

*Дорофеев В.С., д.т.н., профессор
Пушкар Н.В., к.т.н., доцент
Пашинський В.В., к.т.н.*

Одеська державна академія будівництва та архітектури

МЕТОДИКИ НОРМУВАННЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

За результатами статистичного аналізу метеорологічних даних визначено розрахункові параметри температури атмосферного повітря як силового впливу на несучі будівельні конструкції. Розроблено два варіанти методики нормування температурних впливів: через розрахункові температури повітря і температури замикання конструкцій та на основі безпосереднього встановлення перепадів температури. Виконано гармонізацію існуючого порядку визначення розрахункових значень силового впливу температури з Єврокодом та формами подання інших кліматичних навантажень у ДБН. З'ясовано, що запропонований порядок визначення розрахункових значень температурного впливу простіший від поданих у чинних нормах і гармонізований з формами подання інших атмосферних навантажень.

Ключові слова: *кліматичні навантаження, силовий вплив температури, нормування навантажень, територіальне районування.*

*Дорофеев В.С., д.т.н., профессор
Пушкар Н.В., к.т.н., доцент
Пашинский В.В., к.т.н.*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

По результатам статистического анализа метеорологических данных определены расчетные параметры температуры атмосферного воздуха как силового воздействия на несущие строительные конструкции. Разработаны два варианта методики нормирования температурных воздействий: через расчетные температуры воздуха и температуры замыкания конструкций и на основе непосредственного нормирования перепадов температуры.

Выполнена гармонизация существующего порядка определения расчетных значений силового воздействия температуры с Еврокодом и формами представления других климатических нагрузок в ДБН. Выяснено, что предложенный порядок определения расчетных значений температурного воздействия проще от представленного в действующих нормах и гармонизирован с формами представления других атмосферных нагрузок.

Ключевые слова: *климатические нагрузки, силовое воздействие температуры, нормирование нагрузок, территориальное районирование.*

NORMALIZATION METHODS OF POWER IMPACT FROM AIR TEMPERATURE

In order to simplify the work of the designer in DBN averaged some design parameters of the power impact of air temperature on the territory of Ukraine. A simple calculation shows that such averaging may lead to errors in the 10 – 15% of the design strength of steel under the condition of rigid fixing. Therefore, ignoring the territorial variability of the average daily temperature in the DBN to be considered unacceptable.

It is also clear that the current rules for determining the value of the temperature difference did not harmonized with the rules for any other climatic loads, or with the Eurocodes.

Based on the results of the statistical analysis of meteorological data the design parameters of air temperature, as the force impact on the supporting constructions are determined.

Processing of obtained results was performed using special software package which was used to build the zoning maps and perform anti-aliasing of borders of climatic regions.

In some cases, the boundaries of territorial areas combined with the boundaries of administrative areas, near which they were held, providing unambiguous decision on the classification of certain localities or areas to certain areas.

We offer two options for standardization of the temperature effects.

The first variant offers to normalize force effect of air temperature on the load-bearing constructions through design temperature and the temperature of designs closure. It's a classic scheme, which is used in the SNIP and DBN. The characteristic values of the temperature of the coldest and warmest days are determined by the zoning maps.

To implement the first option of standardization two zoning maps are used.

Second variant of methodology offers to normalize temperature changes directly. For this approach is enough only one zoning map.

For each of these methods developed detailed calculation algorithm. First variant of standardization of temperature effects 13 design parameters need to be calculated, and for the second variant – only 9.

Harmonization of the existing order of definition of the estimated values of the power effects of temperature with Eurocodes and other forms of presentation of climatic loads in DBN are performed.

The proposed order of definition of estimated values of the impact of climatic temperature is easier from that presented in the existing standards and harmonized with the forms of representation of other atmospheric loads in State Building Codes.

