



(06)-0117-1

## ДЕЯКІ ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

**С.Ф. Пічугін, А.В. Махінько**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,  
пр. Першотравневий 24, 36011, м. Полтава, Україна.  
E-mail: pasargada@mail.ru*

*Отримана 11 липня 2006; прийнята 23 серпня 2006*

**Анотація.** В статті наведений короткий огляд досліджень авторів в області надійності металевих конструкцій. Розглядаються аналітичні моделі представлення максимумів тимчасових випадкових навантажень, питання сполучення тимчасових навантажень. Пропонуються декілька інженерних підходів до оцінки надійності сталевих конструкцій, наводиться їх порівняльний аналіз. Розглядаються питання вибору оптимального рівня надійності металоконструкцій і питання обґрунтування розрахункових значень коефіцієнта надійності за призначенням конструкцій. Усі сформульовані і розроблені ймовірнісні методики відрізняються аналітичною простотою.

**Ключові слова:** надійність конструкцій, випадкові навантаження, ймовірнісні моделі навантажень, ймовірнісний метод.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЁТА НАДЁЖНОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

**С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько**

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,  
пр. Первомайский 24, 36011, г. Полтава, Украина.  
E-mail: pasargada@mail.ru*

*Получена 11 июля 2006; принята 23 августа 2006*

**Аннотация.** В статье приведен краткий обзор исследований авторов в области надёжности металлических конструкций. Рассматриваются аналитические модели представления максимумов временных случайных нагрузок, вопросы сочетания временных нагрузок. Предлагается несколько инженерных подходов к оценке надёжности стальных конструкций, приводится их сравнительный анализ. Рассматриваются вопросы выбора оптимального уровня надёжности металлоконструкций и вопросы обоснования расчётных значений коэффициента надёжности по назначению конструкций. Все сформулированные и разработанные вероятностные методики отличаются аналитической простотой.

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

## SOME QUESTIONS OF CALCULATION OF STEEL STRUCTURE RELIABILITY

S.F. Pichugin, A.V. Makhinko

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

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

*E-mail: pasargada@mail.ru*

*Received 11 July 2006; accepted 23 August 2006*

**Abstract.** In this article the brief review of authors researches in the field of steel structures reliability is given. Analytical probabilistic models are developed for maxima of stochastic loads and com-bined load effects on building structures are taken into account; recommendations for standardi-zation of combined factors are given. Several practical methods of reliability analysis of steel structure elements are proposed. In accordance with the proposed methods the optimum level of elements reliability of steel structures is given on a class of the buildings responsibility. It is al-lowed to calculate the values of importance factor. All formulated and developed probabilistic methods are characterized by analytical simplicity.

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

### Введение

Основной задачей проектирования конструкций зданий и сооружений является обеспечение достаточного уровня надёжности при наименьших возможных затратах. К одному из очевидных решений этого вопроса можно отнести усовершенствование вероятностных методов расчёта и методов оценки надёжности конструкций. Во-первых, это объясняется необходимостью учитывать большое количество факторов случайного характера, влияющих на работу конструкций в условиях их эксплуатации. Во-вторых, методы теории надёжности применяются для обоснования расчётных коэффициентов метода предельных состояний. В-третьих, актуальность данного подхода обусловливается проблемой создания в Украине собственной нормативной базы в области проектирования и реконструкции зданий и сооружений, особенно учитывая то, что разработанные в последнее время проекты ряда государственных строительных норм [2, 3] по сути объединили расчёт конструкций по предельным состояниям с расчётом их надёжности.

В рамках данной статьи авторы старались выполнить обзор задач надёжности конструкций, которые решались ими на протяжении нескольких последних лет. При этом главное

внимание во всех предложенных моделях и методах отводилось рациональному компромиссу между точностью и простотой проведения вероятностных расчётов.

### Общая часть

**Аналитические модели максимумов нагрузок и внутренних силовых факторов.** Современное исследование надёжности строительных конструкций в качестве обязательной составляющей включает вероятностное описание внешних нагрузок и, в частности, – максимумов нагрузок. Исходя из этого, авторами для временных нагрузок, представленных техникой случайных процессов (СП), были разработаны и обоснованы две вероятностные модели максимумов нагрузок [8, 12, 14]. Первая модель, названа “упрощённая экспоненциальная модель” (УЭМ), вторая – “упрощённая модель абсолютных максимумов” (УМAM). Разработанные модели базируются на предыдущих исследованиях по вероятностному описанию случайных нагрузок [4, 5, 7] и используют математический аппарат современной теории экстремумов случайных процессов. Отличительной чертой предложенных моделей является аналитическая простота и инвариантность по

отношению к виду и количеству действующих на конструкции случайных нагрузок.

