



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

№4, ТОМ 13 (2007) 173-180

УДК 624.046.5

(07)-0144-0

## **РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ (ДО ДБН В.1.2-2:2006 «НАВАНТАЖЕННЯ І ВПЛИВИ»)**

**С.Ф. Пічугін, А.В. Махінько, Н.О. Махінько**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,*

*пр. Першотравневий 24, 36011, м. Полтава, Україна.*

*E-mail: pasargada@mail.ru*

*Отримана 15 жовтня 2007; прийнята 22 жовтня 2007*

**Анотація.** В роботі приведені методи розрахунку надійності сталевих елементів конструкцій, що знаходяться під дією снігового та вітрового навантаження. Розглядаються імовірнісні моделі снігового та вітрового навантажень у формі квазістаціонарних випадкових процесів та питання сумісної дії зазначених навантажень на елементи сталевих конструкцій. Наводяться прості розрахункові формули для оцінки показника надійності елементів, що знаходяться під дією снігового та вітрового навантаження. Аналітична простота запропонованого методу досягнута не за рахунок апроксимації та огрублення існуючих ймовірнісних методів розрахунку, а за рахунок запропонованої авторами принципово нової моделі максимумів навантаження і методики розрахунку надійності несучих конструкцій. Результати досліджень пропонують представляти у рецептурному стилі норм проектування для можливості їх застосування і розуміння рядовими інженерами у повсякденній практиці проектування.

**Ключові слова:** надійність конструкцій, випадкові навантаження, імовірнісні моделі навантажень, імовірнісний метод.

## **РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ (К ДБН В.1.2-2:2006 «НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ»)**

**С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько, Н.А. Махинько**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,*

*пр. Первомайский 24, 36011, г. Полтава, Украина.*

*E-mail: pasargada@mail.ru*

*Получена 15 октября 2007; принята 22 октября 2007*

**Аннотация.** В работе приведены методы расчета надежности стальных элементов конструкций, нагруженных снеговой и ветровой нагрузкой. Рассматриваются вероятностные модели снеговой и ветровой нагрузок в форме квазистационарных случайных процессов и вопросы совместного действия упомянутых нагрузок на элементы стальных конструкций. Приводятся простые расчетные формулы для оценки показателя надежности элементов, нагруженных ветровой и снеговой нагрузкой. Аналитическая простота предложенного метода достигнута не за счёт аппроксимации и огрубления существующих вероятностных методов расчёта, а за счёт предложенной авторами принципиально новой модели максимумов нагрузок и методики расчёта надёжности несущих конструкций. Результаты исследования предлагаются представлять в рецептурном стиле норм проектирования для возможности их применения и понимания рядовыми инженерами в повседневной практике проектирования.

**Ключевые слова:** надёжность конструкций, случайные нагрузки, вероятностные модели нагрузок, вероятностный метод.

## CALCULATION OF STEEL ELEMENTS RELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES (TO UKRAINIAN CODE “DBN V.1.2-2:2006 «LOADS AND LOADINGS»)

**S.F. Pichugin, A.V. Makhinko, N.A. Makhinko**

*Poltava National Technical University named in honor of Yuri Kondratyuk*

*Pervomaysky pr. 24, 36011, Poltava, Ukraine.*

*E-mail: pasargada@mail.ru*

*Received 15 October 2007; accepted 22 October 2007*

**Abstract.** This paper attack reliability estimation of building structures loaded static and quasi-static stochastic loads. Practical methods of reliability analysis of steel structure elements are proposed. Analytical probabilistic models are developed for maxima of stochastic loads (wind and snow loads), taken into account a combined effects on building structures. Simple calculation formulas are given for the estimation of elements index reliability, loaded dead, snow and wind loads. Relative simplicity, wide range of application and precision of this method make it rather helpful for rapid engineering calculations. The worked out approach gives possibility to estimate to reliability of different structures under wind, snow and other loads. This technique allows specify some coefficients of design standards (for example combined factor).

**Keywords:** reliability of structures, stochastic loads, probabilistic models of load, probabilistic method.

### Вступ

Предметна область теорії надійності будівельних конструкцій лежить на перетині багатьох наук. Її коріння сягає математичної статистики, теорії випадкових процесів, статистичної динаміки і т.п. Нетрадиційність цих дисциплін стримувало впровадження теорії надійності у практику проектування конструкцій і залишало їй тільки нішу теоретичних досліджень. Сьогодні теорія надійності отримала вагомого методологічного розвитку, що спонукає до пошуку зручних (але не вольових) для практики „спрощень”, які б для рядового інженера-проектувальника, поряд з методом розрахунку за граничними станами, стали зручним засобом аналізу як несучої здатності конструкцій, так і їх надійності.