Keywords: *climatic loads, the force effect of temperature, regulation of loads, territorial zoning.*

Вступ. Зміни температури викликають лінійні деформації та переміщення, а також додаткові напруження в жорстких статично невизначних системах. Згідно з фундаментальними положеннями опору матеріалів та будівельної механіки, деформації від зміни температури визначаються через коефіцієнт лінійного температурного розширення, а додаткові напруження від змін температури – відповідно до закону Гука. У той же час величина температурного перепаду, що визначається за діючими нормами проектування, обґрунтована недостатньо та може бути уточненою.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Розрахункові значення температурного впливу на несучі будівельні конструкції встановлюються за нормами навантажень [6], які не враховують мінливість розрахункових параметрів [1, 2, 3, 4] по території України [5] та не встановлюють залежність розрахункових значень температурних перепадів від строку служби конструкції, як це зроблено в тих же нормах [6] для інших кліматичних навантажень (сніг, вітер, ожеледь).

Для дослідження силового впливу змін температури атмосферного повітря на несучі будівельні конструкції можна використати статистичні характеристики квазістаціонарного випадкового процесу середньодобової температури повітря на території України, які наведені й проаналізовані в монографії [7] та в роботі [8].

Пропозиції щодо нормування силового впливу температури повітря з урахуванням строку служби конструкцій і територіальної мінливості розрахункових параметрів розроблені в статті [9]. Запропонована схема нормування відповідає класичному підходу ДБН [6] та EN [10], який базується на визначенні розрахункових значень температурних перепадів як різниць між температурами найхолоднішої чи найтеплішої доби та початкової температури замикання конструкції. Розрахункові температури доби відповідають заданим періодам повторюваності, а їх характеристичні значення встановлюються за розробленими картами територіального районування, що й розв'язує проблему гармонізації з методикою нормування інших кліматичних навантажень. Недоліком методики [9] є значна кількість розрахункових параметрів, а також необхідність використання двох карт територіального районування України за характеристичними значеннями температури найхолоднішої та найтеплішої доби, що ускладнює норми навантажень і користування ними.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У нормативному документі [6] з метою спрощення роботи проектувальника виконано осереднення низки розрахункових параметрів силового впливу температури атмосферного повітря по всій території України. Простий розрахунок показує, що за умови жорсткого закріплення кінців таке осереднення може призводити до виникнення похибок у 10–5% розрахункового опору сталі. Тому ігнорування територіальної мінливості середньодобової температури повітря в нормах [6] слід вважати недопустимим.

Очевидно, що й діючі правила визначення величини температурного перепаду не гармонізовані ні з нормами встановлення інших кліматичних навантажень, ні з Єврокодом [10].

Метою дослідження є розробка науково обґрунтованих пропозицій щодо нормування температури атмосферного повітря для проектування несучих будівельних конструкцій на території України.

Основний матеріал і результати. Розроблення карт територіального районування України виконано за такими базовими параметрами температури атмосферного повітря:

- характеристичне значення температури найхолоднішої доби t_{c0} ;
- характеристичне значення температури найтеплішої доби t_{m0} ;
- характеристичне значення від'ємного перепаду температури Δ_{c0} .

Інші розрахункові параметри температури можуть визначатися через указані базові параметри або прийматися єдиними для всієї території України.

Карти районування розроблені з використанням методики і програми, описаної в роботі [11]. Програма обчислює табличну функцію математичного сподівання випадкового поля районуваного параметра температури шляхом згладжування даних на вузли прямокутної сітки, після чого визначає його верхню або нижню межу з урахуванням стандарту поля та заданої забезпеченості районування. Лінії рівня, проведені по встановленій таким чином верхній (нижній) межі поля параметра, є шуканими межами територіальних районів. Такий алгоритм дозволяє оптимальним чином вибрати крок градації територіальних районів і встановити їх географічні межі із заданою забезпеченістю, що гарантує керовані запаси територіального районування.

З урахуванням значної кількості пунктів спостереження та невеликої середньої відстані між ними константа згладжування випадкового поля нормованого параметра згідно з рекомендаціями [11] прийнята такою, що дорівнює 30 кілометрів. Відстань від математичного сподівання до верхньої (нижньої) межі цього поля та кроки градації територіальних районів обиралися за таблицями [11] такими, щоб отримати забезпеченість територіального районування в межах від 0,85 до 0,95, котра є близькою до забезпеченості районування снігового та вітрового навантажень у нормах [6].

