

## **ОСОБЛИВОСТІ ЕВОЛЮЦІЇ НОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЕЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

### **FEATURES OF THE EVOLUTION OF LOAD REGULATION ON THE BUILDING STRUCTURES**

**Пічугін С.Ф., д.т.н., професор, ORCID 0000-0001-8505-2130 (Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)**

**Pichugin S.F., DSc, Professor, ORCID 0000-0001-8505-2130 (National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”)**

**У статті показано, що протягом останніх дев'яноста років норми щодо нормування навантажень зазнали значних змін і розширили свої статистичні основи. Розвинене територіальне снігове і вітрове районування, суттєво змінено нормування кранових навантажень. Відзначено високий науковий рівень вітчизняних норм навантажень, які мають сучасний статистичний базис та асоціюються з нормами Єврокод.**

**Engineers always face the question of how the builders of the past ensured the reliability of buildings that have been safely preserved to this day. At the same time, the issues of substantiation of some calculation parameters remain unclear. These and other questions are answered by the study of the development of domestic and foreign design codes, the relevance of which is not only related to the fact that history provides factual knowledge about past construction experience, but to a certain extent allows predicting trends in the development of construction codes. It can be assumed that the long-term positive potential of the allowable stress method, was generally overlooked. The content of the article is a consistent review of approaches to considering loads on building structures and their reflection in regulatory documents of different years. Attention is focused on the continuity of the method of limit states and the method of permissible stresses in the part of the description of loads. With regard to climatic loads (snow, wind), attention is paid to changes in territorial zoning and calculation coefficients, the assignment of normative and calculation values and the involvement of experimental statistical data. Attention is also paid to the connection between the development of codes of crane loads and the results of experimental studies of these loads.**

#### **Ключові слова:**

**Надійність, граничні стани, кліматичні навантаження, кранове навантаження  
Reliability, limit states, climatic loads, crane loads**

**Вступ.** Перед інженерами завжди стоїть питання, яким чином будівельники минулого забезпечували безвідмовність будівель і споруд, які благополучно збереглися до нашого часу. При цьому залишаються неясними питання обґрунтування деяких розрахункових параметрів і коефіцієнтів методу допустимих напружень, які згодом увійшли у норми методу граничних станів. На ці та інші питання дає відповіді вивчення розвитку вітчизняних і зарубіжних норм проектування, актуальність якого пов'язана не тільки з тим, що історія дає фактичні знання про минулий досвід будівництва, але у певній мірі дозволяє прогнозувати тенденції розвитку будівельного нормування.

**Аналіз останніх досліджень.** Окремі етапи розвитку будівельної механіки, будівельних конструкцій і норм будівельного проектування освітлені у вітчизняних статтях і монографіях різних років [1,2]. Із закордонних видань, присвячених цій тематиці, виділимо капітальні огляди [3,4]. Аналіз еволюції норм будівельного проектування слід починати з капітального Урочного положення, яке регламентувало будівельну діяльність на території України з середини ХІХ століття до початку ХХ століття [5]. Закордонне будівельне нормування, зокрема в Німеччині, у цей же період представлено кількатомним довідником НҮТТЕ, який був доволі популярним до 1930-х років [6]. Період 1930 – 1955 рр. характеризується постійним розвитком і переглядом вітчизняних норм проектування, заснованих на методі допустимих напружень, заміненим згодом методом граничних станів, особливості якого проаналізовано в монографіях [7,8]. Важливим напрямком розвитку норм проектування є уточнення розрахункових значень навантажень, що діють на будівлі і мають складний імовірнісний характер [9]. Вітчизняні дослідження навантажень активізувалися останні десятиліття у зв'язку із впровадженням Державних будівельних норм України [10-12].

**Постановка і мета досліджень.** Треба відмітити, що на сьогоднішній час недостатньо наукових публікацій, в яких було детально проаналізовано хронологічний розвиток методу розрахунку за допустимими напруженнями, який був основою проектування будівельних конструкцій протягом більш ніж 100 років, до середини ХХ століття. Можна тому вважати, що взагалі поза увагою залишився багаторічний позитивний потенціал методу допустимих напружень, на базі якого у 1950-х роках було здійснено перехід до сучасного розрахунку будівельних конструкцій за граничними станами.

