

**ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ НОРМ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА
БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ**

**TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF WIND LOAD CODES
FOR BUILDING STRUCTURES**

**Пічугін С.Ф., д.т.н., проф. (Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава)**

**Pichugin S.F., Dr. Tech. Sc., Professor (National University «Yuri
Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava)**

Стаття містить систематизований огляд науково-технічних публікацій з проблем вітрового навантаження за 90-річний період – з 30-х років ХХ століття до теперішнього часу. Наголошується, що це навантаження на споруди має складну фізичну природу та мінливий характер. Головна увага приділяється аналізу еволюції норм проектування конструкцій у частині змін територіального районування та розрахункових коефіцієнтів, призначення нормативних та розрахункових значень вітрового навантаження. Зазначається, що більшість параметрів норм вітрового навантаження має ймовірнісну природу та вимагає для свого обґрунтування застосування статистичних методів. Виділяються наукові результати, які можуть бути включеними до наступних видань норм вітрового навантаження.

Ensuring the reliability and safety of buildings and structures depends to a large extent on the correct understanding of the nature, quantitative description and normalization of loads on building structures, including wind loads. These loads have a rather complex physical nature and changeable nature, which require knowledge of thermodynamic processes in the atmosphere, physical properties of wind effects, methods of meteorological observations and climatological description of the area, variability of wind loads, nature of wind blowing of structures and buildings. Such features are to a certain extent reflected in the sections of the codes for the design of building structures containing wind load codes. Most of the parameters of the wind load codes are probabilistic in nature and require the application of statistical methods for their justification. These methods were constantly changing and developing along with the regular revision of building design codes. Therefore, the analysis of the evolution of domestic wind load codes together with their statistical substantiation is an urgent task. Materials devoted to wind loads have been published in various scientific and technical journals, collections of articles, and conference materials. The article contains a systematic review of design codes and publications on the problem of wind load over a 90-year period from the 1930s to the present. The main attention is paid to the analysis of trends in the development of codes for the design of structures in terms of changes in calculation coefficients, the assignment of normative and calculation values of wind load and the involvement of experimental statistical data. The high scientific level of domestic

codes DBN B.1.2-2006 "Loads and loadings", which have a modern probabilistic basis and are associated with Eurocode codes, is noted. Scientific results are highlighted that can be included in the following wind load codes.

Ключові слова: вітрові спостереження, вітрове навантаження, територіальне районування, нормативне навантаження, розрахункове навантаження

Key words: wind observations, wind load, territorial zoning, normative load, design load.

Вступ. Забезпечення надійності та безаварійності будівель і споруд великою мірою залежить від правильного розуміння природи та кількісного опису, нормування навантажень на будівельні конструкції, у тому числі вітрових навантажень. Ці навантаження на споруди мають складну фізичну природу та мінливий характер, вони вимагають знань термодинамічних процесів в атмосфері, фізичних властивостей вітрових впливів, методики метеорологічних спостережень і кліматологічного опису місцевості, мінливості вітрових навантажень, характеру обдування вітром конструкцій і споруд. Вказані особливості певною мірою відбиваються у розділах норм проектування будівельних конструкцій, що містять нормативи вітрового навантаження. Більшість параметрів норм вітрового навантаження мають ймовірнісну природу і вимагають для свого обґрунтування застосування статистичних методів. Ці методи постійно змінювалися та розвивалися разом з регулярним переглядом норм будівельного проектування. Аналіз еволюції вітчизняних норм вітрового навантаження разом з їх статистичним обґрунтуванням є актуальним завданням.

Аналіз результатів досліджень і публікацій. Регулярні вітрові спостереження проводяться з кінця XIX століття. У 30-ті роки їх результати послужили основою складання першого нормативного документа з вітрового навантаження та перших публікацій з цієї проблеми [1,2]. Цей процес активізувався підготовкою до переходу розрахунків конструкцій на методику граничних станів [3]. У наступні роки разом із регулярним переглядом норм навантажень і впливів на конструкції удосконалювалося нормування вітрового навантаження. Еволюція вітрових норм висвітлювалася в публікаціях провідних науково-технічних журналів, в оглядах розвитку вітрових норм, опублікованих як розділи монографій та дисертацій, присвячених навантаженням на будівлі та споруди [4 – 13]. Починаючи з 90-х років минулого століття, норми проектування розроблялися окремими державами, які раніше входили до СРСР. У зв'язку з цим активізувалися ймовірнісні дослідження вітрового навантаження на території України [14 – 26], результатом яких став відповідний розділ ДБН В.1.2-2006 «Навантаження та впливи». У наступні роки дослідження вітрового навантаження продовжилися разом із

обґрунтуванням та уточненням низки розрахункових коефіцієнтів [27 – 30].

Мета і задачі дослідження. Матеріали, присвячені вітровому навантаженню, опубліковані у різних науково-технічних журналах, збірниках статей, матеріалах конференцій. Доступ до цих видань утруднений, опубліковані огляди розвитку нормування вітрового навантаження неповні та не включають результати досліджень останніх 15 – 20 років. Стаття містить систематизований огляд публікацій у провідних науково-технічних виданнях щодо проблеми вітрового навантаження за 90-річний період – з 30-х років ХХ століття до теперішнього часу. Головна увага приділяється аналізу еволюції норм проектування конструкцій у частині змін територіального районування та розрахункових коефіцієнтів, призначення нормативних і розрахункових значень вітрового навантаження та залучення до цього досвідчених статистичних даних. Виділяються наукові результати, які можуть бути включеними до наступних видань норм вітрового навантаження.

Основний матеріал та результати. Збір інформації про вітрові впливи виконувався на території дореволюційної Росії із середини ХІХ століття у складі загальних кліматологічних робіт. Ця робота активізувалася, коли в 1849 р була створена перша у світі Головна фізична обсерваторія (згодом Головна геофізична обсерваторія ім. А.І. Воєйкова), яка організувала мережу метеорологічних станцій по всій країні та обробляла їхні спостереження. Поряд з іншими спостереженнями, метеостанції виконували регулярні виміри швидкості та напрямку вітру.