З наведених нижче карт (рис.1, 2, 3) видно, що прийняті параметри забезпечили отримання досить плавних і систематично розміщених меж територіальних районів (ізотерм). У деяких випадках межі територіальних районів суміщені з межами адміністративних областей, поблизу яких вони проходили, що забезпечує однозначність рішення щодо віднесення певних населених пунктів чи територій до тих або інших районів.



Рисунок 1 – Територіальне районування України за характеристичним значенням температури найхолоднішої доби t_{c0}

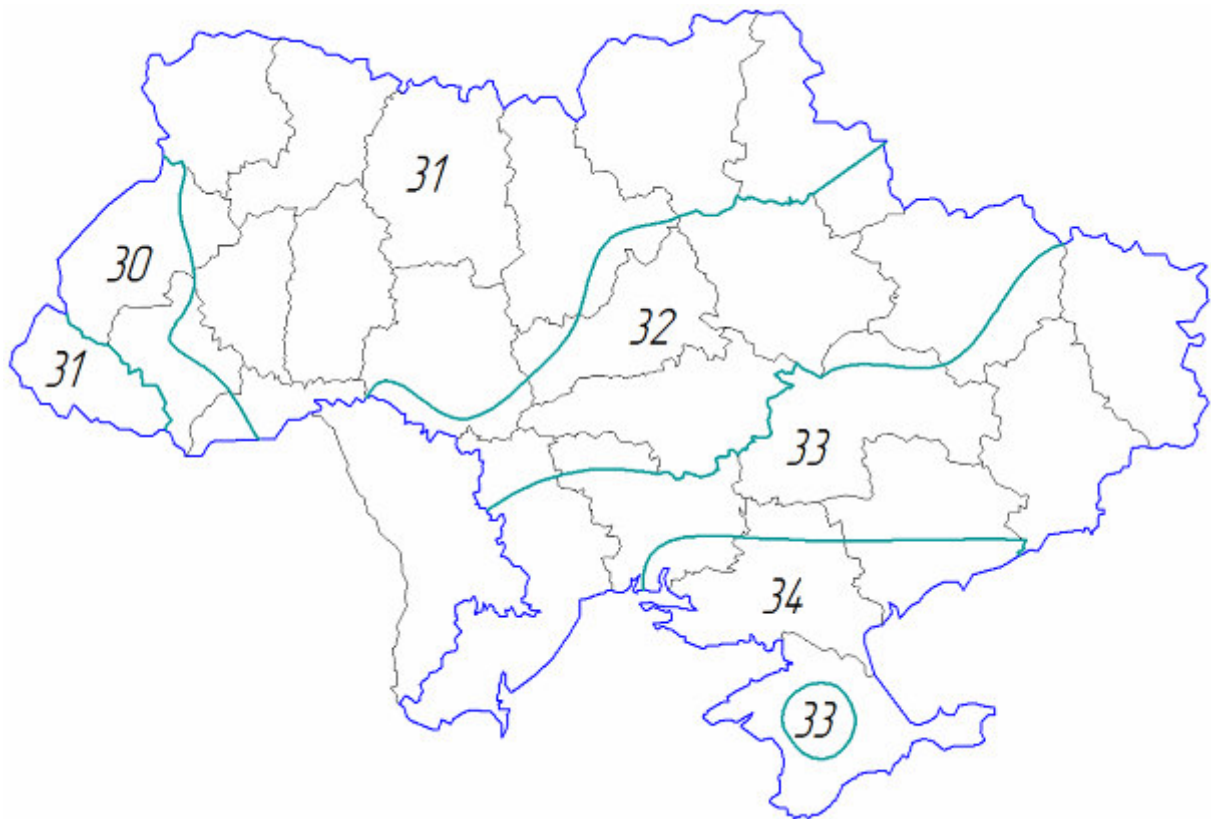


Рисунок 2 – Територіальне районування України за характеристичним значенням температури найтеплішої доби t_{w0}