Метою і задачами дослідження є послідовний розгляд підходів до врахування навантажень на будівельні конструкції та їхнє відображення у нормативних документах різних років. Зосереджено увагу на спадкоємність методу граничних станів і методу допустимих напружень у частині опису навантажень. Стосовно кліматичних навантажень (снігових, вітрових) увагу приділено змінам територіального районування та розрахункових

коефіцієнтів, призначенню нормативних і розрахункових значень та залученню до цього дослідних статистичних даних. Приділено також увагу зв'язку розвитку норм кранових навантажень з результатами експериментальних досліджень цих навантажень.

**Результати досліджень.** Як вказано вище, першим нормативним документом, який діяв на території України, де були вміщені деякі положення методики розрахунку конструкцій, було «Урочне положення: посібник при складанні і перевірці кошторисів, проектуванні та виконанні робіт» [5]. Цікаво відмітити, що його автором був граф Де-Рошфор М.І. (1846 – 1903), інженер-будівельник і архітектор, будівельник залізниць, шосе і палаців. Урочне положення – унікальний посібник, який служив довідником для будівельників і архітекторів, підручником для викладачів, керівництвом для будівельних підрядчиків. У ньому вперше давалися роз'яснення до будівельних норм і правил та містився необхідний довідковий матеріал стосовно будівництва. Урочне положення увійшло у дію вперше в 1869 р., перевидавалося зі змінами 13 разів, останнє видання було надруковано в 1930 р. Урочне положення мало важливий державний статус, було обов'язковим для використання на всій території країни.

У другій половині ХІХ-го століття та на початку ХХ-го століття вітчизняної технічної літератури практично не було. Тому популярністю користувалися перекладні технічні видання, переважно німецькі. Таким виданням був довідник Хютте (Hütte) – багатотомний «Довідник для інженерів, техніків та студентів» [6]. Перше німецьке видання Довідника було випущено в Німеччині в 1857 р., воно включало розділи: математика і механіка, машинобудування і будівництво. Незабаром у 1863 р. вийшов перший російський переклад Довідника. До Другої світової війни Хютте (Hütte) був одним із найпоширеніших технічних довідників у нашій країні. Довідник продовжували видавати і в післявоєнні роки, останнє 34-е видання було надруковано в 2012 р.

*Зміни нормування снігового навантаження.* Спираючись на ці та інші джерела, для початку розглянемо, як змінювалося з часом нормування такого важливого і небезпечного силового впливу на будівлі, як снігове навантаження. Урочне положення містило деякі вказівки щодо навантажень на конструкції, зокрема, на кроквяні ферми. Навантаження від власної ваги регламентували в діапазоні 20 – 70 кгс/м<sup>2</sup>, змінні навантаження – на рівні 160 кгс/м<sup>2</sup>. Можна вважати, що це змінне навантаження із запасом враховувало снігове навантаження на основній території країни, а сумарне розрахункове навантаження 180 – 230 кгс/м<sup>2</sup>, разом із запасом за міцністю, забезпечувало певний рівень безаварійності конструкцій, виконаних за грамотними розрахунками. Відзначимо при цьому, що вказані рекомендації щодо сумарних навантажень на покрівлі відповідали німецьким нормативам того часу для пологих покрівель Німеччини [6].

У перших післяреволюційних Єдиних нормах будівельного проектування (1931 р.) снігове навантаження  $P_c$  (кгс/м<sup>2</sup>), визначали за формулою, досить незвичною на сучасний погляд:

$$P_c = P_c^0 (1 + 0.002h)(45^\circ - \alpha), \quad (1)$$

де  $P_c^0$  – емпірична величина, що залежала від географічного положення місцевості (широти і довготи), і знаходилася у відповідній таблиці зі значеннями широти в діапазоні 40 – 70° і довготи 20 – 190°;  $h$  – висота місцевості над рівнем моря (у метрах);  $\alpha$  – кут нахилу до горизонту (у градусах) поверхні, що сприймала навантаження від снігу.