Початок вітчизняного нормування вітрових навантажень було покладено в 1930 р, коли були введені в дію перші норми в галузі будівництва – «Єдині норми будівельного проектування». Певна наукова основа для обґрунтування норм у той період вже була: багаторічні метеорологічні вітрові спостереження (3 рази на добу); аеродинамічні дослідження, що проводилися ще з дореволюційного часу в лабораторіях та інститутах.

В Єдиних нормах вітрове навантаження визначалося за формулою, що мала досить незвичайний вигляд із сучасної точки зору:

$$p_e = k(p_e^0 + k_1 h), \quad (1)$$

де p_e – тиск вітру в кг/м^2 , нормальний до поверхні, що його сприймає; цей тиск вважається позитивним, коли він спрямований всередину споруди, та негативним, коли він спрямований назовні; k – коефіцієнт обтікання, що залежить від форми і положення схильного до вітру об'єкта; p_e^0 – найбільший тиск у кг/м^2 при прямуванні повітряного

потоків нормально до поверхні. Цей тиск становить за величиною напір вітру, що відповідає найбільшій для даного місця швидкості вітру (без урахування особливих його поривів), і може бути визначений за формулою:

$$p_e^o = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{v^2}{16}, \quad (2)$$

де $\gamma = 1,23 \text{ кг/м}^3$ - вага повітря (тиск 760 мм, температура 15°C); $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ - прискорення сили тяжіння; v - розрахункова швидкість вітру в м/сек.

Якщо величина v не була встановлена результатами метеорологічних спостережень, що систематично проводилися в районі будівництва протягом не менше 20 років, тиск p_e^0 приймався постійним, рівним для трьох географічних районів СРСР:

- 1 район – прибережна смуга Чорного моря завдовжки 100 км із центром у м. Новоросійську – 100 кг/м^2 ;
- 2 район – узбережжя морів (за винятком Азовського моря та Фінської затоки) і пониззі великих річок, що впадають у них, – 75 кг/м^2 ;
- 3 район – вся територія СРСР, за винятком 1 та 2 районів – 50 кг/м^2 .

Це районування було встановлено на підставі вимірів швидкості вітру флюгером Вільда з двохвилинним осередненням. Наведені районні значення відповідали відкритій місцевості; в місцях, закритих від вітру забудовою або рідкісною рослинністю, наприклад, у селищах або на околицях міст, значення зменшувалися на 20% (відповідні районні значення 80, 60 та 40 кг/м^2); у місцях великої забудови або густої рослинності – вводилося зменшення на 40% (районні значення 60, 45 та 30 кг/м^2).

Параметр h у формулі (1) – повна висота споруди (в метрах) над обрізом фундаменту; k_1 – розрахунковий коефіцієнт, що приймався в залежності від характеру обтікання споруд вітром.

Величина $(p_e^0 + k_1 h)$ у всякому разі не повинна була перевищувати 150 кг/м^2 .

Єдині норми визначали, що величину коефіцієнта обтікання слід приймати, виходячи зі спеціальних дослідів чи досліджень. У разі відсутності дослідних даних цей коефіцієнт допускалося приймати за табличними даними, наведеними в нормах. Для основного варіанта – вертикальних стін – наводився коефіцієнт $k = +0,8$ для активного тиску та $k = -0,4$ для відсмоктування (згодом це значення було підвищено). Були

наведені також дані: для будівель з двосхилими дахами; двосхилих та циліндричних покриттів без стін; веж і труб прямокутного та круглого перерізів; ґратчастих та суцільних ферм мостів.

Нормування вітрового навантаження було розвинуте у нормах ОСТ/ВКС 7626/а, запроваджених у 1933 р. [1]. У них вітрове навантаження визначалося за іншою формулою:

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

де k – коефіцієнт обтікання; q – вітровий тиск, що визначався аналогічно p_g^0 у формулі (1).

Вітровий поділ території СРСР зберігався на зазначені вище три географічні райони, причому для 1 району було залишено значення 100 кг/м^2 , для 2 і 3 районів тиск було знижено до 70 кг/м^2 і 45 кг/м^2 .

Для споруд висотою до $h_0 = 20$ м вітрове навантаження приймалося постійним, рівномірно розподіленим за висотою. При зміні висоти h над рівнем земної поверхні вітровий тиск визначався за формулою

$$q : q_0 = \sqrt{h} : \sqrt{h_0}. \quad (4)$$

Степенева залежність (4) була доповнена кривими швидкісного тиску для трьох географічних районів.

Вітрові норми 1933 р. включали розгорнуту інформацію по коефіцієнту обтікання k у вигляді таблиці з 16 варіантами поверхонь і вантажних площ. Були наведені дані: для будівель зі скатними, циліндричними та шедовими дахами; будівель із підвищеною середньою частиною (ліхтарем), циліндричних покриттів без стін; частково відкритих будівель та навісів; веж та труб; ґратчастих конструкцій.

Оцінюючи описані вище вітрові норми, слід зазначити, що перше вітрове районування було недостатньо диференційованим і регламентувало для всієї території СРСР (за невеликими винятками) лише одне базове значення вітрового напору $q = 45 \text{ кг/м}^2$. Воно не було достатньо статистично обґрунтовано. Як показали наступні дослідження, це значення виявилось заниженим і згодом було збільшене. Можливо, автори норм враховували це, тому рекомендували проектувальникам використовувати додатково відому шкалу сили вітру Бофорта, доповнену значеннями вітрового тиску [1]. Згідно з цією шкалою, нормоване значення $q = 45 \text{ кг/м}^2$ відповідає 8 балам та «дуже міцному вітру» зі швидкістю 18 – 20 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 враховувалося зростання вітрового навантаження з висотою, вплив захищеності споруд та характер обтікання будівель різної конфігурації.