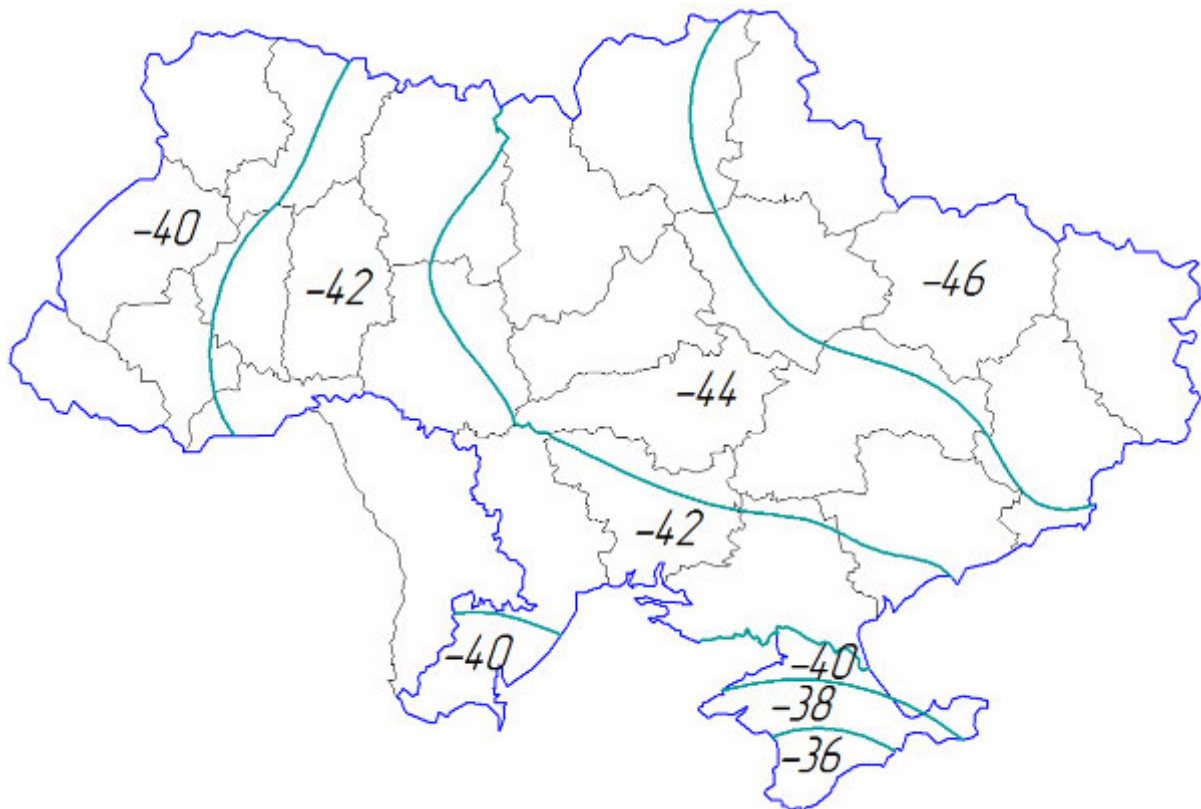


Рисунок 3 – Територіальне районування України за характеристичним значенням температурного перепаду Δ_{0c}

Аналіз розроблених карт територіального районування дозволяє зробити ряд узагальнень та висновків щодо характеру територіальної мінливості розрахункових параметрів температури повітря. Зокрема, з рисунка 1 видно, що:

- абсолютне значення температури найхолоднішої доби зростає з південного заходу на північний схід;
- на карті виділено дев'ять територіальних районів з характеристичними значеннями температури найхолоднішої доби від -16°C на південному березі Криму до -32°C на північному сході України;
- найбільша мінливість температури притаманна території АР Крим, де виділено чотири територіальні райони.

З рисунка 2 видно, що:

- абсолютне значення температури найтеплішої доби зростає з північного заходу на південний схід України;
- на карті виділено сім територіальних районів з характеристичними значеннями перепаду температури: $+30^{\circ}\text{C}$, $+31^{\circ}\text{C}$, $+32^{\circ}\text{C}$, $+33^{\circ}\text{C}$, $+34^{\circ}\text{C}$.