В даній роботі автори ставили собі за мету дати інженеру-проектувальнику зручний метод для розрахунку надійності конструкцій. Такий метод, який би не був перенасичений громіздкими формулами, процедурами чисельного інтегрування, розв’язанням диференціальних рівнянь з частковими похідними і т.п. За багаторічну історію становлення і розвитку теорії надійності за нею твердо закріпився штамп математично складної науки. Ми намагались у деякій мірі спростувати це і показати, що імовірнісні методи розрахунку можна також завжди звести до рецептурного стилю норм проектування.

Представлена робота є оглядом нещодавно опублікованої книги авторів [6].

### 1. Загальний алгоритм розрахунку сталевих елементів конструкцій

Поведінка елемента конструкції в умовах його функціонування і взаємодії із навколишнім середовищем та іншими елементами визначається, з одного боку, навантаженнями і впливами, що діють на нього, а з іншого – тими параметрами, які характеризують стан елемента (внутрішні зусилля, напруження або деформації). Розглядаються лінійно працюючі сталеві елементи конструкцій – розтягнуті, зігнуті, розтягнуто-зігнуті і т.п., – розрахункова модель яких обмежується пружною роботою матеріалу до моменту появи крайової текучості. Параметри конструкцій – стаціонарні (без врахування зміни механічних властивостей матеріалу конструкції на протязі часу експлуатації  $T_{ef}$ ) та стохастичні (враховують статистичну мінливість механічних властивостей матеріалу). Працездатність елементів конструкцій характеризуються одним параметром: при розрахунках за першим граничним станом цим параметром виступають межа плинності сталі  $R_y$ , тимчасовий опір сталі  $R_u$  та величини, які лінійно залежать від величин  $R_y$  та  $R_u$  (наприклад, розрахунковий опір сталі на зріз

$R_s$ , розрахунковий опір на зминання  $R_p$  і т.п.); при розрахунках за другим граничним станом параметром працездатності елемента виступає гранично допустимий прогин  $f_u$ .

Навантаження характеризуються одним параметром  $\tilde{q}(t)$ , описаним в техніці випадкових процесів, а межа плинності і тимчасовий опір сталі вважаються випадковими величинами із нормальним законом розподілу. Відповідно до цього величини, які лінійно залежать від межі плинності та тимчасового опору сталі, також мають нормальний закон розподілу. Для позначення несучої здатності елемента за першим граничним станом використовується загальне позначення  $\tilde{R}$ . Величина  $\tilde{R}$  і випадковий процес  $\tilde{q}(t)$  вважаються стохастично незалежними.

При розрахунку надійності елемента конструкції за першим граничним станом відмова трактується як перетин випадковим процесом узагальненого навантаження (зусилля, напруження)  $\tilde{S}(t)$  випадкового рівня  $\tilde{R}$  узагальненої несучої здатності елемента. При розрахунку надійності елемента конструкції за другим граничним станом відмова трактується як перетин випадковим процесом узагальненого прогину (деформації)  $\tilde{f}(t)$  детермінованого рівня гранично допустимого прогину  $f_u$ . Стохастичні властивості матеріалу сталевого елемента конструкції повністю і однозначно визначаються через математичне сподівання  $\bar{R}$  і стандарт  $\hat{R}$  відповідної міцнісної характеристики матеріалу.

Постійне навантаження  $\tilde{q}_d$  вважається випадковою величиною із нормальним законом розподілу. До основних його статистичних характеристик відноситься математичне сподівання  $\bar{q}_d$ , стандарт  $\hat{q}_d$  і коефіцієнт варіації  $V_d = \hat{q}_d / \bar{q}_d$ . При розрахунку надійності сталевих елементів конструкцій постійне навантаження вводиться як поправка до несучої здатності елемента. В результаті цього до розгляду залучається випадкова величина приведеної несучої здатності  $\tilde{R}_{ef}$  із наступними статистичними характеристиками [2, 7, 9]:

$$\bar{R}_{ef} = \bar{R} - \alpha_{d,R} \bar{q}_d, \hat{R}_{ef} = \sqrt{\hat{R}^2 + \alpha_{d,R}^2 \hat{q}_d^2}, (1)$$

де  $\alpha_{d,R}$  – коефіцієнт впливу постійного навантаження.