У 1930-ті роки проводилася низка досліджень вітрових впливів. Починаючи з 1936 р., метеорологічні спостереження за вітром та іншими кліматичними параметрами стали проводитися 4 рази на добу, що розширило статистичний базис вітрового нормування. У 1931-37 рр. будівельну аеродинаміку вивчали в лабораторії ЦНПС (Центрального науково-дослідного інституту промислових споруд) під керівництвом Е.І. Ретера. Тут шляхом продування моделей в аеродинамічній трубі було вивчено характер впливу вітру на однопролітні та багатопролітні будівлі з ліхтарями [2]. Ряд експериментальних даних, які становлять інтерес для будівельників, було отримано в ЦАГІ. У 1940 р був прийнятий загальносоюзний стандарт ОСТ 90059-40 «Вітрові навантаження». У ньому вітрове навантаження визначалося за аналогічною формулою зі зміненими позначеннями

$$q_6 = kq_0, \quad (4)$$

де q_0 – швидкісний напір вітру; k – аеродинамічний коефіцієнт.

Вітрове районування отримало невеликі зміни за формою і включало для кожного району значення швидкісного тиску на висоті до 20 м і 100 м і більше. Для основної території СРСР швидкісний тиск вітру був зменшений з 45 кг/м^2 до 40 кг/м^2 . Основні аеродинамічні коефіцієнти були представлені для вертикальних поверхонь (+0,8 та -0,6) та у вигляді схеми для циліндричних поверхонь. Формула (2) для визначення швидкісного тиску адресувалася місцевостям з різко вираженим рельєфом.

У зв'язку з переходом у 50-х роках минулого століття на розрахунок за граничними станами гостро відчулася необхідність розвитку норм навантажень. З урахуванням нових даних, у 1954 р. було введено Будівельні норми та правила СНиП II-Б.1-54 «Основні положення з розрахунку будівельних конструкцій». Ці норми відповідали запровадженню розрахунку конструкцій методом граничних станів. При переході на цей метод як нормативне навантаження були прийняті значення розрахункового вітрового навантаження за попередніми нормами q_6 . До них були додані значення швидкісного тиску вітру на висоті до 10 м (районні значення 30, 55 і 100 кг/м^2). Крім того, з'явився IV район – берегова смуга Північного Льодовитого та Тихого океанів, – для якої вітрове навантаження регламентувалося особливими нормами. Розрахункові вітрові навантаження, які почали трактуватися як найбільш

можливі під час експлуатації конструкції, стали визначатися шляхом множення на коефіцієнт перевантаження. Цей коефіцієнт у зв'язку з відсутністю достовірних даних щодо мінливості вітрових максимумів було прийнято загальним для всієї території $n = 1,2$. Аеродинамічні коефіцієнти основних поверхонь були представлені в лаконічній табличній формі. Окремі схеми ілюстрували аеродинамічні коефіцієнти для будівель зі скатним та циліндричним дахом, а також з ліхтарями.

В цей же час Головна геофізична лабораторія провела статистичну обробку даних за швидкостями вітру за 20 років, яка показала, що розрахункове вітрове навантаження для першого району, що охоплює практично всю територію СРСР, має забезпеченість 3%, тобто можливе в середньому один раз за 30 – 50 років [3]. Разом з тим було обгрунтовано необхідність виділити ряд областей із підвищеними нормативними швидкостями вітру: південні степові райони Європейської частини СРСР, деякі райони Казахстану та Сибіру, що було враховано під час уточнення географічного вітрового районування СРСР при розробці наступних видань СНиП.

У 1958-1960 рр. на у ГГО ім. А.І. Воєйкова було виконано обробку щоденних 4-х термінових швидкостей вітру (без урахування напряму при 2-х хвилинному осередненні) за багаторічний період із застосуванням статистичної екстраполяції в область значень швидкостей понад 20 м/с [4]. Були використані дані про швидкості вітру приблизно в 1200 пунктах Радянського Союзу з повторюваністю один раз за 20, 15, 10, 5 років та 1 рік. Як апроксимаційна функція використовувався видозмінений вираз розподілу Вейбулла, запропонований Л.С. Гандінім

$$F(v) = P(V \geq v) = \exp[-(v/\beta)^\gamma], \quad (5)$$

де $F(v)$ – ймовірність (або повторюваність) того, що швидкість вітру V досягне або перевершить величину v ; β та γ – параметри, що залежать від вітрового режиму району; β знаходиться поблизу середнього значення; γ характеризує відносне розсіювання членів ряду.

До даних для швидкостей вітру понад 20 м/с, отриманих за допомогою флюгерів із важкою дошкою, на пропозицію В.О. Отставнова вводилася понижувальна поправка (до 10% для $v = 40$ м/с), яка враховує систематичне завищення швидкостей вітру спостерігачами [5].

За заданою ЦНДІБК градацією швидкісних тисків та повторюваності швидкостей вітру один раз за 5 років було виконано районування території колишнього СРСР за семи нормативними значеннями швидкісних тисків вітру [6]. Нову карту більш детального районування за вітровим навантаженням було вперше включено до СНиП II-A.11-62

«Навантаження та впливи». Районні нормативні швидкісні тиски вітру для висоти над поверхнею землі 10 м (стандартної висоти установки флюгера чи анемометра) перебували у діапазоні 27 – 100 кг/м². Гірські райони, що заштриховані на карті, були виділені в особливий район. Вітрове навантаження суттєво зросло для колишнього Казахстану, півдня Західного Сибіру, узбереж Далекого Сходу та деяких інших районів, а в деяких районах було збережено на колишньому рівні або дещо знижено (у центральних районах, віддалених від узбереж). Для будівель, розташованих серед суцільної забудови, у СНиП П-А.11-62 дозволялося знижувати швидкісний натиск вітру на 30% – таким чином, приблизно враховувалася шорсткість місцевості. Врахування зростання вітрового навантаження з висотою було розвинено порівняно з попередніми нормами і представлено у вигляді таблиці, в якій для висот в діапазоні 10...350 м вказувалися поправочні коефіцієнти 1,0...3,0. Коефіцієнт перевантаження був залишений тим самим $n = 1,2$ для звичайних будівель та споруд, що забезпечувало період повторення розрахункового навантаження $T = 10...15$ років; для високих споруд, при розрахунку яких вітрове навантаження має вирішальне значення (башт, щогл, градирень та ін.), приймався $n = 1,3$, що відповідає $T = 20$ років. При перевірці міцності конструкцій для умов монтажу коефіцієнт перевантаження до вітрового навантаження не вводився.