Интегральную функцию распределения максимумов нагрузок по модели УЭМ предложено описывать формулой (1), а модели УМAM – формулой (2):

$$\begin{aligned} P(\gamma | 0 \leq \tau \leq t) &= \\ &= \exp[-N_+(\gamma | 0 \leq \tau \leq t)] = \\ &= \exp\{-\exp[-\lambda_0(\gamma - \gamma_0)]\}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} P(\gamma | 0 \leq \tau \leq t) &= \\ &= 1 - N_+(\gamma | 0 \leq \tau \leq t) = \\ &= 1 - \exp[-\lambda_0(\gamma - \gamma_0)] , \end{aligned} \quad (2)$$

где

$N_+(\gamma | 0 \leq \tau \leq t)$  – среднее число выбросов процесса нагрузки за нормированный уровень  $\gamma = (q - \bar{q}) / \hat{q}$ ;  $\bar{q}$  и  $\hat{q}$  – математическое ожидание и стандарт СП нагрузки;  $\gamma_0$  – нормированный характеристический максимум нагрузки, определяемый из условия  $N_+(\gamma_0 | 0 \leq \tau \leq t) = 1$ ;  $\lambda_0$  – новая безразмерная величина, названная “характеристической интенсивностью” нагрузки, которая определяется по формуле:

$$\lambda_0 = \frac{-1}{f_n(\gamma_0)} \frac{d}{d\gamma} [f_n(\gamma)] \Big|_{\gamma = \gamma_0} , \quad (3)$$

где

$f_n(\bullet)$  – нормированная плотность распределения ординаты СП нагрузки.

Правомерность применения на практике разработанных моделей максимумов нагрузок была доказана на примерах крановой, ветровой и снеговой нагрузок. В качестве эталонных моделей использовались модели нагрузок в форме стационарных и казистационарных случайных процессов, сформулированных В.А. Пашинским и С.Ф. Пичугиным [4, 5, 7].

В рамках моделей УЭМ и УМAM также был решён вопрос о распределении максимумов суммарного внутреннего силового фактора в конструкциях [12] (усилий, напряжений, деформаций и т.п.) с учётом особенностей действия нескольких случайных нагрузок. Это позволило при довольно высоком уровне точности значительно упростить процедуру расчёта,

представив его практически полностью в аналитической форме. Главная идея предложенного подхода состояла в замене исходного процесса  $\tilde{S}_\Sigma(t)$  внутреннего силового фактора некоторым эквивалентным по отношению к исходному процессом  $\tilde{S}_{\Sigma,eqv}(t)$ .

Это позволяет интегральную функцию распределения суммарного внутреннего силового фактора представить в виде (1) или (2), а оценку его параметров выполнить в замкнутой аналитической форме:

$$\begin{aligned} \gamma_{0,\Sigma} &= \\ &= \left[ \frac{\gamma_{0,\Sigma,eqv} \sqrt{1 + \sum_{k=1}^n p_k^2 \zeta_{1(k)}^2} + \sum_{k=1}^n p_k \zeta_{2(k)} - \sum_{k=1}^n p_k V_k^{-1}}{\sqrt{1 + \sum_{k=1}^n p_k^2}} \right]; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\lambda_{0,\Sigma} = \lambda_{0,\Sigma,eqv} \sqrt{\left(1 + \sum_{k=1}^n p_k^2\right) / \left(1 + \sum_{k=1}^n p_k^2 \zeta_{1(k)}^2\right)}, \quad (5)$$