Для конкретизації рекомендацій Єдиних норм щодо снігового навантаження, проведемо розрахунки для двох географічних пунктів:

- Полтава: широта 44°35', довгота 34°34',  $h = 146$  м,  $P_c^0 = 1,33$ , за формулою (1) розрахункове снігове навантаження на горизонтальну поверхню ( $\alpha = 0^\circ$ ) дорівнювало

$$P_c = 1,33(1 + 0,002 \cdot 146)45^\circ = 77,5 \text{ кгс/м}^2;$$

- Київ: широта 50°27', довгота 30°30',  $h = 183$  м,  $P_c^0 = 0,94$

$$P_c = 0,94(1 + 0,002 \cdot 183)45^\circ = 57,8 \text{ кгс/м}^2.$$

Як видно, регламентовані Єдиними нормами значення снігового навантаження були значно меншими тих, що містилися раніше в Урочному положенні.

В наступному нормативному документі 1933 р. снігове навантаження нормували інакше, залежно від висоти снігового покриву  $h$ , причому враховували середню максимальну висоту за десять останніх років. Отже, розрахункова висота снігового покриву мала деяке статистичне обґрунтування. У той самий час щільність снігу без достатнього роз'яснення приймали такою, що дорівнювала  $\rho = 100$  кг/м<sup>3</sup>. Розрахункове значення снігового навантаження визначали як  $p = 1,6\rho h$ . Було визначено 4 райони з різною висотою снігового покриву у діапазоні 30 см >  $h$  > 80 см та відповідним сніговим навантаженням  $p = 25 - 120$  кгс/м<sup>2</sup> [2].

Цікаво відмітити, що норми 1933 р. (тобто 90 років тому) містили розгорнуті рекомендації щодо можливого зниження снігових навантажень внаслідок підтавання:

а) для середньо утеплених покрівель (з термічним опором 0,75...1,10 (м<sup>2</sup>·°C)/Вт) при внутрішній температурі 15°C, 2/3 площі яких розташовані над опалювальними приміщеннями, – снігове навантаження знижували на 50%;

б) для покрівель будівель з великими тепловиділеннями (тепловий потік понад  $800 \text{ кал/год/м}^2$ ) з термічним опором менше  $0,75(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$  – снігове навантаження знижували на 75%;

У подальшому ці слушні рекомендації пустили, і вони відсутні у вітчизняних снігових нормах по сей день, хоча актуальність їх очевидна, що підтверджується наявністю подібних рекомендацій в Єврокодi.

У наступних нормах (1940 р), при обґрунтуванні нормативу снігового навантаження було підвищено щільність снігу з диференціацією  $\rho = 200 - 250 \text{ кг/м}^3$  залежно від висоти снігового покриву. Територія країни була поділена на 5 снігових районів зі значеннями висоти снігового покриву  $h$  та розрахункової ваги снігу  $p$  на поверхні землі дещо більшого рівня порівняно з попередніми нормами. При цьому територію України відносили до I району ( $h$  до 20 см, вага  $p = 50 \text{ кгс/м}^2$ ) та II району ( $h$  від 20 до 40 см,  $p = 70 \text{ кгс/м}^2$ ). Ці необґрунтовані нормативи ігнорували кліматичні особливості України і були суттєво нижче фактичних снігових навантажень на її території. Тим не менше, ці нормативи залишали у подальших виданнях норм навантажень, перевели в 50-ті роки минулого століття в якості нормативних значень у норми розрахунків за граничними станами, і нарешті (через 70 років!) замінили статистично обґрунтованими підвищеними значеннями у національних нормах ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». Складені на основі досліджень вітчизняних вчених [9], ці норми регламентують характеристичні значення снігового навантаження, зокрема, для Полтави і Києва 1600 Па ( $160 \text{ кгс/м}^2$  – 5 район) Більш детальний опис еволюції нормування снігового навантаження наведено у публікації [10].