Крім того, ЦНДІБК (Л.В. Клепиков) ретельно проаналізував результати вітчизняних та зарубіжних досліджень у галузі аеродинамічних коефіцієнтів і дав у СНиП принципово нову таблицю їх значень для 17 поперечних перерізів будівель та елементів. Було внесено суттєві доповнення для навісів, наскрізних конструкцій, циліндричних споруд. Ця таблиця переважно збереглася до норм 1985 р., тобто використовувалася понад 20 років. Для високих споруд у СНиП був вперше введений підвищуючий коефіцієнт β , що враховує динамічний вплив пульсацій швидкісного тиску, викликаних поривами вітру, і дана методика його визначення.

Під час підготовки кліматичних параметрів вітрових навантажень для наступного видання СНиП Л.В. Клепиков проаналізував великий матеріал 4-х термінових спостережень за флюгером [7]. Він виявив, що для статистичного згладжування екстраполяції місячних та річних максимумів модуля швидкості вітру підходить подвійний експоненційний розподіл Гумбеля (розподіл екстремумів I типу):

$$F(v) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{v - \alpha}{\beta} \right) \right], \quad (6)$$

де α – параметр положення; β – масштабний параметр.

Використання цього розподілу дозволило зробити висновок, що можна очікувати в середньому зниження швидкісного тиску приблизно на 10% без зміни періоду повторюваності, встановленого в нормах, що діють. Отримані результати підтверджено розробками кліматологів ГГО ім. А.І. Воейкова [8], зарубіжними результатами [9] і завершилися розробкою нового районування території СРСР за швидкісним тиском вітру (у колишній градації їх нормативних значень), яке увійшло у наступне видання норм вітрових навантажень.

Важливий аспект вітрового впливу на споруди – залежність швидкісного тиску від висоти – був у сфері уваги кліматологів і розробників норм. Вихідні статистичні дані для оцінки цієї залежності були отримані на 160 аерологічних станціях, які вимірюють швидкості вітру на різних висотах за допомогою радіозондів та радіолокаційних станцій типу «Метеор» та «Метеорит». Спостереження за вітром регулярно проводилися також на таких висотних спорудах, як метеорологічна щогла в Обнінську (висота 300 м), Московській телевежі заввишки 503 м та інших об'єктах. В результаті були побудовані вертикальні профілі швидкості вітру [10], описані степеневим законом виду

$$v(z) = v_{10} (z/10)^\alpha, \quad (7)$$

де z – висота над поверхнею землі; α – показник степені, що залежить від шорсткості місцевості.

Для з'ясування впливу шорсткості підстиляючої поверхні на профіль вітру використовувалися дані вимірювань на щоглах у Києві, Новосибірську, Ленінграді та Обнінську. В результаті було виділено три типи місцевості залежно від степені її захищеності.

До чергового видання норм СНиП II-6-74 «Навантаження та впливи» було включено накопичені напрацювання в галузі вітрового навантаження, описані вище. Було чітко сформульовано, що вітрове навантаження – це сума статичної та динамічної складових. Статична складова, що відповідає швидкісному тиску, що встановився, повинна враховуватися у всіх випадках. Динамічна складова, викликана пульсаціями швидкісного тиску, повинна враховуватися переважно для високих споруд.

Визначення нормативного значення статичної складової вітрового навантаження відрізнялося від попередніх норм:

$$q_c^H = q_0 k c, \quad (8)$$

де q_0 – швидкісний тиск, що приймається за колишніми районними значеннями та дещо зміненою картою районування території СРСР; k – новий коефіцієнт, що враховує зміну швидкісного натиску за висотою та типом місцевості; c – аеродинамічний коефіцієнт.

Для обґрунтування коефіцієнта k були прийняті до уваги результати проведених вітчизняних вітрових спостережень на висотних спорудах та зарубіжні дані, і було прийнято степеневий закон зміни швидкісних напорів за висотою (7). Було введено в облік цього коефіцієнта також два типи місцевості, що відрізнялися ступенем захищеності: тип А – відкриті; тип Б – місцевості з перешкодами (міста, лісові масиви та ін.). Коефіцієнти k перебували для висот 10...350 м у діапазоні 1,0...3,1 для місцевостей типу А й у діапазоні 0,65...3,1 для місцевостей типу Б, причому всі коефіцієнти виявилися нижчими відповідних значень з попередніх норм. Був суттєво розвинений облік динамічної складової вітрового навантаження, розроблений М.Ф. Барштейном [11] з урахуванням фундаментальних робіт А.Г. Давенпорта [12].

У наступному виданні СНиП 2-01-07-85 «Навантаження та впливи», що вийшов через 11 років, вітрове навантаження розширено трактувалося як сукупність нормального тиску, прикладеного до зовнішньої та внутрішньої поверхонь будівель, та сил тертя, спрямованих по дотичній до зовнішньої поверхні, або як нормальне тиск на споруду. Згідно з рекомендаціями вказаних норм, вітрове навантаження, як і раніше, слід було визначати як суму середньої та пульсаційної складових. Пульсаційну складову вітрового навантаження допускалося не враховувати при розрахунку багатоповерхових будівель заввишки до 40 м і одноповерхових виробничих будівель заввишки до 36 м при відношенні висоти до прольоту менше 1,5, що розміщуються в місцевостях типів А і В (див. нижче).

Нормативне значення середньої складової вітрового навантаження, позначене w_m , на висоті z над поверхнею землі визначалося за модифікованою формулою

$$w_m = w_0 k c, \quad (9)$$

де w_0 – нормативне значення вітрового тиску; k – коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску по висоті; c – аеродинамічний коефіцієнт.

При цьому нормативне значення вітрового тиску w_0 (Па) визначалося за формулою (2), в якій v_0 – швидкість вітру (м/с), на рівні 10 м над поверхнею землі для місцевості типу А, що відповідає

10-хвилинному інтервалу осереднення і перевищується в середньому один раз за 5 років. Перехід до нового інтервалу осереднення замість бувшого двохвилинного інтервалу відповідає рішенням Всесвітньої метеорологічної організації. Він призвів до зменшення нормативного вітрового тиску, яке приблизно враховується множенням на коефіцієнт 0,92 [13]. Тому скореговані районні значення вітрового тиску перейшли у діапазон 0,23...0,85 кПа (кгс/м²) замість 0,27...1,00 кПа за попередніми нормами. При цьому попередні розрахункові значення навантажень були збережені, коефіцієнт, який раніше називався «коефіцієнтом перевантаження», одержав нову назву «коефіцієнт надійності за вітровим навантаженням», нове позначення і був підвищений до $\gamma_f = 1,4$.