где

$n$  – количество временных нагрузок, эффективная частота которых превышает эффективную частоту базовой нагрузки (под базовой подразумевается нагрузка, которая имеет наименьшую эффективную частоту);  $p_k$  – отношение стандарта  $k$ -ой высокочастотной нагрузки к стандарту базовой нагрузки;  $V_k$  – коэффициент вариации  $k$ -ой высокочастотной нагрузки;  $\gamma_{0,\Sigma,eqv}$  и  $\lambda_{0,\Sigma,eqv}$  – соответственно нормированный характеристический максимум и характеристическая интенсивность суммарного эквивалентного СП внутреннего силового фактора (усилия, напряжения, деформации и т.п.):

$$f_{n\Sigma}[\gamma_{0,\Sigma,eqv}] = \frac{\beta_{\omega,H} \sqrt{2\pi}}{\omega_{e,H} t} ,$$

$$\lambda_{0,\Sigma,eqv} = \frac{-1}{f_{n\Sigma}(\gamma_{0,\Sigma,eqv})} \frac{d}{d\gamma} [f_{n\Sigma}(\gamma)] \Big|_{\gamma = \gamma_{0,\Sigma,eqv}} , \quad (6)$$

где

$\omega_{e,H}$ ,  $\beta_{\omega,H}$  – соответственно эффективная частота и коэффициент широкополосности базовой нагрузки;  $f_{n\Sigma}(\bullet)$  – нормированная плот-

ность распределения СП суммарного силового фактора.

Безразмерные коэффициенты  $\zeta_{1(k)}$  и  $\zeta_{2(k)}$  для каждой  $k$ -ой высокочастотной нагрузки должны определяться по формулам

$$\zeta_{1(k)} = \lambda_{0,eqv(k)} \lambda_{0(k)}^{-1},$$

$$\zeta_{2(k)} = \gamma_{0(k)} - \gamma_{0,eqv(k)} \lambda_{0,eqv(k)} \lambda_{0(k)}^{-1} + V_k^{-1}. \quad (7)$$

Нормированный характеристический максимум  $\gamma_{0,eqv(k)}$  и характеристическая интенсивность  $\lambda_{0,eqv(k)}$  оцениваются по выражениям, аналогичными формулам (6) с той разницей, что вместо нормированной плотности распределения  $f_{n\Sigma}(\bullet)$  подставляется нормированная плотность распределения  $k$ -ой высокочастотной нагрузки.

Проверка разработанных моделей максимумов нагрузок и разработанной методики их сочетания была выполнена на основе специально созданных компьютерных моделей крановой, ветровой и снеговой нагрузки. В результате проведенного масштабного численного эксперимента был сделан вывод о достаточной точности предложенных моделей и возможности их практического использования в расчётах надёжности конструкций.

**Коэффициент сочетания.** На основе обоснованных теоретических положений в рамках

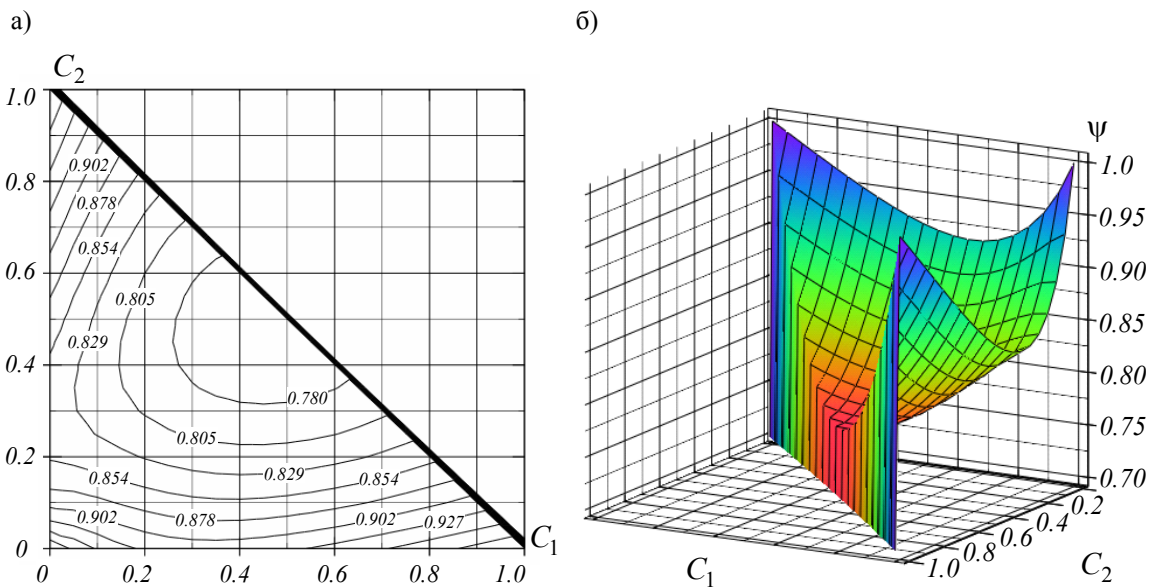
метода предельных состояний была выполнена оценка коэффициента сочетания для крановой, ветровой и снеговой нагрузок, а также выполнен сравнительный анализ числовых значений коэффициента  $\Psi$ , полученных по методикам различных авторов. Результатом системного исследования коэффициента сочетания нагрузок стали выводы относительно области возможного применения разных вероятностных подходов к оценке коэффициента  $\Psi$  и предложения по его нормированию. В частности, для снеговой (доля влияния  $C_1$ ), ветровой (доля влияния  $C_2$ ) и крановой (доля влияния  $C_3$ ) нагрузок были получены формулы:

$$\psi_{13} = \frac{C_1}{0.60 + 0.40C_1} + \frac{C_3}{2.36 - 1.36C_3},$$

$$\psi_{23} = \frac{C_2}{0.575 + 0.425C_2} + \frac{C_3}{3.30 - 2.30C_3}, \quad (8)$$

$$\psi_{12} = \frac{C_1}{1.60 - 0.60C_1} + \frac{C_2}{1.64 - 0.64C_2}.$$

При сочетании трёх случайных нагрузок (крановой, ветровой и снеговой) зависимость коэффициента сочетания от долей влияния нагрузок имеет более сложный характер в виде вогнутой поверхности, изображённой на рис.1-б. Для практического применения



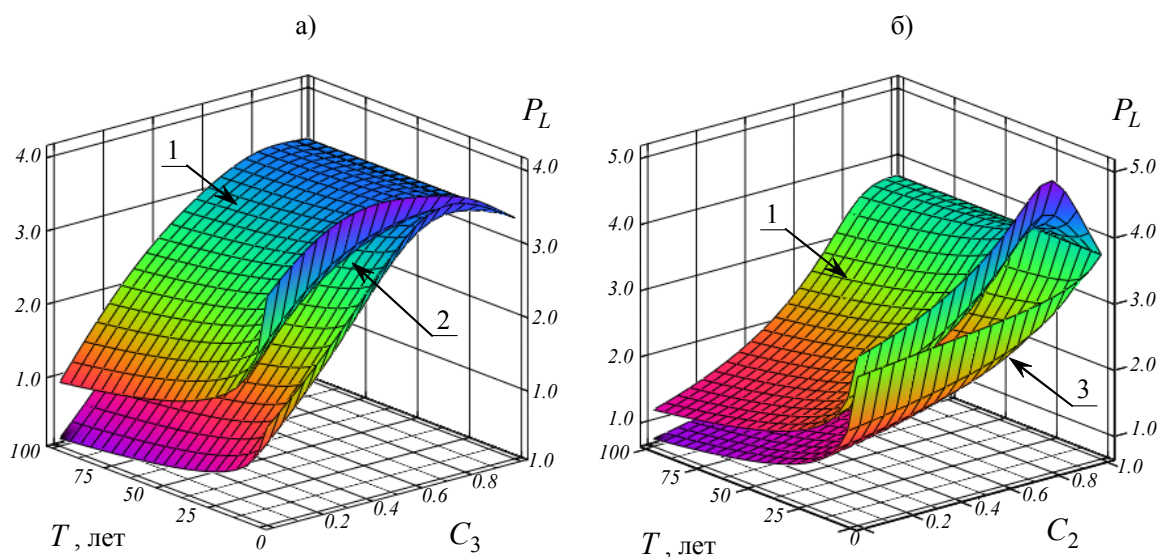
**Рис. 1.** Предложения по нормированию коэффициента сочетания крановых и атмосферных нагрузок: а) контурное представление; б) пространственное представление.

поверхность коэффициента сочетания нагрузок целесообразно представить в контурной форме (рис. 1-а), впервые предложенной В.А. Пашинским [4].