З рисунка 3 видно, що:

- абсолютне значення перепадів температури зменшується з північного сходу на південний захід України;
- на карті виділено шість територіальних районів з такими характеристичними значеннями перепаду температури при літньому замиканні конструкцій: -36°C , -38°C , -40°C , -42°C , -44°C , -46°C ;
- значною мінливістю температурного режиму характеризується територія Криму, на якій розміщено три територіальні райони з шести існуючих на карті.

Порівняння розроблених карт з фактичними значеннями параметрів температури повітря для окремих пунктів спостереження показало, що виявлені похибки територіального районування, особливо не в запас надійності, є незначними, що дозволяє використовувати наведені карти для визначення характеристичних значень розрахункових параметрів температури атмосферного повітря.

Отримані результати дозволяють сформулювати два варіанти порядку визначення розрахункових параметрів температури атмосферного повітря при розрахунках несучих будівельних конструкцій.

Перший варіант відповідає класичній схемі ДБН [6] та EN [10], яка базується на встановленні початкових температур замикання конструкцій і температур найтеплішої й найхолоднішої доби. Характеристичні значення температур найхолоднішої та найтеплішої доби встановлюються за картами районування з рисунків 1 і 2. Послідовність визначення інших розрахункових параметрів викладена в таблиці 1.

Другий варіант порядку визначення розрахункових параметрів температури атмосферного повітря базується на безпосередньому визначенні за картою з рисунка 3 характеристичного значення мінусового перепаду температури, що відповідає замиканню конструкцій у теплий період року. Порядок установаження інших параметрів викладено в таблиці 2.

При використанні таблиці 2 початкові температури замикання конструкцій, необхідні для визначення температурних перепадів у будівлях зі штучним кліматом за формулами з таблиці 11.1 норм [6], доцільно приймати однаковими для всієї території України. На відміну від нормативного документа [6], де прийняті середні по території України значення t_{0w} й t_{0c} , в таблиці 2 значення t_{0w} і t_{0c} встановлені в запас надійності із забезпеченістю близько 0,85...0,90.

Таблиця 1 – Порядок нормування через розрахункові температури повітря та температури замикання конструкцій

Параметри	Способи визначення
Характеристичне значення температури найхолоднішої доби t_{c0}	За картою 1
Характеристичне значення температури найтеплішої доби t_{w0}	За картою 2
Граничне розрахункове значення температури найхолоднішої доби $t_{mc}(T)$ з періодом повторюваності T	$t_{mc}(T) = \gamma_{fmc} t_{c0}; \quad (1)$
Граничне розрахункове значення температури найтеплішої доби $t_{mw}(T)$ з періодом повторюваності T	$t_{mw}(T) = \gamma_{fmw} t_{w0}; \quad (2)$
Початкова температура замикання конструкцій в теплий період року (середня температура теплого півріччя) t_{0w}	$t_{0w} = 1,3t_{w0} - 24; \quad (3)$ $t_{0w} = +16^{\circ}\text{C}$ (середнє) $t_{0w} = +18^{\circ}\text{C}$ (забезпеч. 0,85)
Початкова температура замикання конструкцій в холодний період року (середня температура холодного півріччя) t_{0c}	$t_{0c} = 13,8 + 0,56t_{c0} \quad (4)$ $t_{0c} = 0^{\circ}\text{C}$ (середнє) $t_{0c} = -2^{\circ}\text{C}$ (забезпеч. 0,90)
Граничне розрахункове значення додатного перепаду температури $\Delta_{mw}(T)$ (при зимовому замиканні) з періодом повторюваності T	$\Delta_{mw}(T) = t_{mw}(T) - t_{0c} \quad (5)$
Граничне розрахункове значення від'ємного перепаду температури $\Delta_{mc}(T)$ (при літньому замиканні) з періодом повторюваності T	$\Delta_{mc}(T) = t_{mc}(T) - t_{0w} \quad (6)$
Експлуатаційне розрахункове значення температури найхолоднішої доби $t_{ec}(\eta)$ для частки строку служби η	$t_{ec}(\eta) = \gamma_{fec} t_{c0}; \quad (7)$
Експлуатаційне розрахункове значення температури найтеплішої доби $t_{ew}(\eta)$ для частки строку служби η	$t_{ew}(T) = \gamma_{few} t_{w0}; \quad (8)$
Експлуатаційне розрахункове значення додатного перепаду температури $\Delta_{ew}(\eta)$ (при зимовому замиканні конструкцій) для частки строку служби η	$\Delta_{ew}(T) = t_{ew}(T) - t_{0c}; \quad (9)$
Експлуатаційне розрахункове значення від'ємного перепаду температури $\Delta_{ec}(\eta)$ (при літньому замиканні конструкцій) для частки строку служби η	$\Delta_{ec}(T) = t_{ec}(T) - t_{0w}; \quad (10)$
Квазіпостійне розрахункове значення перепаду температури Δ_p	$\Delta_p = 4,5 - 0,16 t_{c0} \quad (11)$ або $\Delta_p = 9^{\circ}\text{C}$