Перелік типів місцевості, які враховуються при визначенні коефіцієнта k , був доповнений типом С для міських районів із забудовою будинками висотою більше 25 м. Значення коефіцієнта k були вміщені у диференційовану таблицю зі значеннями в діапазоні 0,4...2,75 для висот 5...480 м, вони були дещо зменшені на основі нових метеорологічних даних, наведених у науковій і нормативній літературі різних країн. В таблиці аеродинамічних коефіцієнтів були внесені зміни, які відносились до циліндричних і призматичних споруд та будівель із zenітними та поздовжніми ліхтарями [13].

З розпадом СРСР перед новими державами відкрилася можливість відійти від огрубленого радянського вітрового нормування та розробити власне, більш диференційоване вітрове районування. Подальший розвиток вітрових норм на території СНД реалізувався у вигляді національних норм окремих держав. Українські фахівці підготували Державні норми України ДБН В.1.2–2006 «Навантаження та впливи», які концептуально відрізняються від СНиП у частині вітрових навантажень. Було суттєво розвинено ймовірнісне представлення випадкових навантажень на будівельні конструкції, зокрема вітрових навантажень. Розроблено такі математичні моделі, як випадкові процеси, абсолютні максимуми випадкових процесів, схема незалежних випробувань, дискретне представлення, екстремуми, корельована випадкова послідовність перевантажень [14]. Це дозволило обґрунтувати для середньої складової вітрового навантаження ймовірнісну модель у вигляді диференційованого випадкового процесу [15,16]. Розподіл Вейбулла, який добре описує дослідні дані, було використано для ймовірнісного опису вітрового навантаження. Цей розподіл має наступні диференційну і інтегральну функції розподілу:

$$f(\gamma) = \frac{\beta}{\alpha} (X - \gamma)^{\beta-1} \exp\left[-\frac{(X - \gamma)^\beta}{\alpha}\right]; \quad F(X) = 1 - \exp\left[-\frac{(X - \gamma)^\beta}{\alpha}\right], \quad (14)$$

де γ – параметр положення розподілу, якщо $\gamma = 0$, тоді розподіл можливий тільки при $X \geq 0$; $\alpha > 0$ – параметр масштабу, що визначає витягнутість розподілу; $\beta > 0$ – параметр форми, від якого залежить вигляд розподілу; при $\beta = 1$ розподіл Вейбулла перетворюється в експоненційний розподіл, при $\beta = 2$ – в розподіл Релея.

Аналіз стохастичної природи вітрового навантаження дозволив представити його у вигляді квазістаціонарного випадкового процесу з відносно повільно мінливими протягом річного циклу числовими характеристиками й розподілом ординати, з постійною частотною структурою. Сезонні зміни математичного очікування вітрового навантаження протягом року описуються алгебраїчним поліномом 3-го ступеня, середньорайонні коефіцієнти варіації й асиметрії – виявилися постійними для території України. Річний тренд математичного очікування \bar{X} й стандарту \hat{X} середньорайонних вітрових навантажень ілюструється порівняно невисокими плавними кривими з вершиною, що приходиться на зимові місяці. На основі викладених положень з використанням узагальнених дослідних даних 77 метеостанцій України і додатково 10 метеостанцій інших країн СНД були обґрунтовані розрахункові параметри імовірнісної моделі вітрового навантаження [17 – 19].

Розробці і виходу у світ Державних норм України ДБН В.1.2-2006 "Навантаження і впливи" у частині вітрового навантаження передували багаторічні роботи закордонних та українських дослідників [20 – 23]. Для статистичного дослідження і нормування вітрового навантаження були використані результати строкових вимірювань швидкості і напрямку вітру, виконаних анеморумбометрами на 195 метеостанціях України упродовж 1970...1990 років. В цілому для нормування вітрового навантаження України була використана представницька вибірка з більше 12 мільйонів результатів строкових спостережень за вітром.

Вимоги ДБН щодо вітрового навантаження поширюються на будівлі і споруди простої геометричної форми, висота яких не перевищує 200 метрів. Згідно з ДБН вітрове навантаження є змінним навантаженням, для якого встановлені два розрахункові значення: граничне і експлуатаційне розрахункові значення. Граничне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C, \quad (15)$$

де γ_{fm} – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження; W_0 – характеристичне значення вітрового тиску (в Па); C – коефіцієнт, що визначається за формулою (16).

Характеристичне значення вітрового тиску W_0 дорівнює середній (статичній) складовій тиску вітру на висоті 10 м над поверхнею землі, який може бути перевищений, на відміну від СНиП, у середньому один раз за 50 років (аналогічно нормам Єврокод). Характеристичне значення вітрового тиску W_0 визначається залежно від вітрового району по карті або табличному додатку. Відмітимо, що вітрове районування території України згідно з ДБН враховує значну територіальну мінливість вітрового навантаження, що помітно відрізняється від його занадто узагальненого нормування за СНиП, згідно з якими практично уся територія України відносилася до II-го (нормативне навантаження $W_0 = 0,3$ кПа, розрахункове 0,42 кПа) і III-го ($W_0 = 0,38$ кПа, розрахункове 0,53 кПа) вітрових районів. Більш детальне територіальне районування України за характеристичними значеннями вітрового навантаження включає п'ять територіальних районів з розрахунковими характеристичними значеннями від 0,4 до 0,6 кПа. Найменші значення вітрового навантаження спостерігаються в центральних і північно-західних районах України, а також в Закарпатті. Великі вітрові навантаження реалізуються в Карпатах, Прикарпатті і в приморських районах. Територіальне районування України за характеристичними значеннями вітрового тиску було виконано за методикою, розробленою В.А. Пашинським [22]. Використовувалася ймовірна модель нестационарного нормального випадкового поля, ординатами якого були значення навантажень окремих метеостанцій, розташованих на відстанях 30...60 км. Процедура згладжування дозволила отримати плавну поверхню математичного очікування вітрового навантаження, вільну від випадкових флуктуацій даних окремих метеостанцій. Районні значення розрахункового вітрового навантаження встановлювалися так, щоб надмірні запаси територіального районування були мінімальними.