*Еволюція нормування вітрових навантажень.* Початок цьому було покладено в 1931 р. з виходом «Єдиних норм будівельного проектування». Певна наукова основа для обґрунтування норм у той період вже була: багаторічні метеорологічні вітрові спостереження (3 рази у добу); з вимірюванням швидкості вітру флюгером Вільда з двохвилинним осередненням, аеродинамічні дослідження, що проводилися ще з дореволюційного часу в лабораторіях та інститутах. В Єдиних нормах вітрове навантаження визначали за формулою, що також мала досить незвичайний вигляд із сучасної точки зору:

$$p_v = k(p_v^0 + k_1 h), \quad (2)$$

де  $p_v$  – тиск вітру в  $\text{кгс/м}^2$ ;  $k$  – коефіцієнт обтікання, що залежав від форми і положення схильного до вітру об'єкта;  $p_v^0$  – найбільший тиск у  $\text{кгс/м}^2$  при прямуванні повітряного потоку нормально до поверхні;  $h$  – повна висота споруди (м) над обрізом фундаменту;  $k_1$  – розрахунковий коефіцієнт, що приймали в залежності від характеру обтікання споруд вітром.



Територіальне районування у перших вітрових нормах було практично відсутнє, оскільки для всієї країни приймали однаковий максимальний вітровий тиск  $p_b^0 = 50 \text{ кгс/м}^2$ , крім берегів морів й усть великих річок –  $75 - 100 \text{ кгс/м}^2$ .

Нормування вітрового навантаження було розвинуте у нормах, запроваджених у 1933 р. [2]. У них вітрове навантаження визначалося за іншою формулою:

$$P_a = k \cdot q, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт обтікання;  $q$  – вітровий тиск, аналогічний  $p_b^0$  у формулі (2).

Вітровий поділ зберігався на зазначені вище три географічні райони, причому для всієї території тиск було знижено до  $45 \text{ кгс/м}^2$ .

Оцінюючи описані вітрові норми, слід зазначити, що перше вітрове районування було недостатньо диференційованим і регламентувало для всієї території країни (за невеликими винятками) лише одне базове значення вітрового напору  $q = 45 \text{ кгс/м}^2$ . Воно не було достатньо статистично обґрунтовано. Як показали наступні дослідження, це значення виявилось заниженим і згодом було збільшено. Можливо, автори норм враховували це, тому рекомендували проектувальникам використовувати додатково відому шкалу сили вітру Бофорта, доповнену значеннями вітрового тиску [11]. Згідно з цією шкалою, нормоване значення  $q = 45 \text{ кгс/м}^2$  відповідає 8 балам та «дуже міцному вітру» зі швидкістю  $18 - 20 \text{ м/с}$ . У той же час, судячи зі шкали Бофорта, під час штормів та ураганів (9 – 12 бали) швидкість вітру та відповідний вітровий тиск можуть бути значно вищими. Слід зазначити, що у перших нормах вже враховували зростання вітрового навантаження з висотою, вплив захищеності споруд та характер обтікання будівель різної конфігурації.

Протягом подальших дев'яноста років норми проектування будівельних конструкцій стосовно нормування вітрових навантажень зазнали значних змін і розширили свої статистичні основи. Розвинули територіальне вітрове районування, збільшили кількість вітрових районів. Зокрема, згідно з чинними ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» Україна за характеристичними значеннями вітрового навантаження включає п'ять територіальних районів з розрахунковими характеристичними значеннями від  $0,4$  до  $0,6 \text{ кПа}$  [11].

*Етапи розвитку нормування кранових навантажень.* Початок вітчизняного нормування кранових навантажень було покладено в 1931 р. упровадженням «Єдиних норм будівельного проектування» [2]. З огляду на те, що в той час відповідні експериментальні роботи не проводили, основу

прийнятих нормативів становили зарубіжні норми, роботи кранівників та довідкові видання, наприклад [6].

Горизонтальні навантаження, що передаються від кранів на кранові колії та спрямовані уздовж будівлі, визначали як

$$H = 0,1Pn, \quad (4)$$

де  $P$  – розрахунковий вертикальний тиск на колесо крана;  $n$  – кількість гальмівних коліс крана, що знаходяться на підкрановій балці.