Снігове і вітрове навантаження вважаються випадковими процесами, імовірнісні характеристики яких повинні встановлюватись згідно з рекомендаціями робіт [2, 3, 5]. Окрема або сумісна дія снігового і вітрового навантажень на елементи конструкції породжує випадкові процеси узагальненого напруження  $\tilde{S}(t)$ :

$$\tilde{S}(t) = \alpha_{s,R} \tilde{q}_s(t) + \alpha_{w,R} \tilde{q}_w(t), (2)$$

де  $\alpha_s$  і  $\alpha_w$  – відповідно коефіцієнти впливу снігового і вітрового навантаження.

Статистичні характеристики (математичне сподівання  $\bar{S}$ , стандарт  $\hat{S}$  і коефіцієнт варіації  $V_{SS}$ ) випадкового процесу узагальненого напруження  $\tilde{S}(t)$  повинні визначатися за рекомендаціями наведених нижче розділів 2, 3, враховуючи наступні формули [2, 6, 12]:

$$\bar{S} = \eta_R R_y [C_{s,R} / \chi_s + C_{w,R} / \chi_w], (3)$$

$$\hat{S} = \eta_R R_y \sqrt{(C_{s,R} V_s / \chi_s)^2 + (C_{w,R} V_w / \chi_w)^2}, (4)$$

$$V_{SS} = \frac{\hat{S}}{\bar{S}} = \frac{\sqrt{(C_{s,R} V_s / \chi_s)^2 + (C_{w,R} V_w / \chi_w)^2}}{C_{s,R} / \chi_s + C_{w,R} / \chi_w}, (5)$$

де  $R_y$  – розрахунковий опір сталі за межею плинності;  $\eta_R$  – коефіцієнт, що характеризує недонапруження або перенапруження елемента конструкції (значення  $\eta_R = 1$  відповідає випадку, коли елемент конструкції підібраний без запасу);  $\chi_s$  і  $\chi_w$  – відповідно дальності розрахункових значень снігового і вітрового навантажень;  $V_s$  і  $V_w$  – відповідно коефіцієнти варіації випадкового процесу снігового і вітрового навантаження;  $C_{s,R}$  і  $C_{w,R}$  – відповідно частка впливу снігового і вітрового навантажень для першого граничного стану.

Дальність розрахункового значення навантаження  $\chi_j$  є безрозмірною величиною і визначається як відношення розрахункового значення навантаження  $q_j^p$  до його середнього значення  $\bar{q}_j$ , тобто

$$\chi_j = q_j^p / \bar{q}_j, (j = S \vee W). (6)$$

В термінах ДБН „Навантаження і впливи” [2] у формулі (6) під розрахунковим навантаженням

слід розуміти характеристичне значення навантаження:  $S_0$  – для снігового навантаження і  $W_0$  – для вітрового.

Частка впливу навантаження  $C_{j,R} \in [0,1]$  (або  $C_{j,f} \in [0,1]$ ) (постійного, снігового або вітрового) у складі загального напруженого стану елемента конструкції повинна знаходитися за формулою:

$$C_{j,R} = \alpha_{j,R} q_j^p / (\eta_R R_y), \quad j \in d \vee S \vee W. \quad (7)$$

Функція надійності  $P(t)$  сталевих елементів конструкції є функцією двох безрозмірних параметрів: коефіцієнта резерву  $\beta_R$  та відношення стандартів  $p$  випадкового процесу узагальненого напруження  $\hat{S}$  та приведеної несучої здатності  $\hat{R}_{ef}$ :

$$p = \hat{R}_{ef} / \hat{S}, \quad (8)$$

Коефіцієнт резерву  $\beta_R$  визначається за формулою [2, 10, 11]:

$$\beta_R = \frac{\lambda_0 (V_{\Sigma S} p - V_{R,ef}) - V_{R,ef} V_{\Sigma S} (\lambda_0 \gamma_0 + C)}{V_{R,ef} V_{\Sigma S} \sqrt{1.645 + \lambda_0^2 p^2}}, \quad (9)$$

де  $C \approx 0.577$  – постійна Ейлера-Маскероні;  $V_{R,ef} = \hat{R}_{ef} / \bar{R}_{ef}$  – коефіцієнт варіації приведеної несучої здатності за відповідним граничним станом;  $\gamma_0$  і  $\lambda_0$  – відповідно нормований характеристичний максимум та характеристична інтенсивність узагальненого випадкового процесу внутрішнього силового фактору (напруження, зусилля)  $\tilde{S}(t)$ . Величини  $\gamma_0$ ,  $\lambda_0$  є частотно-часовими характеристиками випадкового процесу внутрішнього силового фактору.

