

УДК 624.042.1

## СКЛАДАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПОЄДНАНЬ ВПЛИВІВ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО EN 1990

А.В. Перельмутер<sup>1,2</sup>,  
д-р техн. наук

<sup>1</sup>*HBO SCAD Soft, 03037, Київ, вул. Освіти, 3а*

<sup>2</sup>*Київський національний університет будівництва і архітектури,  
03680, Київ, Повітрофлотський просп.. 31*

DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.93-108

**Анотація.** Наведено огляд підходів європейських норм EN 1990 до складання розрахункових поєднань впливів на будівельні конструкції. Узагальнено інформацію про методiku вибору розрахункового поєднання впливів різних груп граничних станів з урахуванням різних типів репрезентативних значень змінних впливів. Вказуються розбіжності з методами нормативних документів, що діють на території України (ДБН), з розрахунку будівельних конструкцій. Розглядається проблема можливого зростання розрахункових навантажень під час переходу на методiku EN 1990 та оцінюється величина цього зростання. Запропоновано компромісний підхід, що поєднує принципові положення EN 1990 з накопиченим вітчизняним досвідом та дозволяє помітно зменшити зростання розрахункових навантажень

**Ключові слова:** навантаження і впливи, коефіцієнти надійності, розрахункове сполучення, граничні стани.

### Постановка проблеми і мета статті

Україна вступила у період корінної модернізації національної системи 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.

Щодо проблем надійності ініціувальним є новий ДБН В.1.2-6 [1]. Він спільно з запланованою новою редакцією основного регламентуючого документа з проблем надійності та безпеки ДБН В.1.2-14 [2] повинен, по суті, розглядатися як аналог EN 1990 [3]. При цьому потрібно внести корективи у ДБН В.1.2-2 [4], оскільки EN 1990 торкається проблем визначення навантажень та побудови їхніх розрахункових сполучень.

Конструкції в основному піддаються впливу більш ніж одного навантаження, крім того, необхідно враховувати, що дані навантаження є різними: за своїм походженням (*прямі та непрямі*); властивостям (характеру) (*статичні чи динамічні*); місцю програми, їх зміну у просторі (*фіксовані чи вільні*); часу та інтенсивності впливу; багатьом іншим параметрам. Отже, проблема складання необхідних розрахункових

поєднань різних впливів є ключовою під час здійснення розрахунку будівельних конструкцій.

У порядку підготовки нової редакції ДБН В.1.2-2 розглядаються деякі проблеми узгодженості згаданих вище нормативних документів і аналізуються деякі з виникаючих при цьому проблем.

### 1. Репрезентативні значення змінних впливів

Залежно від змін у часі навантаження і впливи класифікуються таким чином:

- постійні дії ( $G$ ), наприклад, власна вага конструкцій, вага та тиск ґрунтів, стаціонарного обладнання, та непрямі дії, що викликані, наприклад, нерівномірним осіданням ґрунтів;

- змінні (тимчасові) дії ( $Q$ ), наприклад, тимчасові прикладені навантаження на перекриття будівель, балки та дахи, змінні дії вітру або снігового навантаження;

- випадкові (епізодичні) дії ( $A$ ), наприклад, вибухи, або удари транспортних засобів, нерівномірні деформації основи фундаментів, обумовлені зміною структури ґрунту (при замочуванні просідаючих ґрунтів) або осіданням у районах гірничих виробок і в карстових районах.

Відповідно до [3] у розрахунках при проектуванні конструкцій будь-яка дія має бути описана за допомогою моделі (фізичної або математичної), при цьому в більшості випадків величина впливу виражається одним скалярним числовим значенням, яке при цьому може набувати різних репрезентативних значень.

Найважливішим репрезентативним значенням впливу  $F$  є характеристичне значення  $F_k$ . Для визначення характеристичного значення змінного впливу використовуються два окремі незалежні показники:

- проміжок часу (базовий період), під час якого досягається екстремум (наприклад, річний максимум чи мінімум);

- задана ймовірність, за якої екстремальні значення не вищі (у разі максимуму) або не нижче (у разі мінімуму) характеристичного значення.

Для змінних впливів крім характеристичних значень EN 1990 містить ряд репрезентативних значень. Так, для змінних впливів зазвичай використовуються три види репрезентативних значень:

- комбінаційне  $\psi_0 Q_k$ ;
- часто повторюване  $\psi_1 Q_k$ ;
- квазіпостійне  $\psi_2 Q_k$ .

Використання вказаних репрезентативних значень в розрахунках за граничними станами пояснює таблиця 1.

Дія кожного з репрезентативних значень займає деяку долю загального часу експлуатації конструкції (рис. 1), наприклад, для часто повторюваного звантаження EN 1990 рекомендує щоб ця доля складала біля 1%.

Деякі з значень коефіцієнтів  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  та  $\psi_2$ , рекомендованих для будівель додатком А до EN 1990, надаються для прикладу у табл. 2.