Порівняння вітрового районування за ДБН зі СНиП виявляє порівняно невелику різницю розрахункових швидкісних тисків. Для центральних областей, Криму, Львова, Одеси, Херсона і Луганська вітрове навантаження менше, ніж в нормах СНиП. У Приазов'ї, навпаки, вітрове навантаження набагато вище. В середньому по Україні районування за ДБН занижує вітрове навантаження на 4%. При цьому для 34 % пунктів спостереження вітрове навантаження занижене на 15...25%, а для 12% пунктів – підвищене на 25...65%.

Коефіцієнт C визначається за розгорнутою формулою, аналогічною формулі норм Єврокод

$$C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d, \quad (16)$$

де C_{aer} – аеродинамічний коефіцієнт; C_h – коефіцієнт висоти споруди; C_{alt} – коефіцієнт географічної висоти; C_{rel} – коефіцієнт рельєфу; C_{dir} – коефіцієнт напрямку; C_d – коефіцієнт динамічності.

Аеродинамічні коефіцієнти C_{aer} , що враховують характер обдування споруд вітром і визначаються залежно від форми споруди або конструктивного елемента, залишилися в ДБН без суттєвих змін.

Коефіцієнт висоти споруди C_h враховує збільшення вітрового навантаження з висотою. На відміну від СНіП, в якому використовувалася степенева залежність швидкості вітру від висоти (7), у ДБН впроваджена логарифмічна залежність, як в європейських нормах

$$\bar{v}(z) = \bar{v}_{10} \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(10/z_0)}, \quad (16)$$

де $\bar{v}(z)$ і $\bar{v}(10)$ – середні швидкості вітру на висоті z і 10 м відповідно; z_0 – параметр шорсткості підстилаючої поверхні, який визначається у залежності від типу навколишньої місцевості; на відміну від трьох типів за СНіП, ДБН включає чотири типи місцевості: I – відкриті поверхні морів, озер, плоскі рівнини; II – сільська місцевість; III – приміські і промислові зони, протяжні лісові масиви; IV – міські території, на яких принаймні 15% поверхні зайняті будівлями, що мають середню висоту понад 15 м.

Коефіцієнт географічної висоти C_{alt} враховує висоту розміщення будівельного об'єкта над рівнем моря; коефіцієнт рельєфу C_{rel} враховує мікрорельєф місцевості поблизу площадки розташування будівельного об'єкта; коефіцієнт напрямку C_{dir} враховує нерівномірність вітрового навантаження за напрямками вітру.

Коефіцієнт динамічності C_d враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження і просторову кореляцію вітрового тиску на споруду. Для будівель і споруд, старший період коливань яких не перевищує 0,25 сек, $C_d = 1$. Для основних типів будівель і споруд, старший період коливань яких перевищує 0,25 сек, значення C_d визначаються за графіками, наведеними в ДБН.

Коефіцієнт надійності γ_{fm} за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження визначається у табличній формі залежно від заданого середнього періоду повторюваності T в діапазоні 0,55...1,45 для $T = 5...500$ років. Для об'єктів масового будівництва допускається середній період повторюваності T приймати таким, що дорівнює встановленому терміну експлуатації конструкції T_{ef} . Для переходу від базового періоду повторюваності $T = 50$ років до інших значень T (в роках) обгрунтована

залежність, узагальнена для території України, для коефіцієнта надійності по граничному розрахунковому значенню вітрового навантаження [22]:

$$\gamma_{fm} = 0,56 + 0,12 \ln T. \quad (17)$$

Експлуатаційне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою

$$W_e = \gamma_{fe} W_0 C, \quad (18)$$

де γ_{fe} — коефіцієнт надійності за експлуатаційним розрахунковим значенням вітрового навантаження.

У нормах ДБН вперше прийнято, що експлуатаційне розрахункове значення вітрового навантаження W_e залежить від частки часу η , упродовж якого воно може перевищуватися. За даними 195 метеостанцій України були підраховані експлуатаційні розрахункові значення вітрового навантаження W_e , залежні від географічного району і від частки терміну служби конструкції η [22]. Це дало можливість обґрунтувати відповідний коефіцієнт

$$\gamma_{fe} = 0,358 [-\lg(\eta)]^{3/2}. \quad (19)$$

Можна також користуватися відповідною таблицею ДБН, побудованою за формулою (19), згідно з якою $\gamma_{fe} = 0,42 \dots 0,09$ для $\eta = 0,002 \dots 0,1$. Для об'єктів масового будівництва допускається приймати $\eta = 0,02$.

Даючи загальну оцінку українським нормам ДБН В.1.2–2006 «Навантаження та впливи» у частині вітрового навантаження слід наголосити, що вони складені на сучасній методичній основі, наближені до європейських норм Єврокод, базуються на представницькому статистичному матеріалі, більш диференційовані та мають наукове імовірнісне обґрунтування, глибше розроблене, ніж у нормах минулих років.

У наступні роки в Україні тривали ймовірнісні дослідження вітрового навантаження, практичними результатами яких були рекомендації щодо вдосконалення норм проектування. Наукова школа надійності будівельних конструкцій Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка розробила імовірнісний розрахунок елементів на вітрове навантаження [24,25], доповнила імовірнісний опис статичної

складової вітрового навантаження [26,27]. Р.І. Кінаш запропонував альтернативний метод районування вітрових навантажень на території України [21]. Було розроблено пропозиції щодо більш детального вітрового районування гірського Карпатського регіону (у межах Закарпатської області) із запровадженням додаткових 4 районів (з 6-го по 9-й) з характеристичними вітровими навантаженнями в інтервалі 0,6...1,9 кПа [28]. І.М. Добрянським з колегами отримані результати для перевірки положень ДБН щодо профілів вітрового тиску для висотних споруд в умовах міської забудови [29]. В.А. Пашинський розробив нову методику адміністративно-територіального районування вітрових навантажень на будівельні конструкції [30].