**Аналитические подходы к расчёту надёжности металлоконструкций.** На основе изложенных моделей максимумов нагрузок были сформулированы и разработаны несколько подходов к определению функции надёжности металлоконструкций по критерию истощения статической прочности. Содержание предложенных подходов выражают формулы вероятности безотказной работы, приведенные в таблице 1. Формулы (9) и (10) получены на основе наших предыдущих исследований [9-13] и представляют собой дальнейшее развитие методики оценки надёжности конструкций на основе концепции резерва несущей способности [7]. В основу формул (11) и (12) также положена данная концепция, но для описания максимумов нагрузок (соответственно и внутренних силовых факторов) использована представленная выше упрощённая экспоненциальная модель (УЭМ). Это приводит к значительному упрощению расчётов, особенно при увеличении количества сочетаемых нагрузок, действующих на конструкцию. При создании модели использован подход под названием "обобщение Барричелли" и линейная комбинация

распределений нормального и двойного экспоненциального. Разработанный метод получил сокращённое название "модель резерва". Формула (13) является развитием концепции Н.С. Стрелецкого "гарантия неразрушимости" с применением упрощённой модели абсолютных максимумов (УМAM) и играет роль нижней оценки функции надёжности конструкций. В отличие от предыдущих исследований, в рамках данной концепции формула (13) учитывает фактор времени и остаётся справедливой при детерминистической несущей способности конструкции. Метод получил сокращённое название "модель неразрушимости". Стоит заметить, что предложенная модель неразрушимости является полностью аналитической независимо от вида и количества действующих на конструкцию нагрузок.

Проведенный сравнительный анализ предложенных вероятностных подходов на примерах конструкций, нагруженных постоянной, крановой, ветровой и снеговой нагрузками, показал их полную согласованность между собой. Непосредственно сравнению подлежала функция надёжности  $P(t)$ , выраженная в беллах  $P_L = -\lg[1 - P(t)]$ . При этом варьировались параметры нагрузок, их доли влияния  $C_i$  в составе суммарного усилия и срок эксплуатации конструкций  $T$  (рис. 2). Результатом



**Рис. 2.** Пример сравнительной оценки надёжности стальных элементов, нагруженных случайными нагрузками: а) постоянной и крановой (доля  $C_3$ ); б) постоянной и ветровой (доля  $C_2$ ). 1 – функция надёжности (9) и (10); 2 – функция надёжности (11) и (12); 3 – функция надёжности (13).

Таблица 1. Выражения для функций надёжности металлоконструкций.

Разработанная методика расчёта надёжности	Функция надёжности конструкции
Подход на основе модели абсолютных максимумов В.В. Болотина	$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[ \int_{Z_0}^{\infty} \exp(-0.5Z^2) dZ - \frac{1}{f_{ns}(\gamma_0)} \int_{Z_0}^{\infty} f_{ns}[E(Z)] \exp(-0.5Z^2) dZ \right]. \quad (9)$
	$Z_0 = \gamma_0 p^{-1} + p^{-1} V_S^{-1} - V_R^{-1}, \quad E(Z) = Zp + pV_R^{-1} - V_S^{-1}.$
Подход на основе экспоненциальной модели надёжности	$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{V_R^{-1}}^{\infty} \exp\{-f_{ns}[E(Z)]/f_{ns}(\gamma_0)\} \exp(-0.5Z^2) dZ. \quad (10)$
	$E(Z) = Zp + pV_R^{-1} - V_S^{-1}.$
Подход на основе упрощённой экспоненциальной модели (УЭМ) (модель резерва)	$P(t) = 1 - \int_{-\infty}^{-\beta_R} f_{nY}(\gamma   t) d\gamma. \quad (11)$
	$P(t) = 0.8775A\{1 - \exp[-\exp(-1.282 \cdot \beta_R - C)]\} + (1 - 0.8775A)\Phi^*(-\beta_R). \quad (12)$
	$\beta_R = \frac{\lambda_0(V_S p - V_R) - V_R V_S (\lambda_0 \gamma_0 + C)}{V_R V_S \sqrt{1.645 + \lambda_0^2 p^2}}, \quad A = 1.1396(1 + p^2)^{-3/2}.$
Подход на основе упрощённой модели абсолютных максимумов (УММ) и концепции Н.С. Стрелецкого «гарантия неразрушимости»	$P(t) = \{1 - \exp[-\lambda_0(\gamma_S(t) - \gamma_0)]\} \{0.5 - \Phi[\gamma_R(t)]\}. \quad (13)$
	$\gamma_R(t) = \beta_N - V_R^{-1}, \quad \gamma_S(t) = \beta_N p - V_S^{-1},$ $\beta_N = \left[ \lambda_0 p + \frac{1}{V_R} - \sqrt{\left( \lambda_0 p + \frac{1}{V_R} \right)^2 - 2 \left( \lambda_0 \gamma_0 + \frac{\lambda_0}{V_S} + \frac{1}{2V_R^2} + \ln[\sqrt{2\pi} p \lambda_0] \right)} \right].$
<b>Обозначения в таблице:</b> $p = R/S$ – отношение стандартов несущей способности и внутреннего силового фактора в конструкции; $V_R$ – коэффициент вариации несущей способности конструкции; $V_S$ – коэффициент вариации внутреннего силового фактора в конструкции; $C = 0.5772157\dots$ – постоянная Эйлера-Маскерони; $\gamma_0$ и $\lambda_0$ – соответственно нормированный характеристический максимум и характеристическая интенсивность внутреннего силового фактора; $\Phi(\bullet)$ – функция Лапласа; $\Phi^*(\bullet)$ – интегральная функция распределения нормального закона.	