Таблиця 1

Змінні впливи за EN 1990	Перевірка граничних станів	Розрахункова ситуація	Приклади
Комбінаційні $\Psi_0 Q_k$	за несучою здатністю	стабільна	умови нормальної експлуатації
	за несучою здатністю	перехідна	умови будівництва чи реконструкції
	за експлуатаційною придатністю	стабільна при розгляді незворотних граничних станів	граничне значення розкриття тріщин
Часто повторювані $\Psi_1 Q_k$	за несучою здатністю	аварійна	вплив пожежу, вибуху, наїзду транспортних засобів тощо
	за експлуатаційною придатністю	стабільна при розгляді зворотних граничних станів	виникнення неприпустимих переміщень конструкції, неприпустима вібрація
Квазіпостійні $\Psi_2 Q_k$	за несучою здатністю	аварійна	стан після аварійного впливу
	за несучою здатністю	сейсмічна	землетрус
	за експлуатаційною придатністю	розрахунок на тривалі впливи	дія повзучості та усадки на залізобетоні конструкції

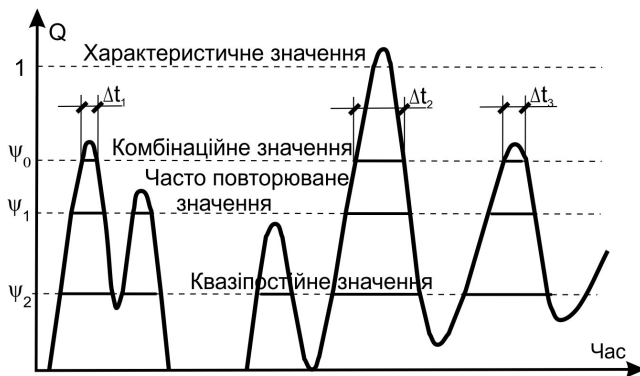


Рис. 1

Таблиця 2

Впливи	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Категорія А: житлові приміщення	0,7	0,5	0,4
Категорія В: офісні приміщення	0,7	0,5	0,4
Категорія С: приміщення зі значним скупченням людей	0,7	0,7	0,6
Категорія D: торговельні приміщення	0,7	0,7	0,6
Категорія Е: складські приміщення	1,0	0,9	0,8
Категорія Н: покрівлі	0,7	0,0	0,0
Снігові навантаження	0,6	0,5	0,3
Ожеледні навантаження	0,6	0,5	0,3
Вітрові навантаження	0,6	0,5	0,0
Температурні дії (без пожежі)	1,0	0,0	0,0
Кранові навантаження	1,0	0,9	*

Слід зазначити, що формулювання впливів у цій таблиці не повністю співпадає з переліком навантажень наведеним у ДБН В.1.2-2. Тому потрібно дати деякі пояснення, наприклад, такого змісту: «До категорії В належать: службові приміщення адміністративного, інженерно-технічного, наукового персоналу; офіси, класні приміщення закладів освіти; побутові приміщення (гардеробні, душові, умивальні тощо) промислових та громадських будівель та споруд; кабінети та лабораторії закладів охорони здоров'я, освіти, науки; кухні громадських будівель; приміщення установ побутового обслуговування населення (перукарні, ательє тощо); технічні поверхи житлових та громадських будівель; підвальні приміщення; читальні зали».

Вітчизняні норми ДБН В.1.2-2 крім характеристичного значення  $F_k$  оперують чотирма видами розрахункових значень: граничне ( $F_d$ ), експлуатаційне, циклічне, квазіпостійне. Якщо робити порівняння з EN 1990, то можна вказати на наступні обставини:

- Граничне розрахункове значення  $F_d = \gamma_f F_k$  майже співпадає з розрахунковим значенням  $F_d = \gamma_F F_k$  із EN 1990 лише з тою різницею що чисельно коефіцієнт  $\gamma_F$  є добутком коефіцієнта надійності за навантаженням  $\gamma_f$  та коефіцієнта надійності моделі впливу  $\gamma_{sd}$ . Тут слід зауважити, що коефіцієнт  $\gamma_{sd}$  не має наукового обґрунтування та є результатом «інженерного судження».

- Експлуатаційне розрахункове  $F_e$  значення змістовно відповідає часто повторюваному  $\psi_1 Q_k$ , але, на відміну від EN 1990, визначається іншим шляхом. А саме, ДБН В.1.2-2 визначає, що коли вихід за граничний стан другої групи може бути допущений протягом певної частки  $\eta$  ( $0 < \eta < 1$ ) встановленого терміну служби конструкції  $T_{ef}$ , то перевірка виконується з використанням експлуатаційного значення, що відповідає цій частці встановленого терміну служби ( $\eta T_{ef}$ ). А перехід до експлуатаційних значень виконується множенням на коефіцієнт надійності за

навантаженням  $\gamma_{fe}$ , який функціонально залежить від  $\eta$ . Значення  $\eta$  приймається за нормами проектування конструкцій залежно від їхнього призначення, відповідальності та наслідків виходу за граничний стан. Для об'єктів масового будівництва допускається приймати  $\eta=0,02$  і тоді за ДБН В.1.2-2  $\gamma_{fe}=0,88$  для снігового навантаження і  $\gamma_{fe}=0,42$  для вітрового навантаження (EN 1990 рекомендує  $\psi_1=0,5$  для обох випадків).

- Циклічне розрахункове значення повинно використовуватися для розрахунків конструкцій на витривалість і визначається як гармонічний процес, еквівалентний за результуючою дією на конструкцію реальному випадковому процесу змінного навантаження. У EN 1990 розрахунок на витривалість реалізують іншим шляхом.

- Квазіпостійне розрахункове значення змістовно відповідає рекомендованому у EN 1990  $\psi_2 Q_k$ , але визначається у ДБН В.1.2-2 не через коефіцієнт  $\psi_2$ , а через пряму вказівку цього значення.