Слід відмітити, що коли сталевий елемент конструкції зазнає впливу тільки снігового навантаження (з урахуванням постійного навантаження), слід приймати  $\gamma_0 \equiv \gamma_{0,S}$  та  $\lambda_0 \equiv \lambda_{0,S}$ . При цьому числові значення параметрів  $\gamma_{0,S}$  та  $\lambda_{0,S}$  визначаються відповідно розділу 2 даної роботи. У випадку, коли сталевий елемент зазнає впливу постійного і вітрового навантаження, слід приймати  $\gamma_0 \equiv \gamma_{0,W}$  та  $\lambda_0 \equiv \lambda_{0,W}$ , де числові значення параметрів  $\gamma_{0,W}$  та  $\lambda_{0,W}$  визначаються згідно з рекомендаціями розділу 3 даної роботи. При дії на елемент конструкції одночасно снігового та вітрового навантажень (враховуючи постійне навантаження) слід приймати  $\gamma_0 \equiv \gamma_{0,SW}$  та  $\lambda_0 \equiv \lambda_{0,SW}$ . В цьому

випадку числові значення параметрів  $\gamma_{0,SW}$  та  $\lambda_{0,SW}$  визначаються відповідно рекомендацій розділу 5 даної роботи.

Імовірність безвідмовної роботи сталевих елементів конструкцій за встановлений термін експлуатації  $T_{ef}$  необхідно знаходити за наступною формулою:

$$P(T_{ef}) = 1 - \sqrt{\frac{1+p^{-2}}{2\pi}} \int_{-\infty}^1 \int_0^1 \exp[-0.5E^2(\gamma, Z)] dZ d\gamma, \quad (10)$$

$$E(\gamma, Z) = \gamma \sqrt{1+p^{-2}} - 0.45/p - (0.78/p) \ln(-\ln Z),$$

Значення імовірності безвідмовної роботи, отримані за формулою (10), доцільно перетворювати у логарифмічні показники надійності (бели) за формулою:

$$P_L = -\lg[1 - P(T_{ef})]. \quad (11)$$

## 2. Імовірнісна модель снігового навантаження

При розрахунках надійності сталевих елементів конструкцій снігове навантаження подається у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу  $\tilde{q}_s(t)$ , який однозначно визначається наступними параметрами: 1) нормованою щільністю розподілу ординати  $f_{ns}(\bullet)$  випадкового процесу; 2) математичним сподіванням  $\bar{q}_s$ ; 3) ефективною частотою  $\omega_{e,S}$ ; 4) коефіцієнтом широкосмуговості  $\beta_{\omega,S}$ ; 5) коефіцієнтом варіації  $V_S$ ; 6) коефіцієнтом асиметрії  $A_S$ . Нормована щільність розподілу випадкового процесу снігового навантаження описується поліномо-експоненціальним законом [3, 5]:

$$f_{ns}(\gamma) = \exp[C_0 + C_1\gamma + C_2\gamma^2 + C_3\gamma^3], \quad (12)$$

де  $\gamma = (q - \bar{q}_s) / \hat{q}_s$  – нормований ухил від центру розподілу ординати випадкового процесу;  $\bar{q}_s$ ,  $\hat{q}_s$  – математичне сподівання і стандарт випадкового процесу снігового навантаження;  $C_0, C_1, C_2, C_3$  – коефіцієнти поліномо-експоненціального закону.

Значення коефіцієнта варіації  $V_S$  і коефіцієнта асиметрії  $A_S$  випадкового процесу снігового навантаження для різних регіонів України можуть визначатися за картами, наведеними у роботі [3]. Ефективна частота  $\omega_{e,S}$  і коефіцієнт широкосмуговості  $\beta_{\omega,S}$  виступають основними частотними характеристиками випадкового процесу снігового навантаження.

Значення коефіцієнту широкосмуговості для території України слід приймати рівним  $\beta_{\omega,S} = 3$  [5]. Значення ефективної частоти  $\omega_{e,S}$  для різних регіонів України встановлюється за картами роботи [3].

Нормований характеристичний максимум  $\gamma_{0,S}$  та характеристична інтенсивність  $\lambda_{0,S}$  випадкового процесу снігового навантаження повинні визначатися у вигляді:

– нормований характеристичний максимум: корінь рівняння:

$$\omega_{e,S} T_{ef} K_3 f_{ms}(\gamma_{0,S}) = \beta_{\omega} \sqrt{2\pi}; \quad (13)$$

– характеристична інтенсивність:

$$\lambda_{0,S} = -(C_1 + 2C_2 \gamma_{0,S} + 3C_3 \gamma_{0,S}^2), \quad (14)$$

де  $T_{ef}$  – встановлений термін експлуатації конструкції, який приймається за технічним завданням, а у випадку його відсутності може бути прийнятий за додатком В ДБН [1];  $K_3 \approx 0.411$  – коефіцієнт тривалості зимового періоду для території України.