При цьому значення сил звичайної інтенсивності приймали такими, що дорівнювали 0,5 величин, отриманих за формулою (4) (очевидно, таким чином робили першу спробу врахування режиму роботи мостових кранів).

Поперечне кранове навантаження приймали таким, що створюється гальмуванням візка з вантажем, і визначали за формулою

$$T = \frac{0,1(Q + q)n}{n_0}, \quad (5)$$

де  $Q$  – вага вантажу;  $q$  – вага візка;  $n_0$  – кількість всіх коліс крана;  $n$  – кількість гальмівних коліс крана.

Це зусилля розподіляли між підкрановими балками пропорційно їхнім бічним жорсткостям.

Формули (4) і (5) враховують, що сила тертя  $F$  дорівнює нормальному тиску  $N$ , помноженому на коефіцієнт тертя між рейками і колесами крана або візка  $f$ , що дорівнює 0,1.

Для особливо швидко або повільно працюючих кранів дозволяли визначати горизонтальні сили за формулою:

$$H = \frac{\sum Q}{10} \cdot \frac{v}{t}, \quad (6)$$

де  $\sum Q/10$  – маса вантажів, що переміщуються (цифра 10 в знаменнику наближено враховує  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ );  $V$  – максимальна швидкість руху крана (візка);  $t$  – час гальмування.

Формулу (6) було отримано з умови рівності кінетичної енергії руху та роботи сили  $H$ . За зростання швидкості за законом трикутника ця формула визначає середню величину сили, що дорівнює половині максимальної миттєвої сили  $H_{\text{max}}$ , що виявляється при гальмуванні. В подальших виданнях норм формулу (6) було видалено.

У подальші роки норми кранових навантажень поступово змінювали [12], але тільки у 2006 р в національних нормах ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» помилкову формулу гальмівних сил (5) було замінено на формулу бічних сил, що спричиняються перекосами мостових кранів і непаралельністю кранових колій. Зокрема, для чотириколісних мостових кранів ця формула має наступний вигляд:

$$H_{\kappa} = 0,1F_{\max} + \alpha(F_{\max} - F_{\min}) \frac{L_{cr}}{B}, \quad (7)$$

де  $F_{\max}$  і  $F_{\min}$  – середні тиски коліс відповідно більше і менше завантаженого боку крана;  $L_{cr}$ ,  $B$  – проліт і база крана;  $\alpha$  – коефіцієнт, що дорівнює 0,01 для кранів з роздільним приводом механізму руху і 0,03 – для кранів з центральним приводом.

У наведеній формулі перший доданок дає поперечну силу від перекосу колеса, другий – горизонтальну складову на реборді колеса, що обмежує перекіс моста. Дана формула забезпечує досить близький збіг з експериментальними величинами [12].

**Висновки.** Показано, як протягом останніх дев'яноста років норми проектування будівельних конструкцій щодо нормування навантажень зазнали значних змін і розширили свої статистичні основи. Розвинене територіальне снігове і вітрове районування, збільшено кількість районів на території України. Суттєво змінено нормування кранових навантажень, особливо у частині бічних сил мостових кранів. Модифіковано обґрунтування нормативних (характеристичних) та розрахункових значень кліматичних і кранових навантажень на основі збільшеного періоду повторюваності. Відзначено високий науковий рівень вітчизняних норм ДБН В.1.2-2006 «Навантаження та впливи», які мають сучасний статистичний базис, асоціюються з нормами Єврокод та забезпечують необхідний рівень надійності будівельних конструкцій.

1. Баженов В.А., Ворона Ю.В., Перельмутер А.В. Будівельна механіка і теорія споруд. Нариси з історії. К.: Каравела, 2016. 427 с. ISBN 978-966-222-968-8/  
Bazhenov V.A. Vorona YU.V., Perel'muter O.V. Budivel'na mekhanika ta teoriya sporud. Narisy z istoriyi. K.: Karavela, 2016. 427 s. ISBN 978-966-222-968-8/