## 2. Передумови складання розрахункових поєднань ефектів впливів

Вирішенню проблеми про ймовірність збігу різних навантажень і про статистичні властивості ефекту їх сумарної дії присвячено багато робіт [5-11 та інші], всі вони потребують тонкого та детального аналізу властивостей тих випадкових процесів, якими описується поведінка кожного з навантажень. Тому для практичної роботи інженерною спільнотою найчастіше використовується підхід Туркстри [12, 13], де було запропоновано досить прості правила комбінування випадкових навантажень, що змінюються у часі. В основу міркувань була покладена FBC модель Феррі Борджеса-Кастанети [14], в якій історія зміни навантаження  $Q(t)$  представлена послідовністю прямокутних імпульсів із постійною тривалістю  $\tau$  і випадковими величинами ординат  $Q_i$  ( $i=1, \dots, r$ ) Ці ординати вибираються так, щоб охоплювати фактичний хід процесу навантаження (рис. 2). Якщо інтервал часу  $\tau$  вибраний таким, що на його протязі кореляційна функція згасає, можна вважати послідовність випадкових величин статистично незалежною.

Якщо розглядати випадок об'єднання двох впливів  $Q_1(t)$  і  $Q_2(t)$  і припустити, що  $Q_1$  домінує, то логічно припустити, що розрахунковою ситуацією буде така, в якій  $Q_1$  приймає максимальне на інтервалі спостережень  $t_r = \tau_1 r_1$  (див. рис. 1) значення  $Q_{1\max}$ . Для моделі FBC це значення має функцію розподілу ймовірності  $F_{Q_1}(Q)$  і є діючим на інтервалі часу  $\tau_1$ . Для  $Q_2$  значення  $Q_{2\text{comb}}$ , що вводиться в комбінацію, дорівнює очікуваному в інтервалі  $\tau_1$  комбінаційному значенню  $F_{Q_{2\text{comb}}}$ , що має задану ймовірність. Воно обчислюється виходячи з функції розподілу:

$$F_{Q_{2\text{comb}}} = [F_{Q_2}(Q)]^{\tau_2/\tau_1}.$$

Наближені ефекти могли бути обчислені як максимум наступних двох комбінацій (правило Туркстра):

$S\{Q_{1\max}, Q_{2\text{comb}}\}$ , якщо  $Q_1$  розглядають як домінуючу дію;

$S\{Q_{2\max}, Q_{1\text{comb}}\}$ , якщо  $Q_2$  розглядають як домінуючу дію.  
 Це записується як формула:  
 $S_{\max} = \max\{S(Q_{1\max}, Q_{2\text{comb}}); S(Q_{1\text{comb}}, Q_{2\max})\}$ .

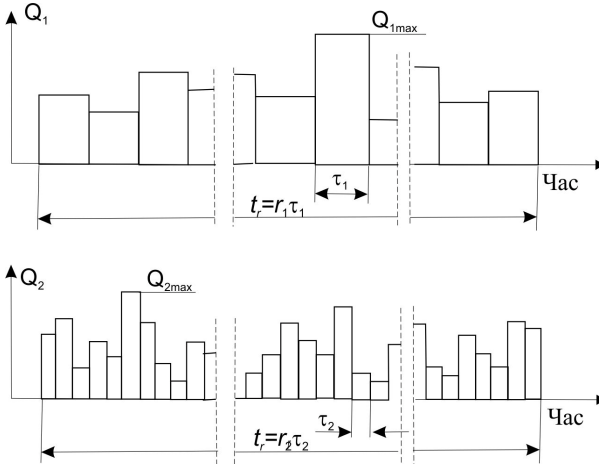


Рис. 2

Правило Туркстри підтверджується досвідом і спостереженням, оскільки відмови переважно виникають у тих випадках, коли одне з навантажень досягає екстремального значення, і дуже рідко, коли реалізується комбінація екстремумів декількох різних навантажень, що змінюються в часі.

Рекомендація використовувати правило Туркстри була включена до міжнародного стандарту ISO 2394:1998 [15] та Єврокод-0 [3], де воно поширене на випадок поєднання одного провідного навантаження з усіма іншими тимчасовими навантаженнями.

За рекомендацією [3] екстремальне значення одного навантаження (умовно має перший номер) є зафіксованим у нормах розрахунковим значенням, а величини інших навантажень у вигляді розрахункових значень, помножених на коефіцієнт поєднань  $\psi_i$ . Істотно, що в цьому правилі коефіцієнт  $\psi_i$  залежить тільки від навантаження, але при цьому доводиться розглядати і враховувати одну за одну всі змінні навантаження у якості «базисного навантаження», зменшуючи всі інші навантаження за допомогою коефіцієнтів поєднань.

Все сказане вище стосувалося проблеми вибору розрахункових поєднань навантаження для першої групи граничних станів, які безпосередньо пов'язані з проблемами безпеки. Стосовно другої групи граничних станів (за експлуатаційною придатністю) тривалий час дослідження майже не проводилися. У вітчизняній традиції передбачається, що правила вибору мають залишатися незмінними,

тільки замість розрахункових значень навантаження використовувалися нормативні (характеристичні) значення.

Проте це зовсім не так. Справа в тому, що критерій експлуатаційної придатності:

- не завжди чітко визначено і часто залежить від вимог, що мають суб'єктивний характер (хиткість перекриттів, відчуття дискомфорту при великих прогинах тощо);
- можуть не вкладатися в концепцію викиду навантаження за певний критичний рівень (наприклад, якщо йдеться про неприйнятні частоти вібрацій, де визначальним є тривалість дії).

Крім того, на відміну від першої групи граничних станів, тут може існувати ситуація оборотного граничного стану, коли ефекти навантаження, що призводять до порушення контрольованих умов, зникають після видалення відповідного навантаження.