Дозволяється нормований характеристичний максимум  $\gamma_{0,S}$  та характеристичну інтенсивність  $\lambda_{0,S}$  випадкового процесу снігового навантаження визначати за асимптотичними формулами:

– нормований характеристичний максимум:

$$\gamma_{0,S} = a_{\gamma,S} \ln(b_{\gamma,S} + T_{ef}) + c_{\gamma,S} \quad (15)$$

– характеристична інтенсивність:

$$\lambda_{0,S} = a_{\lambda,S} \ln(b_{\lambda,S} + T_{ef}) + c_{\lambda,S} \quad (16)$$

де  $a_{\gamma,S}, b_{\gamma,S}, c_{\gamma,S}$  та  $a_{\lambda,S}, b_{\lambda,S}, c_{\lambda,S}$  – безрозмірні коефіцієнти, які визначаються залежно від місця розташування будівельного об'єкта [6]; приклад визначення цих коефіцієнтів для м. Києва та м. Львова наведений у табл. 1.

Безпосередня оцінка надійності сталевих елементів конструкцій (після встановлення значень  $\gamma_{0,S}$  і  $\lambda_{0,S}$ ), що зазнають впливу постійного і снігового навантажень, виконується відповідно вищенаведених положень розділу 2.

### 3. Імовірнісна модель вітрового навантаження

При розрахунках надійності сталевих конструкцій вітрове навантаження подається у формі квазістаціонарного диференційованого випадкового процесу  $\tilde{q}_W(t)$ , який однозначно визначається наступними параметрами: 1) нормованою щільністю розподілу ординати  $f_{nW}(\bullet)$

Таблиця 1. Приклад оцінки параметрів випадкових навантажень для міст України.

Місто	Параметри для снігового навантаження							
	$a_{\gamma,S}$	$b_{\gamma,S}$	$c_{\gamma,S}$	$a_{\lambda,S}$	$b_{\lambda,S}$	$c_{\lambda,S}$	$V_S$	$\hat{q}_S, \text{Pa}$
Київ	0.15	-3.87	2.19	1.33	-2.87	1.14	1.30	390
	Параметри для вітрового навантаження							
	$a_{\gamma,W}$	$b_{\gamma,W}$	$c_{\gamma,W}$	$a_{\lambda,W}$	$b_{\lambda,W}$	$c_{\lambda,W}$	$V_W$	$\hat{q}_W, \text{Pa}$
	2.11	0.40	6.04	-0.02	-1.25	0.54	1.45	11.6
	Параметри для сумісної дії снігового та вітрового навантаження							
$\mu_{S,1}$		$\mu_{W,1}$		$\mu_{S,2}$		$\mu_{W,2}$		
1.35		1.67		2.31		1.01		

Місто	Параметри для снігового навантаження							
	$a_{\gamma,S}$	$b_{\gamma,S}$	$c_{\gamma,S}$	$a_{\lambda,S}$	$b_{\lambda,S}$	$c_{\lambda,S}$	$V_S$	$\hat{q}_S, \text{Pa}$
Львів	0.11	-3.15	2.09	1.51	-2.24	3.1	1.3	325
	Параметри для вітрового навантаження							
	$a_{\gamma,W}$	$b_{\gamma,W}$	$c_{\gamma,W}$	$a_{\lambda,W}$	$b_{\lambda,W}$	$c_{\lambda,W}$	$V_W$	$\hat{q}_W, \text{Pa}$
	3.12	0.82	5.57	-0.023	-1.21	0.41	1.8	21.6
	Параметри для сумісної дії снігового та вітрового навантаження							
$\mu_{S,1}$		$\mu_{W,1}$		$\mu_{S,2}$		$\mu_{W,2}$		
1.45		1.54		2.80		0.85		

випадкового процесу; 2) математичним сподіванням  $\bar{q}_W$ ; 3) ефективною частотою  $\omega_{e,W}$ ; 4) коефіцієнтом широкосмуговості  $\beta_{\omega,W}$ ; 5) коефіцієнтом варіації  $V_W$ .