проведенного анализа стал вывод о возможности использования на практике всех разработанных методик. При этом выбор конкретной методики необходимо осуществлять исходя из специфики решаемой задачи.

**Карты территориальной надёжности.** На основе разработанных вероятностных подходов были сформулированы рекомендации по оценке надёжности разного типа металлоконструкций, таких как подкрановые балки и элементы крановых эстакад, стропильные балки, фермы, прогоны, колонны производственных зданий, элементы фахверка и др. В частности для конструкций, воспринимающих атмосфер-

ные нагрузки (ветровую и снеговую) были разработаны карты территориальной надёжности для всех регионов Украины [8, 20]. При этом предполагалось, что конструкции подобраны без запаса по проекту новых строительных норм Украины ДБН "Нагрузки и воздействия" [3]. Примеры таких карт показаны на рис. 3 и 4 (в большинстве случаев на картах приводятся две цифры, характеризующие разброс показателя надёжности  $P_L$  в пределах одной области). В случае одновременного действия ветровой и снеговой нагрузок результаты представлялись в виде пространственных и контурных поверхностей показателя надёжности для каж-



**Таблица 2.** Значения оптимальной надёжности и коэффициента надёжности по назначению (коэффициента ответственности) для стальных конструкций.

Класс ответственности здания или сооружения (по [1, 2])	Параметр экономического ущерба (ПЭУ) (по [1, 2])	Оптимальный показатель надёжности		Коэффициент ответственности $\gamma_n$
		$P_{opt}$	$P_{L,opt}$ , беллы	
1 - уникальные и особо ответственные	более 250	более 0.9999	более 4.0	более 1.25
2 - имеющие весьма важное значение	от 25	от 0.99987	от 2.888	от 1.05
	до 250	до 0.9999	до 4.0	до 1.25
3 - имеющие важное значение	от 2.5	от 0.9837	от 1.778	от 0.9
	до 25	до 0.99987	до 2.888	до 1.05
4 - имеющие ограниченное значение	менее 2.5	менее 0.9837	менее 1.778	менее 0.9



**Рис. 4.** Территориальная оценка показателя надёжности  $P_L$  металлоконструкций, воспринимающих постоянную и ветровую (доля влияния  $C_2 = 0.7$ ) нагрузки.

уровень надёжности стальных конструкций только через параметр экономического ущерба (см. табл. 2).

В рамках данного подхода также был решён вопрос о регулировании уровня надёжности металлоконструкций при помощи коэффициента надёжности по назначению  $\gamma_n$  (коэффициента ответственности). В результате предложено нормировать коэффициент  $\gamma_n$  в виде ло-

гарифмической зависимости, подобной выражению (14):

$$\gamma_n = 0.85 + 0.15 \lg(\text{ПЭУ}) \quad (15)$$

### Заключение

Выполненный в рамках данной статьи обзор методов расчёта надёжности металлоконструкций



является отражением направлений исследований авторов в вероятностном проектировании. Принципу, которому старались следовать авторы, - это аналитическая простота при надлежащей теоретической аргументации и рациональная дифференциация вероятностных расчётов металлоконструкций в общей процедуре оценки их надёжности. Большинство положений в предлагаемых моделях и методах приводятся без доказательства и детального описания. Однако пользуясь приведенной ниже подробной библиографией, можно более детально ознакомиться с вопросами, вызвавшими интерес читателя.