З урахуванням сказаного в Єврокодi введено такі типи комбінацій для граничного стану експлуатаційної придатності:

- характеристичні, що застосовуються для незворотних граничних станів;
- часто повторюванні, за допомогою яких перевіряються оборотні граничні стани;
- квазіпостійні, що застосовуються для обліку тривалих реологічних процесів, таких як повзучість.

І для цих граничних станів дано правила складання розрахункових комбінацій, відмінні від правил для граничного стану за несучою здатністю. Крім того, спеціальні правила складання розрахункової комбінації Єврокод дає для аварійних, сейсмічних та пожежних комбінацій.

### **3. Загальні вимоги складання розрахункових поєднань впливів**

У рамках перевірок граничних станів несучої здатності для постійних або перехідних розрахункових ситуацій (основні поєднання) необхідно окремо розглянути такі групи граничних станів несучої здатності:

1) EQU: втрата статичної рівноваги конструкції або будь-якої її частини, що розглядається як жорстке тіло, для якої незначні зміни значення або просторового розподілу постійних впливів від одного джерела є значними та міцність матеріалів конструкції чи основи у загальному випадку не впливають на граничний стан;

2) STR: внутрішнє руйнування або надмірні деформації конструкції або елементів конструкції, включаючи фундаменти, палі, підпірні стінки і т.д., для яких міцність матеріалів має визначальне значення;

3) GEO: руйнування або надмірні деформації основи, для яких міцність основи або скельної породи має визначальне значення для забезпечення несучої здатності конструкції;

4) FAT: руйнування внаслідок втоми конструкції або конструктивних елементів;

5) UPL: втрата рівноваги конструкції або ґрунту внаслідок підняття під тиском води (плавучості) або здимання (випору) ґрунту;

б) НУД: гідравлічний підйом, внутрішня ерозія або вимивання ґрунту, спричинених гідравлічним градієнтом.

Також при перевірках граничних станів несучої здатності в окрему групу виділяють розрахункові ситуації, що виникають при особливих та сейсмічних впливах

Найбільшу увагу привертає варіант STR, що використовується у стабільних і перехідних розрахункових ситуаціях і для котрого у EN 1990 надається формула комбінування

$$1,35 \sum G_{k,j,\text{sup}} \oplus \sum G_{k,j,\text{inf}} \oplus 1,5 Q_{k,1} \oplus 1,5 \sum_{\langle i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i},$$

де знак  $\oplus$  означає «включити, якщо це можливо та вигідно».

У рамках цього правила поєднань впливів прийнято, що кілька змінних впливів діють одночасно, при цьому виділяють домінуючий змінний вплив  $Q_1$  з характеристичним значенням  $Q_{k,1}$  та інші змінні дії які повинні бути прийняті до уваги як супутні змінні впливи зі своїми комбінаційними значеннями  $\psi_0 Q_k$ .

Домінуючий змінний вплив  $Q_1$  означає, що для аналізованого ефекту впливу (наприклад, згинального моменту в поперечному перерізі елемента) змінний вплив  $Q_1$  створює найбільш несприятливе значення ефекту і, таким чином, береться до уваги зі своїм характеристичним значенням  $Q_{k,1}$ . Якщо домінуюча дія не очевидна, то необхідно кожен змінну дію по черзі розглянути як домінуючу.

У випадковій розрахунковій ситуації використовується таке правило складання розрахункових комбінацій

$$\sum G_{k,j,\text{sup}} \oplus \sum G_{k,j,\text{inf}} \oplus A_d \oplus (\psi_{1,1} \text{ або } \psi_{2,1}) Q_{k,1} \oplus \sum_{\langle i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}.$$

Вибір між  $\psi_{1,1} Q_1$  і  $\psi_{2,1} Q_1$  слід співвідносити з відповідною випадковою розрахунковою ситуацією тими навантаженнями, що там присутні. Так, комбінація дій для випадкових розрахункових ситуацій повинна або включати власне особливу дію  $A$  (пожежа або ударна дія, нерівномірна деформація основи) і тоді використовують  $\psi_{2,1} Q_1$  або мати відношення до ситуації після закінчення особливої події ( $A=0$ ) і тоді використовують  $\psi_{1,1} Q_1$ .

Можуть виникнути інші міркування щодо навантажень, для котрих слід вживати  $\psi_{1,k} Q_k$ . Наприклад, вважається, що до аварійного сполучення, крім основних впливів, може входити лише одне аварійне навантаження. Підґрунтям цієї тези є короткочасність реалізації аварійного навантаження, що веде до практичної неможливості одночасної появи більш одного такого навантаження.

Але наслідки аварійного навантаження можуть зберігатися довгий час, тому сполучення таких наслідків з іншим аварійним навантаженням може бути цілком реальним. Цими наслідками можуть бути як зміна розрахункових параметрів конструкції (наприклад, геометричних вимірів перерізу від пошкодження), так і наявність залишкових напружень і переміщень (наприклад, від нерівномірних деформацій основи



фундаментів, обумовлених зміною структури ґрунту при замочуванні просідаючих ґрунтів).

Для таких сполучень умови перевірки повинні мати вигляд

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_j \oplus P_{A,for} \oplus A_d \oplus \psi_1 Q_1 \otimes \sum_{i>1} \psi_i Q_i,$$

де  $P_{A,for}$  — постійно діючі зусилля, що є наслідками від попереднього аварійного навантаження (аналог попереднього напруження).