Нормована щільність розподілу випадкового процесу вітрового навантаження описується законом Вейбулла [3, 5]:

$$f_{nW}(\gamma) = \beta V_W \Gamma(1 + \beta^{-1})^\beta (\gamma V_W + 1)^{\beta-1} \cdot \exp\left\{-\left[(\gamma V_W + 1)\Gamma(1 + \beta^{-1})\right]^\beta\right\}, \quad (17)$$

де  $\gamma = (q - \bar{q}_W) / \hat{q}_W$  – нормований ухил від центру розподілу ординати випадкового процесу;  $\bar{q}_W, \hat{q}_W$  – математичне сподівання і стандарт випадкового процесу вітрового навантаження;  $V_W$  – коефіцієнт варіації випадкового процесу вітрового навантаження;  $\beta$  – параметр форми розподілу Вейбулла;  $\Gamma(\bullet)$  – неповна гама-функція.

Параметр форми розподілу Вейбулла функціонально пов'язаний із коефіцієнтом варіації залежністю:

$$V_W = \sqrt{[\Gamma(1 + 2\beta^{-1}) / \Gamma(1 + \beta^{-1})^2] - 1}. \quad (18)$$

Коефіцієнт варіації випадкового процесу вітрового навантаження встановлюється за картами роботи [5]. Ефективна частота  $\omega_{e,W}$  і коефіцієнт широкосмуговості  $\beta_{\omega,W}$  виступають основними частотними характеристиками випадкового процесу вітрового навантаження. Значення ефективної частоти і коефіцієнту широкосмуговості для всієї території України приймають постійні значення  $\omega_{e,W} = 5.5$  діб<sup>-1</sup> і  $\beta_{\omega,W} = 3$  [3, 5].

Нормований характеристичний максимум  $\gamma_{0,W}$  та характеристична інтенсивність  $\lambda_{0,W}$  випадкового процесу вітрового навантаження повинні визначатися у вигляді:

- нормований характеристичний максимум: корінь рівняння:

$$\Gamma(1 + \beta^{-1})^\beta (\gamma_{0,W} V_W + 1)^\beta - \ln(\gamma_{0,W} V_W + 1)^{\beta-1} - \ln(\gamma_{0,W} V_W^2 + 1)^{1/2} = \ln\left(\frac{\omega_{e,W} T_{ef}}{\beta_{\omega,W} \sqrt{2\pi}} \beta \Gamma(1 + \beta^{-1})^\beta\right); \quad (19)$$

- характеристична інтенсивність:

$$\lambda_{0,W} = \frac{V_W}{\gamma_{0,W} V_W + 1} \left[ \beta \Gamma(1 + \beta^{-1})^\beta (\gamma_{0,W} V_W + 1)^\beta + \frac{2(1 - \beta)(\gamma_{0,W} V_W + V_W^{-1}) - (\gamma_{0,W} V_W + 1)}{2(\gamma_{0,W} V_W + V_W^{-1})} \right], \quad (20)$$

де  $T_{ef}$  – встановлений термін експлуатації конструкції, який приймається за технічним завданням, а у випадку його відсутності може бути прийнятий за додатком В ДБН [1].

Дозволяється нормований характеристичний максимум  $\gamma_{0,W}$  та характеристичну інтенсивність  $\lambda_{0,W}$  випадкового процесу вітрового навантаження визначати за асимптотичними формулами:

$$\gamma_{0,W} = a_{\gamma,W} \ln(b_{\gamma,W} + T_{ef}) + c_{\gamma,W}; \quad (21)$$

$$\lambda_{0,W} = a_{\lambda,W} \ln(b_{\lambda,W} + T_{ef}) + c_{\lambda,W}; \quad (22)$$

де  $a_{\gamma,W}, b_{\gamma,W}, c_{\gamma,W}$  та  $a_{\lambda,W}, b_{\lambda,W}, c_{\lambda,W}$  – безрозмірні коефіцієнти, які регламентовані таблицею в роботі [6], приклад якої міститься у табл. 1.

Безпосередня оцінка надійності сталевих елементів конструкцій (після встановлення числових значень  $\gamma_{0,W}$  і  $\lambda_{0,W}$ ), що зазнають впливу постійного і вітрового навантажень, виконується згідно з вищенаведеними положеннями розділу 2.

#### 4. Розрахунок надійності сталевих елементів конструкцій при сумісній дії снігового і вітрового навантаження

При дії на сталеві елементи конструкцій одночасно вітрового і снігового навантажень, представлених моделями квазістаціонарних випадкових процесів у відповідності до розділів 2, 3 даної роботи, сумарне напруження (зусилля) в елементах конструкцій представляється також квазістаціонарним випадковим процесом  $\tilde{S}(t)$ .