2. Пічугін С.Ф. Етапи розвитку загальної методики розрахунку будівельних конструкцій: монографія. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2024. 400 с. ISBN 978-966-182-699-0  
Pichuhin S.F. Etapy rozvytku zahal'noyi metodyky rozrakhunku budivel'nykh konstruktsiy: monohrafiya. Poltava: TOV "ASMI", 2024. 400 s. ISBN 978-966-182-699-0

3. Elishakoff I. Probabilistic Theory of Structures. New York: Dover Publications, 1999. 502 p.

4. Truesdell C.A. Essays in the History of Mechanics. Berlin: Springer Verlag, 1968. 384 p.

5. Де-Рошефор Н.И. Иллюстрированное Урочное положение: пособие при составлении и проверке смет, проектировании и исполнении работ. Шестое исправленное издание. Петроград: Издание К.Л. Раккера, 1916. 694 с.

De-Roshefor N.I. Ilyustrirovannoye Urochnoye polozheniye: posobiye pri sostavlenii i proverke смет, proyektirovaniy i ispolneniiy rabot. Shestoye ispravlennoye izdaniye. Petrograd: Izdaniye K.L. Rakkera, 1916. 694 s



6. НҮТТЕ. Справочник для инженеров, техников и студентов. Том второй. Издание пятнадцатое, исправленное и дополненное (перевод с 26 немецкого издания). М.: Госмашметиздат, 1935. 1003 с.

HҮTTE. Spravochnik dlya inzhenerov, tekhnikov i studentov. Tom vtoroy. Izdaniye pyatnadtsatoye, ispravlennoye i dopolnennoye (perevod s 26 nemetskogo izdaniya). M.: Gosmashmetizdat, 1935. 1003 s.

7. Перельмутер А.В., Пічугін С.Ф. Метод граничних станів. Загальні положення та застосування в нормах проектування. К.: Видавництво «Софія-А», 2024. 253 с. ISBN 978-617-8382-12-4

Perel'muter O.V., Pichuhin S.F. Metod hranychnykh staniv. Zahal'ni polozhennya ta zastosuvannya v normakh proektuvannya. K.: Vydavnytstvo "Sofiya-A", 2024. 253 s. ISBN 978-617-8382-12-4

8. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій. Полтава: ТОВ «АСМІ», 2016. 520 с. ISBN 978-966-182-418-8

Pichuhin S.F. Rozrakhunok nadiynosti budivel'nykh konstruktsiy. Poltava: TOV "ASMI", 2016. 520 s. ISBN 978-966-182-418-8

9. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. К.: УкрНДІПСК, 1999. 185 с.

Pashyns'kyu V.A. Atmosferni navantazhennya na budivel'ni konstruktsiyi dlya terytoriyi Ukrayiny. K.: UkrNDIPSK, 1999. 185 s.

10. Pichugin Sergii. Probabilistic basis development of standartization of snow loads on building structures // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Полтава: НУ «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», 2020. Вип. 2 (55). С. 5-14. <https://doi.org/10.26906/znp.2020.55.2335>

11. Пічугін С.Ф. Тенденції розвитку норм вітрового навантаження на будівельні конструкції // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: Збірник наукових праць. Луцьк: Луц. НТУ, 2022. Вип. 18. С. 98-116. DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-12.

Pichuhin S.F. Tendentsiyi rozvytku norm vitrovoho navantazhennya na budivel'ni konstruktsiyi // Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi: Zbirnyk naukovykh prats'. Luts'k: Luts'k. NTU, 2022. Vip. 18. S. 98-116. DOI: 10.36910/6775-

12. Пічугін С.Ф. Розвиток нормування кранових навантажень на будівельні конструкції // Комунальне господарство міст. Науково-технічний збірник. Серія: технічні науки та архітектура. Харків: ХНУМГ, 2021. Том 4. Вип. 164. С. 82-98. DOI:10.33042/2522-1809-2021-4-164-82-98.

Pichuhin S.F. Rozvytok normuvannya kranovykh navantazhen' na budivel'ni konstruktsiyi // Komunal'ne hospodarstvo mist. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. Seriya: tekhnichni nauky ta arkhitektura. Kharkiv: KHNUMH, 2021. Tom 4. Vip. 164. S. 82-98.