Для сейсмічних розрахунків правило складання розрахункових комбінацій має такий вигляд

$$\sum G_{k,j,\text{sup}} \oplus \sum G_{k,j,\text{inf}} \oplus A_d \oplus \sum_{\langle i \geq 1 \rangle} \psi_{2,i} Q_{k,i}.$$

Перевірка граничних станів за експлуатаційною придатністю пов'язана з розглядом наступних розрахункових комбінацій:

1) Характеристична комбінація, що використовується при перевірках незворотних граничних станів (наприклад, ширини розкриття тріщин) і будується таким чином:

$$\sum_{\langle j \geq 1 \rangle} G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{\langle i > 1 \rangle} (\psi_{0,i} Q_{k,i}).$$

2) Часто повторювана комбінація, що використовується при перевірках оборотних граничних станів (наприклад, пружних прогинів) складається як

$$\sum_{\langle j \geq 1 \rangle} G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} Q_{k,1} \oplus \sum_{\langle i > 1 \rangle} (\psi_{2,i} Q_{k,i}).$$

3) Квазіпостійна комбінація, що використовується для перевірки результату дії довготривалих впливів або під час перевірки зовнішнього вигляду конструкції складається за правилом.

$$\sum_{\langle j \geq 1 \rangle} G_{k,j} \oplus \sum_{\langle i \geq 1 \rangle} (\psi_{2,i} Q_{k,i}).$$

#### 4. Питання ефективності пропонуємих змін

Оскільки коефіцієнти для змінних дій за EN 1990 дорівнюють 1,50, і значно переважають аналогічні коефіцієнти надійності за навантаженням за діючими нормами, що часто не відповідає їх фізичному змісту, то виникає побоювання про зростання вартості будівництва при використанні Єврокода. Наведений далі приклади розрахунку повинні вказати: чи ці побоювання мають сенс.

У якості прикладу розглядається плита перекриття розміром 18×24 м, яка спирається на колони розташовані по сітці 6×6 м (рис. 3).

Характеристичне значення корисного навантаження 1,5 кН/м<sup>2</sup> (житлові будівлі). З врахуванням коефіцієнту зниження

$$\psi_{A1} = 0,4 + \frac{0,6}{\sqrt{A/A_0}} = 0,4 + \frac{0,6}{\sqrt{36/10}} = 0,716.$$

Маємо характеристичне навантаження 0,874 кН/м<sup>2</sup> і розрахункове навантаження 1,017 кН/м<sup>2</sup> ( $\gamma_f=1,3$ ).

У розрахунках приймалися до уваги постійно діюча власна вага и 12 незалежно діючих змінних навантажень, котрі можуть бути прикладеним до кожної з ділянок 6×6 м, розташованих між колонами.

Для порівняння результатів розрахунку використаємо значення головного згинаючого моменту

$$M_0 = \frac{M_x + M_y}{2} + \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}.$$

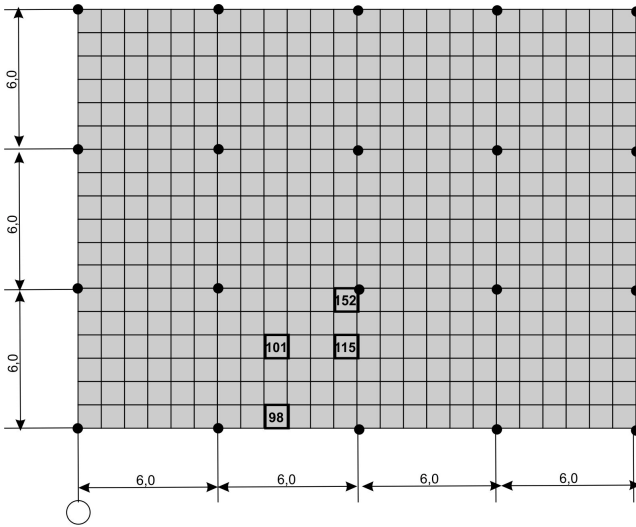


Рис. 3

Порівняння виконувалося для чотирьох скінчених елементів, позначених своїми номерами на рис. 1, для котрих розглядалися значення  $M_0$ , підраховане для центру скінченого елемента. Результати наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Елемент	Значення $M_0$ , кНм		$M_{0,EN}/M_{0,ДБН}$
	ДБН	EN 1990	
98	25,82	31,32	1,21
101	22,92	28,07	1,22
115	8,74	10,97	1,26
152	-31,16	-38,28	1,23

Якщо розглядати тільки випадок одночасної дії всіх змінних навантажень, то згинальні моменти зменшуються практично однаковим чином і в ДБН і в EN 1990 (табл. 4), тобто кількість змінних навантажень практично не вплинула на результат порівняння.

Отже, бачимо, що розрахунок за правилами EN 1990 дає помітне збільшення згинаючих моментів, і цей факт може утруднити перехід до правил Єврокоду.

Таблиця 4

Елемент	Значення $M_0$ , кНм		$M_{0,EN}/M_{0,ДБН}$
	ДБН	EN 1990	
98	20,75	25,24	1,22
101	18,67	22,69	1,22
115	6,52	7,84	1,20
152	-26,45	-32,25	1,22

Далі надається деяка компромісна пропозиція, яка враховує особливості EN 1990 і одночасно наближає результат до вітчизняної традиції. Ідея цієї пропозиції ґрунтується на тому, що коефіцієнти, які використовує EN 1990, являють собою добуток коефіцієнта надійності по навантаженню  $\gamma_f$  та коефіцієнта надійності моделі впливу  $\gamma_{sd}$ . У посібнику [16] наводиться свідомості про їхні значення, що прийняті у EN 1990:

- для постійних несприятливих навантажень  $\gamma_f=1,125$ ,  $\gamma_{sd}=1,20$ ;
- для постійних сприятливих навантажень  $\gamma_f=0,875$ ,  $\gamma_{sd}=1,20$ ;
- для тимчасових несприятливих навантажень  $\gamma_f=1,35$ ,  $\gamma_{sd}=1,10$ .