Нормований характеристичний максимум  $\gamma_{0,SW}$  та характеристична інтенсивність  $\lambda_{0,SW}$  випадкового процесу  $\tilde{S}(t)$  можуть бути визначенні за наступними асимптотичними залежностями:

$$\gamma_{0,SW} = \frac{(\gamma_{0,W} P_{WS} + \gamma_{0,S}) \eta_\gamma}{\sqrt{1 + P_{WS}^2}} - \frac{(V_S^{-1} + V_W^{-1} P_{WS})(1 - \eta_\gamma)}{\sqrt{1 + P_{WS}^2}}, \quad (23)$$

$$\lambda_{0,SW} = 5\sqrt{1 + P_{WS}^2} \left/ \left( \begin{array}{l} (\eta_\lambda - \eta_\gamma)(\gamma_{0,W} P_{WS} + \\ + \gamma_{0,S} + V_W^{-1} P_{WS} + V_S^{-1}) + \\ + 5\eta_\lambda (P_{WS} \lambda_{0,W}^2 + \lambda_{0,S}^2) \end{array} \right) \right., \quad (24)$$

де допоміжні безрозмірні величини обчислюються за виразами:

$$\xi_S = 1 + \gamma_{0,S} V_S, \quad \xi_W = 1 + \gamma_{0,W} V_W, \quad (25)$$

$$p_{WS} = \alpha_{W,R} \hat{q}_W / (\alpha_{S,R} \hat{q}_S), \quad (26)$$

$$\Delta_{WS} = \frac{\xi_W V_S p_{WS}}{\xi_W V_S p_{WS} + \xi_S V_W}, \quad (27)$$

$$\eta_\gamma = \frac{1 - \Delta_{WS}}{(1 - \Delta_{WS})(1 - \mu_{S,1}) + \mu_{S,1}} + \frac{\Delta_{WS}}{\Delta_{WS}(1 - \mu_{W,1}) + \mu_{W,1}}, \quad (28)$$

$$\eta_\lambda = \frac{1 - \Delta_{WS}}{(1 - \Delta_{WS})(1 - \mu_{S,2}) + \mu_{S,2}} + \frac{\Delta_{WS}}{\Delta_{WS}(1 - \mu_{W,2}) + \mu_{W,2}}, \quad (29)$$

де  $\mu_{S,1}$ ,  $\mu_{W,1}$  і  $\mu_{S,2}$ ,  $\mu_{W,2}$  – безрозмірні коефіцієнти, які для різних міст України визначаються за прикладом таблиці 1;  $\alpha_{W,R}$  та  $\alpha_{S,R}$  – коефіцієнти впливу вітрового і снігового навантажень.

Процедура розрахунку надійності елементів металоконструкцій повинна виконуватись у відповідності до розділу 2 даної роботи.

## Висновки

Підводячи підсумок, хотілось би відмітити, що при написанні роботи [6] і даної статті автори базувались на власних багаторічних дослідженнях у галузі імовірнісного опису навантажень та розрахунку конструкцій на надійність. Тому дана робота може розглядатись як результат удосконалення чисельно-аналітичного методу розрахунку надійності конструкцій, запропонованого у роботі [5]. Проте досягнута простота викладок та розрахункових формул є продуктом не простого спрощення формул та прямої апроксимації складних трансцендентних рівнянь, що використовуються у [5], а результатом послідовної і чіткої теорії, передумови і моделі якої беруть своє начало у висшегаданих праці. Правомірність застосування цієї теорії була перевірена на «еталонному» методі [5],

а приклади і результати розрахунку наведені у наших роботах [2, 6, 7, 9, 10, 11, 12]. Ця обставина дозволяє нам рекомендувати описаний метод для застосування на практиці.