### Литература

1. Гордеев В.Н, Микитаренко М.А., Перельмутер А.В. О проекте ДБН "Общие принципы обеспечения надёжности и безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований" // Строительное производство. - Межведомственный науч.-техн. сб., вып. 44. -К.: 2003. - С. 50-58.
2. ДБН В.1.2-...-2003. Система надёжности и безопасности в строительстве. Нагрузки и воздействия (проект).
3. ДБН. В. 1.2 - ...- 97. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності і безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. (Проект). - К.: УкрНДІПСК, 1997. - 57 с.
4. Пашинский В.А. Сочетание усилий от атмосферных и крановых нагрузок, действующих на стальные каркасы одноэтажных производственных зданий: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.23.01 / МИСИ. - М., 1985. - 21 с.
5. Пашинський В.А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції для території України. - К., 1999. - 185 с.
6. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. - 2-е изд., перераб. и доп. - К.: Изд-во УкрНИИПроектстальконструкция, 2000. - 216 с.
7. Пичугин С.Ф. Надёжность стальных конструкций производственных зданий: Автореф. дис...-доктора техн. наук: 05.23.01 / КГТУСА - К., 1994. - 32с.
8. Пічугін С.Ф., Махінько А.В., Склярєнко 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.
9. Пичугин С.Ф., Махінько А.В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции. - Полтава: АСМІ, 2005. - 342 с.
10. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. До оцінки надійності сталевих підкранових балок // Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини: Зб. наук. пр. - Одеса: ОГАСА, 2003. - С.201-207.
11. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. Імовірнісна процедура підбору поперечного перерізу сталевих прогонів за критерієм міцності та жорсткості // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Випуск 10. - Рівне: УДУВГП. - 2003. - С.155-163.
12. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. Чисельно-аналітична методика розрахунку надійності елементів будівельних конструкцій // Зб. наук. пр. „Будівельні конструкції”. - Вип. 62. - К.: НДІБК. - 2005. - С. 242-251.
13. Пічугін С.Ф., Семко О.В., Махінько А.В. Аналіз надійності конструкцій перекриттів пониженої товщини // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Випуск 12. - Рівне: УДАВГ. - 2005. - С.262-271.
14. Пичугин С.Ф., Махінько А.В. К вероятностным методам расчёта металлоконструкций // Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини: Зб. наук. пр. - Одеса: ОГАСА, 2005. - С.161-171.
15. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. До оцінки очікуваного ресурсу елементів металоконструкцій при вібраційній дії турбулентного вітру // Зб. наук. пр. (Галузеве машинобудування, будівництво). - Вип. 16. - Полтава: ПолтНТУ. - 2005. - С. 240-249.
16. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. Використання концепції „гарантія неруйнівності” в оцінках надійності металевих конструкцій // Металеві конструкції. - Том 6, номер 1. - Макіївка. - 2004. - С. 19-26.
17. Пичугин С.Ф., Семко А.В., Махінько А.В. К определению коэффициента надёжности по назначению с учётом рисков в строительстве // Известия ВУЗов. Серия строительство и архитектура. - 2005. - № 11-12. - С. 104-109.
18. Пічугін С.Ф., Махінько А.В. Оцінка надійності металоконструкцій при дії випадкових навантажень // Зб. доповідей VIII української науково-технічної конференції. - Частина 2. - К.: Видво „Сталь”, 2004. - С. 175-185.
19. Пічугін С.Ф., Семко О.В., Махінько А.В. До оцінки оптимального рівня надійності сталевих конструкцій // Сучасні будівельні конструкції з металу і деревини: Зб. наук. пр. - Одеса: ОГАСА, 2006. - С. 153-162.
20. Pichugin S., Makhinko A., Sklyarenko 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.

**Пичугін Сергій Федорович** працює завідувачем кафедри «Конструкцій 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.

**Махинько Антон Володимирович** вчиться 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 «Конструкций 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** 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 Kondratyk 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 Graduate Student of Metal and Wooden Structures department at Poltava National Technical Yuri Kondratyk 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.