Таблиця 2 – Порядок нормування через розрахункові перепади температури повітря

Параметри	Способи визначення
Характеристичне значення від'ємного перепаду температури Δ_{c0} (при літньому замиканні конструкцій)	За картою 3
Характеристичне значення додатного перепаду температури Δ_{w0} (при зимовому замиканні конструкцій)	$\Delta_{w0} = 11 - 0,5 \Delta_{c0}$ (12)
Граничне розрахункове значення від'ємного перепаду температури $\Delta_{mc}(T)$ (при літньому замиканні конструкцій) з періодом повторюваності T	$\Delta_{mc}(T) = \gamma_{fm} \Delta_{c0}$ (13)
Граничне розрахункове значення додатного перепаду температури $\Delta_{mw}(T)$ (при зимовому замиканні конструкцій) з періодом повторюваності T	$\Delta_{mw}(T) = \gamma_{fm} \Delta_{w0}$ (14)
Експлуатаційне розрахункове значення від'ємного перепаду температури $\Delta_{ec}(\eta)$ при літньому замиканні конструкцій для частки строку служби η	$\Delta_{ec}(\eta) = \gamma_{fec} \Delta_{c0}$ (15)
Експлуатаційне розрахункове значення додатного перепаду температури $\Delta_{ew}(\eta)$ (при зимовому замиканні конструкцій) для частки строку служби η	$\Delta_{ew}(\eta) = \gamma_{few} \Delta_{w0}$ (16)
Початкова температура замикання конструкцій в теплий період року (середня температура теплого півріччя) t_{0w}	$t_{0w} = +16^{\circ}\text{C}$ (середнє) $t_{0w} = +18^{\circ}\text{C}$ (забезпеч. 0,85)
Початкова температура замикання конструкцій в холодний період року (середня температура холодного півріччя) t_{0c}	$t_{0c} = 0^{\circ}\text{C}$ (середнє) $t_{0c} = -2^{\circ}\text{C}$ (забезпеч. 0,90)
Квазіпостійне розрахункове значення перепаду температури Δ_p	$\Delta_p = 9^{\circ}\text{C}$

В обох варіантах визначення розрахункових параметрів температурного впливу добові коливання температури атмосферного повітря запропоновано враховувати за зміненою таблицею 11.2 норм [6], яку слід викласти в такій редакції:

Конструкції будівель	Прирости температури θ , °C			
	θ_1	θ_6	θ_2	θ_3
Металеві	8	5	6	4
Залізобетонні, бетонні, армокам'яні і кам'яні завтовшки, см:				
до 15	8	5	6	4
від 15 до 39	6	4	4	6
понад 40	2	2	2	4

При цьому наведену в третьому рядку таблиці 11.1 нормативного документа [6] формулу для визначення розрахункової температури повітря в холодний період року $t_c = t_{ec} - 0,5\theta_1$ слід замінити на $t_c = t_{ec} - \theta_6$. Додатковий параметр θ_6 враховує реальні відхилення температури повітря у бік пониження від середньої температури найхолоднішої доби.

Перевага другого варіанта нормування температурного впливу полягає в меншій кількості розрахункових параметрів і карт районування, що спрощує норми та порядок користування ними.

Недоліком цього варіанта є менш точне визначення початкових температур замикання конструкцій t_{0w} і t_{0c} , необхідних для обчислення температурних перепадів у будівлях зі штучним кліматом за формулами з таблиці 11.1 норм [6], а також квазіпостійного розрахункового значення температурного перепаду Δ_p , які встановлені єдиними для всієї території України.