При цьому зазначається, що коефіцієнт  $\gamma_{sd}$  не має наукового обґрунтування і є результатом «інженерного судження».

Вітчизняна традиція, зафіксована у ДБН В.1.2.2, оперує з іншими значеннями коефіцієнта надійності по навантаженню  $\gamma_f$ . Вони більш диференційовані і мають менші значення, ніж значення  $\gamma_f$  в EN 1990, а їх використання підтверджено успішним досвідом проектування та будівництва. Тому доцільно формулу комбінування подати у формі, що використовує розрахункові значення навантажень, а не характеристичні (зверніть увагу на індекс  $d$  замість  $k$ )

$$1,2 \sum G_{d,j,\text{sup}} \oplus \sum G_{d,j,\text{inf}} \oplus 1,1 Q_{d,1} \oplus 1,1 \sum_{(i>1)} \Psi_{0,i} Q_{d,i}.$$

Беручи до уваги, що кількість змінних навантажень мало впливає на результати порівняння, аналізувати цю пропозицію будемо для випадку, коли на конструкцію діє одне постійне навантаження  $G$  і одне змінне навантаження  $Q$  і будемо вважати, що  $Q=\eta G$ . Тоді відношення результату, який можна одержати при переході від ДБН В.1.2.2 до EN 1990 характеризується коефіцієнтом

$$k_{EN} = \frac{1,35 + 1,5\eta}{\gamma_{f,G} + \gamma_{f,Q}\eta},$$

а при використанні нашої пропозиції як

$$k_{\text{проп}} = \frac{1,2\gamma_{f,G} + 1,1\gamma_{f,Q}\eta}{\gamma_{f,G} + \gamma_{f,Q}\eta}.$$

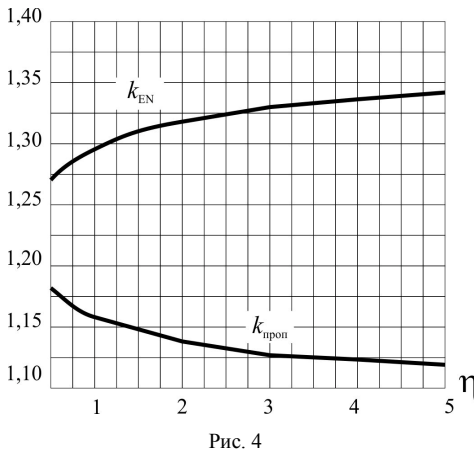


Рис. 4

Для характерного випадку, коли  $\gamma_{f,G}=1,1$  та  $\gamma_{f,Q}=1,3$  графіки вказаних коефіцієнтів надані на рис. 4.

Тут можна побачити, що для більшості реальних конструкцій, для котрих значення показника  $\eta$  перевищує 2,5, можливе зростання розрахункових зусиль дорівнює приблизно 10%. Тут слід взяти до уваги що зростання розрахункових зусиль викликає помітно менше зростання витрати будівельних матеріалів, Так

для розглянутого приклада теоретична кількість арматури, що була підібрана автоматично у програмі СКАД, складала при розрахунках по ДБН 3,012 Т, а при розрахунках з використанням запропонованої методики 3,057 Т.

Було виконано порівняльні розрахунки сталевого каркасу, схема котрого надана на рис. 5. Розглядався випадок, коли на конструкцію діяли 16 навантажень, серед них: постійні навантаження від власної ваги каркасу, покрівлі та перекриттів, стінових панелей; 5 вітрових навантажень ( $\pm X$ ,  $\pm Y$  і  $45^\circ$ ); 2 варіанта снігових навантажень, корисні навантаження на перекриттях.

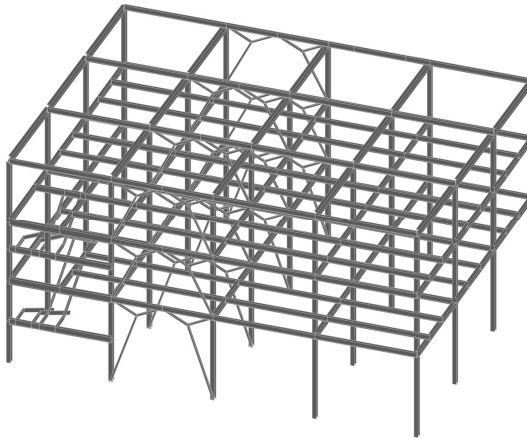


Рис. 5

Знайдено, що загальна теоретична (без урахування уніфікації перерізів) витрата сталі дорівнює 133,22 т при використанні ДБН і

140,80 т коли розрахунок виконувався з використанням запропонованої методики. Різниця становить 5,7%, що можна вважати допустимим.

### Заключні нотатки

Порівняльний аналіз методів складання розрахункових комбінацій навантажень, рекомендованих у ДБН В.1.2.2 і EN 1990, може допомогти при розробці нової редакції вітчизняних норм. Найбільш важливими питаннями при цьому є вибір чисельних значень коефіцієнтів надійності  $\gamma_f$  і коефіцієнтів поєднань  $\psi_i$ . Помітні розбіжності між ДБН В.1.2.2 і EN 1990 вимагають враховувати як вітчизняний, так і європейський досвід і шукати компромісного рішення. Такий компроміс пропонується для складання розрахункових комбінацій, коли розрахункові (а не характеристичні) значення навантажень, прийнятих за ДБН В.1.2.2, коректуються за рахунок коефіцієнтів моделей  $\gamma_{sd}$ , що пропонуються у EN 1990.

