 159 с.
12. Background documents to EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1-2: General rules. Structural fire design. Brussels: CEN/TC250, 2009.
13. Rules for Member Stability in EN 1993-1-1: Background documentation and design guidelines. Zurich: European Convention for Constructional Steelwork, 2006.

REFERENCES

1. Walraven, J. (2017). Codes of Practice: Burden or Inspiration? In "High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet," Proceedings of the fib Symposium in Maastricht.
2. Ignatiadis, A., Fingerloos, F., Hegger, J., & Teworte, F. (2014). Eurocode 2: Analysis of National Annexes. *Structural Concrete*, 16(1). <https://doi.org/10.1002/suco.201400060>
3. Perelmuter, A.V., & Tur, V.V. (2017). Are we ready to transition to nonlinear analysis in design? *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 13(3), 86–102.
4. Cervenka, V. (2013). Global safety formats in fib Model Code 2010 for design of Concrete Structures. In *Proceedings of the 11th International Probabilistic Workshop, Brno* (pp. 27–31).
5. Bertagnoli, G., Giordano, L., & Mancini, G. (2004). Safety Format for the Nonlinear Analysis of Concrete Structures. *Studi e Ricerche, Politecnico di Milano, Scuola di Specializzazione in Costruzioni in Cemento Armato*, 25, 31-56.
6. Cervenka, V. (2003). SARA – Structural Analysis and Reliability Assessment: User's Manual. Prague: V. Cervenka Consulting.
7. Schlune, H., Plos, M., & Gilltoft, K. (2011). Safety Format for the Non-linear Analysis of Concrete Structures. *Engineering Structures*, 33(8), 2350-2356.
8. EN 1990:2023. (2023). Eurocode. Basis of Structural and Geotechnical Design. Brussels: European Committee for Standardization.
9. International Organization for Standardization. (2010). ISO 13822. Basis for Design of Structures. Assessment of Existing Structures.
10. European Committee for Standardization. EN 1993-1-14. Design of Steel Structures. Part 1-14: Design Assisted by Finite Element Analysis (Under Preparation).
11. Ukrniiproektstalconstruction. (1989). Manual on the Reinforcement Design of

Steel Structures (to Chapter SNiP II-23-81). Moscow: Stroyizdat.

12. CEN/TC250. (2009). Background Documents to EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-2: General Rules. Structural Fire Design. Brussels: CEN/TC250.
13. European Convention for Constructional Steelwork. (2006). Rules for Member Stability in EN 1993-1-1: Background Documentation and Design Guidelines. Zurich.

Стаття надійшла до редакції 25.11.2023 року