Висновки. Показано, що протягом останніх дев'яноста років вітчизняні норми проектування будівельних конструкцій щодо нормування вітрових навантажень зазнали значних змін і розширили свої статистичні основи. Розвинулось територіальне вітрове районування, зросла кількість вітрових районів, особливо на території України. Модифікувалося обґрунтування нормативних (характеристичних) та розрахункових значень вітрового навантаження на основі збільшеного періоду повторюваності. Отримало статистичне обґрунтування експлуатаційне значення вітрового навантаження. Відзначається високий науковий рівень вітчизняних норм ДБН В.1.2-2006 «Навантаження та впливи», які мають сучасний статистичний базис, які асоціюються з нормами Єврокод та забезпечують необхідний рівень надійності будівельних конструкцій. Виділяються нові наукові результати, які можуть бути включені до наступних видань норм вітрового навантаження.

References

1. Spravochnik inzhenera-proyektirovshchika promsooruzheniy. Tom II. Raschetno-teoreticheskiy. Gosstroyizdat, 1934.
2. Retter E.I. Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya. Gl. red. stroit. lit, 1936.
3. Barshteyn M.F. Vozdeystviye vetra na vysokiye sooruzheniya. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 1959, №1, S. 19 – 32.
4. Anapol'skaya A.Ye., Gandin L.S. Metodika opredeleniya raschetnykh skorostey vetra dlya opredeleniya vetrovykh nagruzok na stroitel'nyye sooruzheniya. Meteorologiya i gidrologiya, 1958, №10, S. 9 – 17.
5. Kerimov A.A., Israimov A.A. Sravneniye rezul'tatov izmereniya skorosti vetra, osushchestvlennykh razlichnymi priborami. Meteorologiya i gidrologiya, 1970, №11, S. 102 – 104.
6. Klepikov L.V., Otstavnov V.A. Opredeleniye nagruzok pri raschete stroitel'nykh konstruktsey. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 1962, №5, S. 39 – 45.
7. Klepikov L.V. O statisticheskom raspredelenii skorosti vetra. Sbornik trudov «Metallicheskiye konstruktсии», 1975, №119, S. 31 – 40.
8. Zavarina M.V. Stroitel'naya klimatologiya. Gidrometeoizdat, 1976, 321 s.

9. Duchene-Marullar Ph. Etudes des vitesses maximales annuelles de vent pour le calcul des surcharges. Cahier du CSTB, 1972, Liv.131.
10. Borisenko M.M. Vertikal'nyye profili vetra i temperatura v niznikh sloyakh atmosfery. Trudy GGO, 1974, № 220, 204 s.
11. Barshteyn M.F. Rukovodstvo po raschetu zdaniy i sooruzheniy na deystviye vetra. Stroyizdat, 1978, 224 s.
12. Davenport A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. Int. Reseach Seminar on Wind Effects on Building and Structure, Ottawa, 1967.
13. Tseytlin A.A., Bernshteyn A.S., Guseva N.I., Popov N.A Novaya redaktsiya razdela «Vetrovyye nagruzki» glavy SNiP «Nagruzki i vozdeystviya». Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, 1987, №6, S. 28 – 33.
14. Pichugin S.F. Veroyatnostnoye predstavleniye nagruzok na stroitel'nyye konstruksii. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo, 1995, № 4, S. 12 – 18.
15. Pashynski V.A., Pichugin S.F. Wind Load Probabilistic Description and Value Computation Procedure Adopted for Building Code of Ukraine. Preprints EECWE '94. – Warsaw (Poland), 1994, Part 1, Vol.3, P. 49 – 52.
16. Pichugin S.F. Veroyatnostnyy analiz vetrovoy nagruzki. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo, 1997, №12, S. 13 – 20.
17. Pichugin S.F. Probabilistic Analysis on Wind Load and Reliability of Structures. Proc. Of the 2 EACWE.– Genova (Italy), 1997, Vol. 2, P. 1883 – 1890.
- 18 Pichugin S.F. Probabilistic Specification of Design Wind Load Coefficients. 2nd East European Conference on Wind Engineering. – Prague, 1998, P. 511–515.
19. Pichugin S.F. Sluchaynyye parametry vetrovoy nagruzki. Visnik DonDABA, 2001, vip. 2001-4(29), C. 45 – 50.
20. Pichugin S.F., Makhin'ko A.V. Vetrovaya nagruzka na stroitel'nyye konstruksii. Poltava: Izd-vo «ASMI», 2005, 342 s.
21. Kinash R.I., Burnayev O.M. Vitrove navantazhennya i vitroenerhetychni resursy v Ukraini. L'viv: Vyd-vo naukovy-tekhnichnoyi literatury, 1998, 1152 s.
22. Pashyns'kyi V.A. Atmosferni navantazhennya na budivel'ni konstruksiyi. K.: Vyd-vo «Stal'», 1999, 185 s.
23. Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. New York: John Wiley, 1996, 704 p.
24. Pichuhin S.F., Severyn V.O. Osoblyvosti imovirnisnogo rozrakhunku elementiv na vitrove navantazhennya. Visnyk DonDABA, 2001, vyp. 2001-4(29), – C. 91–96.
25. Sergiy Pichugin and Vitaliy Severin. Certain problems and probabilistic modelling of wind loads. Proceedings of 3rd East European Conference on Wind Engineering (3rd EECWE'2002), Kyiv, 2002, P. 58 - 60.
26. Pichuhin S.F., Severyn V.O. Imovirnisni modeli atmosfernykh navntazhen'. Proceedings of 2rd International Conference "Problems of the Technical Meteorology", – Lviv, 2002, P. 113 – 118.
27. Pichuhin S.F., Makhin'ko A.V. Imovirnisnyy opys statychnoyi skladovoyi vitrovoho navantazhennya u tekhnitsi absolyutnykh maksymumiv vypadkovoho protsesu. Visnyk DonDABA, vyp. 2003-2 (39), 2003. – S. 76 – 82.
28. Kinash R.I., Huk Y.A.S. Rayonuvannya terytoriyi Zakarpat's'koyi oblasti za vitrovym navantazhennyam. Zb. nauk. prats' Ukr. naukovy-dosl. ta proektnoho in.-tu stal. konstruksiy im. V.M. Shymanovs'koho, 2010, vyp. 5. K.: Vyd-vo «Stal'», S. 117 – 123.