Висновки:

1. Відповідно до принципів методу граничних станів, встановлено характеристичні значення параметрів температури повітря (за середнім періодом повторюваності 50 років), а також коефіцієнти надійності, які враховують заданий період повторюваності граничних розрахункових значень та частку терміну експлуатації, протягом якої можуть перевищуватися експлуатаційні розрахункові значення температурного впливу.

2. За результатами досліджень запропоновано й обґрунтовано два варіанти нормування температурного впливу на будівельні конструкції. Перший варіант відповідає класичній схемі чинних норм, яка базується на встановленні температур найтеплішої і найхолоднішої доби за відповідними картами районування та початкових температур замикання конструкцій – за виявленими залежностями. У другому варіанті розрахункові значення перепадів температури обчислюються шляхом множення характеристичних значень на обґрунтовані в роботі коефіцієнти надійності, які враховують заданий період повторюваності граничних розрахункових значень і частку терміну експлуатації, протягом якої можуть перевищуватися експлуатаційні розрахункові значення температурного впливу.

3. Запропоновано методика нормування та визначення граничних, експлуатаційних і квазіпостійних розрахункових значень впливу температури атмосферного повітря на несучі будівельні конструкції, яка базується на безпосередньому районуванні мінусових перепадів температури та визначенні всіх інших параметрів за виявленими залежностями. Ця методика гармонізована з формою подання інших кліматичних навантажень у нормативному документі [6], але відрізняється меншою кількістю розрахункових параметрів і карт районування, що спрощує норми та порядок користування ними.

Література

1. Wang S. *Simplified Building Model for Transient Thermal Performance Estimation Using GA-based Parameter Identification* / S. Wang, X. Xu // *International Journal of Thermal Sciences*. – 2006. – № 45. – P. 419 – 432.
2. Fernando S. W. *The use of simplified weather data to estimate thermal loads of non-residential buildings* / S. W. Fernando, R. Lamberts // *Energy Efficiency in Buildings Laboratory (Civil Engineering Department)*. – Santa Catarina: Federal University of Santa Catarina, 2004. – P. 109 – 113.

3. Namias J. *Some Statistical and Synoptic Characteristics Associated with El Niño* / J. Namias // *J. Phys. Oceanogr.* – 1976. – № 6. – P. 130 – 138.
4. Willmott C. J. *Smart Interpolation of Annually Averaged Air Temperature in the United States* / C. J. Willmott, K. Matsuura // *J. Appl. Meteor.* – 1995. – № 34. – P. 2577 – 2586.
5. Кінаш Р. І. *Температурний режим повітря і ґрунту в Україні* / Р. І. Кінаш, О. М. Бурнаєв. – Львів: Видавництво науково-технічної літератури, 2001. – 800 с.
6. ДБН В.1.2-2:2006. *Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.* – К. : Мінбуд України, 2007. – 60 с.
7. Дорофєєв В. С. *Напружено-деформований стан сталевих каркасів при температурних впливах* / В. С. Дорофєєв, Н. В. Пушкар, В. В. Пашинський. – Одеса: ОДАБА, 2014. – 160 с.
8. Карюк А. М. *Статистичні характеристики середньодобової температури повітря на території України* / А. М. Карюк, В. В. Пашинський // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.* – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2012. – Вип. 47, ч. 2. – С. 157 – 163.
9. Пашинський В. В. *Нормування й районування розрахункових параметрів температури повітря на території України* / В. В. Пашинський // *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура: наук.-техн. зб.* – Харків, 2015. – Вип. 120. – С. 49 – 53.
10. ENV 1991-2-5. *Eurocode 1 – Basis of design and actions on structures. Part 2.5: Thermal actions.* – CEN, 1997.
10. Пашинський В. А. *Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України* / В. А. Пашинський. – К. : УкрНДІпроектстальконструкція, 1999. – 185 с.

© Дорофєєв В.С., Пушкар Н.В., Пашинський В.В.
Надійшла до редакції 03.05.2016