## Література

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки об'єктів. Навантаження і впливи, 2006. – 100 с.
2. Махінко А.В. Надійність елементів металоконструкцій під дією випадкових змінних навантажень: Автореф. дис. канд. техн. наук / ПолтНТУ – Полтава, 2006. – 24 с.
3. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. – К., 1999. – 185 с.
4. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Изд-во УкрНИИПроектстальконструкция, 2000. – 216 с.
5. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: Автореф. дис. доктора техн. наук: 05.23.01 / КГТУСА – К., 1994. – 32с.
6. Пичугін С.Ф., Махінко А.В., Махінко Н.О. Рекомендації із розрахунку сталевих елементів конструкцій на дію снігового та вітрового навантажень (До ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи») // С.Ф. Пичугін, А.В. Махінко, Н.О. Махінко. – Полтава, 2007. – 115 с.
7. Пичугін С.Ф., Махінко А.В., Скляренко Н.О. (Махінко Н.О.). Порівняльна оцінка надійності елементів металоконструкцій під дією вітрового навантаження // Зб. наук. пр. (Галузеве машинобудування, будівництво). – Вип. 17. – Полтава: ПолтНТУ. – 2006. – С. 122-127.
8. Пичугин С.Ф., Махінко А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. – Полтава: АСМІ, 2005. – 342 с.
9. Пичугін С.Ф., Махінко А.В. Чисельно-аналітична методика розрахунку надійності елементів будівельних конструкцій // Зб. наук. пр. „Будівельні конструкції”. – Вип. 62. – К.: НДІБК. – 2005. – С. 242-251.
10. Пичугин С.Ф., Махінко А.В. К вероятностным методам расчёта металлоконструкций // Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини: Зб. наук. пр. – Одеса: ОГАСА, 2005. – С.161-171.
11. Пичугін С.Ф., Махінко А.В. Оцінка надійності металоконструкцій при дії випадкових навантажень // Зб. доповідей VIII української науково-технічної конференції. – Частина 2. – К.: Вид-во „Сталь”, 2004. – С. 175-185.
12. Pichugin S., Makhinko A., Sklyarenko N. (Makhinko N.) Reliability of Steel Elements under Wind and Snow Loads Designed in Accordance with codes of Ukraine / Proceedings of the 3-rd International Conference “Problems of the Technical Meteorology”. – Lviv – 2006. – P. 97-103.

**Пічугін Сергій Федорович** працює завідувачем кафедри «Конструкції з металу, дерева та пластмас» Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: розвиток загальної методики оцінки надійності елементів будівельних конструкцій і статично невизначених систем. Опис випадкових навантажень у різній імовірнісній техніці. Розв'язання задачі сполучення навантажень. Оцінка технічного стану і проектування металевих конструкцій. Участь у розробці будівельних норм проектування.

**Махінько Антон Володимирович** працює на кафедрі «Конструкції з металу, дерева та пластмас» Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: методи оцінки проектної й експлуатаційної надійності будівельних конструкцій. Опис випадкових навантажень у різній імовірнісній техніці. Розв'язання задач сполучення навантажень. Математичні методи опису відмов будівельних конструкцій.

**Махінько Наталя Олександрівна** навчається в аспірантурі Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: методи оцінки проектної й експлуатаційної надійності будівельних конструкцій. Опис випадкових навантажень у різній імовірнісній техніці. Розв'язання задач сполучення навантажень. Математичні методи опису відмов будівельних конструкцій.

**Пичугин Сергей Фёдорович** работает заведующим кафедрой «Конструкции из металла, дерева и пластмасс» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: развитие общей методики оценки надёжности элементов строительных конструкций и статически неопределимых систем. Описание случайных нагрузок в различной вероятностной технике. Решение задачи сочетаний нагрузок. Оценка технического состояния и проектирование металлических конструкций. Участие в разработке строительных норм проектирования.

**Махинько Антон Владимирович** работает на кафедре «Конструкции из металла, дерева и пластмасс» Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: методы оценки проектной и эксплуатационной надёжности строительных конструкций. Описание случайных нагрузок в различной вероятностной технике. Решение задач сочетания нагрузок. Математические методы описания отказов строительных конструкций.

**Махинько Наталия Александровна** учится в аспирантуре Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: методы оценки проектной и эксплуатационной надёжности строительных конструкций. Описание случайных нагрузок в различной вероятностной технике. Решение задач сочетания нагрузок. Математические методы описания отказов строительных конструкций.

**Pichugin Sergy Fedorovich** is head of Department of Metal and Wooden Structures at Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Scientific interests: development of general technique of reliability estimation of elements of building structures and statically indefinable systems. The description of stochastic loads in various probabilistic technics. The decision of loads combination problem. The estimation of a technical condition of metal structures and designing of metal structures. Participation in development of Building Codes.

**Makhinko Anton Vladimirovich** is a Docent of Metal and Wooden Structures department at Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. His research interests include the methods of the design reliability estimation and serviceability estimation of building structures. The Description of the stochastic loads in different probabilistic technology. The Decision of the loads combination problems. Mathematical description of the building structures failure.

**Makhinko Natalya Alexandrovna** is a Graduate Student of Metal and Wooden Structures department at Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. His research interests include the methods of the design reliability estimation and serviceability estimation of building structures. The Description of the stochastic loads in different probabilistic technology. The Decision of the loads combination problems. Mathematical description of the building structures failure.