29. Dobryans'kyu I.M., Lopatka S.S. Aktual'ni problemy doslidzhennya profiliv zminnoho z vysotoyu tysku na budivli i sporudy. Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politekhnika", 2002, № 462, S. 41 – 46.

30. Pashyns'kyu V.A. Metodyka administratyvno-terytorial'noho rayonuvannya klimatychnykh navantazhen' na budivel'ni konstruktsiyi. Zb. nauk. prats' «Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy», 2016, vyp. 32. Rivne: NUVHR. – S. 387 – 393.

Список використаної літератури

1. Справочник инженера-проектировщика промсооружений. Том II. Расчетно-теоретический. Госстройиздат, 1934.

2. Ретгер Э.И. Ветровая нагрузка на сооружения. Гл. ред. строит. лит., 1936.

3. Барштейн М.Ф. Воздействие ветра на высокие сооружения. *Строительная механика и расчет сооружений*, 1959, №1, С. 19 – 32.

4. Анапольская А.Е., Гандин Л.С. Методика определения расчетных скоростей ветра для определения ветровых нагрузок на строительные сооружения. *Метеорология и гидрология*, 1958, №10, С. 9 – 17.

5. Керимов А.А., Исраимов А.А. Сравнение результатов измерения скорости ветра, осуществленных различными приборами. *Метеорология и гидрология*, 1970, №11, С. 102 – 104.

6. Клепиков Л.В., Отставнов В.А. Определение нагрузок при расчете строительных конструкций. *Строительная механика и расчет сооружений*, 1962, №5, С. 39 – 45.

7. Клепиков Л.В. О статистическом распределении скорости ветра. *Сборник трудов «Металлические конструкции»*, 1975, №119, С. 31 – 40.

8. Заварина М.В. Строительная климатология. Гидрометеиздат, 1976, 321 с.

9. Duchene-Marullar Ph. Etudes des vitesses maximales annuelles de vent pour le calcul des surcharges. *Cahier du CSTB*, 1972, Liv.131.

10. Борисенко М.М. Вертикальные профили ветра и температура в нижних слоях атмосферы. *Труды ГГО*, 1974, № 220, 204 с.

11. Барштейн М.Ф. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. Стройиздат, 1978, 224 с.

12. Davenport A.G. The dependence of wind loads on meteorological parameters. *Jut. Reseach Seminar on Wind Effects on Building and Structure*, Ottawa, 1967.

13. Цейтлин А.А., Бернштейн А.С., Гусева Н.И., Попов Н.А Новая редакция раздела «Ветровые нагрузки» главы СНиП «Нагрузки и воздействия». *Строительная механика и расчет сооружений*, 1987, №6, С. 28 – 33.

14. Пичугин С.Ф. Вероятностное представление нагрузок на строительные конструкции. *Известия вузов. Строительство*, 1995, № 4, С. 12 – 18.

15. Pashinski V.A., Pichugin S.F. Wind Load Probabilistic Description and Value Computation Procedure Adopted for Building Code of Ukraine. *Preprints EECWE'94. – Warsaw (Poland)*, 1994, Part 1, Vol.3, P. 49 – 52.

16. Пичугин С.Ф. Вероятностный анализ ветровой нагрузки. *Известия вузов. Строительство*, 1997, №12, С. 13 – 20.
17. Pichugin S.F. Probabilistic Analysis on Wind Load and Reliability of Structures. *Proc. Of the 2 EACWE.– Genova (Italy)*, 1997, Vol. 2, P. 1883 – 1890.
- 18 Pichugin S.F. Probabilistic Specification of Design Wind Load Coefficients. *2nd East European Conference on Wind Engineering. – Prague*, 1998, P. 511–515.
19. Пичугин С.Ф. Случайные параметры ветровой нагрузки. *Вісник ДонДАБА*, 2001, вип. 2001-4(29), С. 45 – 50.
20. Пичугин С.Ф., Махинько А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. Полтава: Изд-во «АСМІ», 2005, 342 с.
21. Кінаш Р.І., Бурнаєв О.М. Вітрове навантаження і вітроенергетичні ресурси в Україні. Львів: Вид-во науково-технічної літератури, 1998, 1152 с.
22. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції. К.: Вид-во «Сталь», 1999, 185 с.
23. Simiu E., Scanlan R.H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. New York: John Wiley, 1996, 704 p.
24. Пічугін С.Ф., Северин В.О. Особливості імовірнісного розрахунку елементів на вітрове навантаження. *Вісник ДонДАБА*, 2001, вип. 2001-4(29), – С. 91–96.
25. Sergiy Pichugin and Vitaliy Severin. Certain problems and probabilistic modelling of wind loads. *Proceedings of 3rd East European Conference on Wind Engineering (3rd EECWE 2002)*, Kyiv, 2002, P. 58 - 60.
26. Пічугін С.Ф., Северин В.О. Імовірнісні моделі атмосферних навантажень. *Proceedings of 2nd International Conference "Problems of the Technical Meteorology"*, – Lviv, 2002, P. 113 – 118.
27. Пічугін С.Ф., Махинько А.В. Імовірнісний опис статичної складової вітрового навантаження у техніці абсолютних максимумів випадкового процесу. *Вісник ДонДАБА*, вип. 2003-2 (39), 2003. – С. 76 – 82.
28. Кінаш Р.І., Гук Я.С. Районування території Закарпатської області за вітровим навантаженням. *Зб. наук. праць Укр. науково-досл. та проектного ін.-ту стал. конструкцій ім. В.М. Шимановського*, 2010, вип. 5. К.: Вид-во «Сталь», С. 117 – 123.
29. Добрянський І.М., Лопатка С.С. Актуальні проблеми дослідження профілів змінного з висотою тиску на будівлі і споруди. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, 2002, № 462, С. 41 – 46.
30. Пашинський В.А. Методика адміністративно-територіального районування кліматичних навантажень на будівельні конструкції. *Зб. наук. праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди»*, 2016, вип. 32. Рівне: НУВГП, – С. 387 – 393.