Мабуть багато проблем може бути пов'язано з прийнятим у EN 1990 і відсутнім у вітчизняній традиції підходом, який регламентує способи перевірки несучої здатності, які відрізняються для перевірок у різних розрахункових ситуаціях. Тут відсутнє якесь принципове заперечення, але треба враховувати великий психологічний тиск традиції.

Ще одна проблема визначається тими обставинами, що у багатьох нормативних документах, які посилаються на ДБН В.1.2.2, буде потрібно перевірити, як впливають зміни, що будуть вноситися у норми навантажень, на термінологію, а можливо і форму викладання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.2-6:2022. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. – К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. – 56 с.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи. – К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2018. – 67 с.
3. EN 1990. Basis of Structural Design. – Brussels European Committee for Standardization. – 2002. – 89 p.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування – К.: Мінбуд України, 2006 – 59 с.
5. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
6. Пичугин, С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий / С.Ф. Пичугин. – Полтава: ООО «АСМИ», 2009. – 452 с.
7. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
8. Ditlevsen, O. Structural Reliability Methods / O. Ditlevsen, H.O. Madsen. – Technical University of Denmark: Department of Mechanical Engineering: Coastal, Maritime and Structural Engineering, July 2005. – 363 p.
9. Madsen, H.O. Methods of structural safety / H.O. Madsen, S. Krenk, N.C. Lind. – New Jersey: Prentice all, 1986. – 416 p.
10. Mori, Y. Probabilistic models of combinations of stochastic loads for limit state design / Y. Mori, T. Kato, K. Murai // Structural Safety, 2003, Vol. 25. – P. 69–97.
11. Болотин, В.В. О сочетаниях случайных нагрузок, действующих на сооружение / В.В. Болотин // Строительная механика и расчет сооружений Б 1962, № 2. – С. 1–5.
12. Turkstra C.I., Madsen H.O. Load Combinations in Codified Structural Design // Proceedings of ASCE. Journal of the Structural Division, 1980. vol. 106, No. ST12. – P. 2527-2543.

13. Turkstra C.J. Theory of structural design decision // Solid Mechanics Division, Study NO. 2. — Waterloo, Ont: University of Waterloo, 1970 — 124 p.
14. Ferry Borges, J. Structural safety / J. Ferry Borges, M. Castanheta, 2 ed. — Lisbon : Laboratório Nacional De Engenharia Civil, 1971. — 326 p.
15. ISO 2394:1998. General principles of reliability for structures — Geneva: International Organization of Standardization, 1998.
16. Гульванесян Х., Калгаро Ж-А., Голицки М. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990: Основы проектирования сооружений — М. МГСУ, 2011. — 258 с.

## REFERENCES

1. DBN V.1.2-6:2022. Osnovni vimogi do budivel i sporud. Mekhanichniy opir ta stiykist. — K.: Ministerstvo rozvitku gromad ta teritoriy Ukrainy, 2022. — 56 s.
2. DBN V.1.2-14:2018. Sistema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeki budivelnikh ob'ektiv. Zagalni printsipi. — K.: Ministerstvo rozvitku gromad ta teritoriy Ukraini, 2018. — 67 s.
3. EN 1990. Basis of Structural Design. — Brussels European Committee for Standardization, 2002. — 89 p.
4. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennya i vplivi. Normi proektuvannya — K.: Minbud Ukraini, 2006 — 59 s.
5. Bolotin. V.V. Metody teorii veroyatnostey i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzheniy / V.V. Bolotin. — 2-e izd.. pererab. i dop. — M. : Stroyizdat. 1982. — 351 s.
6. Pichugin. S.F. Nadezhnost stalnykh konstruksiy proizvodstvennykh zdaniy / S.F. Pichugin. — Poltava : OOO «ASMI», 2009. — 452 s.
7. Rzhantsyn. A.R. Teoriya rascheta stroitelnykh konstruksiy na nadezhnost / A.R. Rzhantsyn. — M. : Stroyizdat. 1978. — 239 s.
8. Ditlevsen. O. Structural Reliability Methods / O. Ditlevsen. H.O. Madsen. — Technical University of Denmark: Department of Mechanical Engineering: Coastal, Maritime and Structural Engineering, July 2005. — 363 p.
9. Madsen. H.O. Methods of structural safety / H.O. Madsen. S. Krenk. N.C. Lind. — New Jersey: Prentice all, 1986. — 416 p.
10. Mori. Y. Probabilistic models of combinations of stochastic loads for limit state design / Y. Mori, T. Kato, K. Murai // Structural Safety. — 2003. — Vol. 25. — P. 69–97.
11. Bolotin. V.V. O sochetaniyakh sluchaynykh nagruzok. deystvuyushchikh na sooruzheniye / V.V. Bolotin // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 1962, № 2. — S. 1–5.
12. Turkstra C.I., Madsen H.O. Load Combinations in Codified Structural Design // Proceedings of ASCE. Journal of the Structural Division. 1980. vol. 106. No. ST12. — P. 2527-2543.
13. Turkstra C.J. Theory of structural design decision // Solid Mechanics Division. Study NO. 2. — Waterloo, Ont: University of Waterloo. 1970 — 124 p.
14. Ferry Borges, J. Structural safety / J. Ferry Borges, M. Castanheta, 2 ed. — Lisbon : Laboratório Nacional De Engenharia Civil. 1971. — 326 p.
15. ISO 2394:1998. General principles of reliability for structures — Geneva: International Organization of Standardization. 1998.
16. Gulvanesyan Kh., Kalgaro Zh-A., Golitski M. Rukovodstvo dlya proektirovshchikov k Evrokodu 1990: Osnovy proektirovaniya sooruzheniy — M. MGSU, 2011 258 s.

*Стаття надійшла 15.05.2022*

*Перельмутер А.В.*

### **СКЛАДАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПОЄДНАНЬ ВПЛИВІВ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО EN 1990**

Стаття звертається до одного з основних питань, котрі виникають при запланованій розробці нової редакції вітчизняних норм, яка орієнтована на більш тісне зближення з європейським нормативним документом EN 1990 у частині методів розрахунку. Ці методи якщо не приймаються цілком, то хоча б узгоджуються принципіальні позиції, по можливості зберігаючи вітчизняним традицію

Наведено огляд підходів європейських норм EN 1990 до складання розрахункових поєднань впливів на будівельні конструкції. Узагальнено інформацію про методику вибору розрахункового поєднання впливів різних груп граничних станів з урахуванням різних типів репрезентативних значень змінних впливів. Вказуються розбіжності з методами нормативних документів, що діють на території України (ДБН), з розрахунку будівельних конструкцій. Звертається увага на варіативність правил Єврокоду для побудови розрахункових сполучень відносно тих ситуацій, котрі розглядаються, така варіативність відсутня у ДБН Розглядається проблема можливого зростання розрахункових навантажень під час переходу на методику EN 1990 та оцінюється величина цього зростання.

Запропоновано компромісний підхід, що поєднує принципові положення EN 1990 з накопиченим вітчизняним досвідом та дозволяє помітно зменшити зростання розрахункових навантажень. На прикладах показано, що зростання розрахункових зусиль викликає помітно менше зростання витрати будівельних матеріалів.

**Ключові слова:** навантаження і впливи, коефіцієнти надійності, розрахункове сполучення, граничні стани.

*Perelmuter A.V.*

### **COMPILATION OF CALCULATED COMBINATIONS IN ACCORDANCE WITH EN 1990**

The article addresses one of the main issues that arise in the planned development of a new version of domestic standards, which is aimed at closer convergence with the European normative document EN 1990 in terms of calculation methods. If these methods are not fully accepted, then at least the principled positions are agreed, if possible preserving the domestic tradition

An overview of the approaches of European standards EN 1990 to the compilation of design combinations of effects on building structures is given. The information on the method of choosing the calculated combination of influences of different groups of limit states taking into account different types of representative values of variable influences is generalized. Discrepancies with the methods of normative documents in force on the territory of Ukraine (DBN) on the calculation of building structures are indicated. Attention is drawn to the variability of Eurocode rules for the construction of settlement connections in relation to the situations under consideration, such variability is absent in the DBN.

A compromise approach is proposed, which combines the principles of EN 1990 with the accumulated domestic experience and allows to significantly reduce the growth of design loads. The examples show that the increase in design effort causes significantly less increase in the cost of building materials.

**Keywords:** loads and effects, reliability coefficients, calculated combination, limit states.

УДК 624.042.1

*Перельмутер А.В. Складання розрахункових поєднань впливів у відповідності до EN 1990 // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2022. – Вип. 109. – С. 93-108.*

*Наведено огляд підходів європейських норм EN 1990 до складання розрахункових поєднань впливів на будівельні конструкції. Вказуються розбіжності з методами нормативних документів, що діють на території України. Розглядається проблема можливого зростання розрахункових навантажень під час переходу на методику EN 1990 та оцінюється величина цього зростання. Запропоновано компромісний підхід, що поєднує принципові положення EN 1990 з накопиченим вітчизняним досвідом. Наведено ілюстративні приклади.*

Табл. 5. Іл. 5. Бібліогр. 16 назв.

UDC 624.042.1

*Perelmuter A. Compilation of calculated combinations in according with EN 1990 // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-&-Technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2022. – Issue 109. – P. 93-108.*

*The review of approaches of the European norms of EN 1990 is resulted to drafting of calculation combinations of influences on build constructions. Disagreements with the methods of normative documents which operate on territory of Ukraine are specified. The problem of possible growth of the calculation loadings is examined during passing to the method of EN 1990 and the value of this growth is estimated. Compromise approach which combines principle positions of EN 1990 with accumulated domestic experience is offered. Illustrative examples are resulted.*

Табл. 5. Fig. 5. Ref. 16.

УДК 624.042.1

*Перельмутер А.В. Составление расчетных комбинаций в соответствии с EN 1990 // Соппротивление материалов и теория сооружений: науч.-тех. сборн. – К.: КНУСА, 2022. – Вип. 109. – С. 93-108.*

*Приведен обзор подходов европейских норм EN 1990 к составлению расчетных сочетаний влияний на строительные конструкции. Указываются разногласия с методами нормативных документов, которые действуют на территории Украины. Рассматривается проблема возможного роста расчетных нагрузок во время перехода на методику EN 1990 и оценивается величина этого роста. Предложен компромиссный подход, который совмещает принципиальные положения EN 1990 с накопленным отечественным опытом. Приведены иллюстративные примеры.*

Табл. 5. Ил. 5. Библиогр. 16 назв.

**Автор:** доктор технічних наук, головний науковий співробітник HBO SCAD Soft  
Перельмутер Анатолій Вікторович

**Адреса:** 03037, Україна, м. Київ, вул Освіти, 3а, Науково-виробниче об'єднання з обмеженою відповідальністю SCAD Soft

**Мобільний тел.:** +38 (050) 382-16-25

**E-mail:** AnatolyPerelmuter@gmail.com

**ORCID ID:** <https://orcid.org/0000-0001-9537-2728>