

**Тур Виктор Владимирович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, Брестский государственный технический университет, г.Брест (Беларусь)

**Надольский Виталий Валерьевич**, канд. техн. наук, старший преподаватель, Белорусский национальный технический университет, г.Минск (Беларусь)

**Victor Tur**, DSc in Engineering Science, professor, head of the department, Brest State Technical University, Brest (Belarus)

**Vitali Nadolski**, PhD in Engineering Science, senior lecturer, Belarusian National Technical University, Minsk (Belarus)

## **ЦЕЛЕВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТНОЙ НАДЕЖНОСТИ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ НАДЕЖНОСТИ, ПРИНЯТОЙ В ЕВРОПЕЙСКИХ НОРМАХ (ЕВРОКОДАХ)**

## **TARGET VALUES OF RELIABILITY INDICES WITHIN THE CONCEPT OF RELIABILITY ADOPTED BY THE EUROPEAN NORMS (EUROCODES)**

### **АННОТАЦИЯ**

*С января 2010 г. в Республике Беларусь введены европейские стандарты (EN стандарты, Еврокоды), регламентирующие требования к проектированию, изготовлению и монтажу строительных конструкций. Система европейских стандартов (Еврокодов) устанавливает ответственность регулирующих органов каждой страны и гарантирует их право определять значения, относящиеся к вопросам регулирования безопасности на национальном уровне. Представленное исследование сосредоточено на анализе уровней надежности, обеспечиваемых Еврокодами. Результаты, полученные в настоящем исследовании, позволяют сформировать вспомогательные материалы для развития Национальных Приложений и дальнейшего совершенствования Еврокодов. Рассмотрена проблема регламентации показателей надёжности, выраженных в значениях допустимых вероятностей отказа или индексов надёжности. Представлены основные способы получения целевых значений показателей надёжности для строительных конструкций. На основании полученных результатов выявлены особенности и количественные показатели надёжности стальных конструкций. Сделаны выводы о необходимости проведения дальнейших исследований по усовершенствованию вероятностных моделей базисных переменных по мере накопления опытных данных и о необходимости*

выполнения аналогичных исследований для конструкции из других материалов. В статье выполнена калибровка значений частных коэффициентов для обеспечения целевого уровня проектной надежности строительных конструкций, регламентированного Еврокодом, при доминирующем воздействии снеговой нагрузки. Анализ показал, что использование полученных калибровкой значений частных коэффициентов приводит к обеспеченности расчетного значения снеговой нагрузки для постоянных расчетных ситуаций, близкой к обеспеченности чрезвычайных (особых) воздействий. В данной статье предпринята попытка показать причины вышеотмеченных неточностей и противоречий концепции надежности, принятой в Еврокодах.

## **ABSTRACT**

*In January 2010 European standards (EN standards, Eurocodes) for the design, fabrication and erection of building structures were introduced in the Republic of Belarus. The system of European standards (Eurocodes) recognises the responsibility of regulatory authorities of each country and guarantees their right to determine values related to regulatory safety matters at national level. The submitted study is focused on the analysis of the reliability levels provided by Eurocodes. It is expected that the results obtained from this study will provide with background materials for the development of National annexes and also for the further improvement of Eurocodes. The problem of regulation of reliability, expressed in the values of allowable probability of failure or reliability index is considered in the study. The main methods of estimation the target values of reliability indices for building are presented. The features and quantitative reliability of steel structures are revealed on the received results. The conclusions on the necessity of further research for the improvement of the probabilistic models of basic variables and the necessity to perform a similar study for the construction made of other materials are drawn. The values of partial factors for a target reliability level of building structures according to Eurocodes with the dominant snow load are obtained. The analysis has shown that the use of the obtained values of the partial factors leads to the design value of snow load on the ground as the fractile of annual extremes for accidental (exceptional) load. This article attempts to show the reasons for the aforementioned inaccuracies and contradictions of the concept of reliability adopted in the Eurocodes.*

**Ключевые слова:** частный коэффициент, надежность, базисная переменная, целевое значение, Еврокод

**Keywords:** partial factor, reliability, basic variable, target value, Eurocode

## ВВЕДЕНИЕ

В недавнем времени на территории Республики Беларусь вступили в действие нормативные документы ISO 2394 и EN 1990. Согласно концепции надёжности строительных конструкций, сформулированной в этих документах, проектирование конструктивных элементов следует выполнять, опираясь на нормируемые целевые показатели надёжности. Это условие позволяет устранить несоответствия в достигаемых уровнях надёжности (так называемая разнонадёжность) строительных конструкций.

В нормах СССР не была регламентирована величина вероятности отказа (требовалось проектировать конструкции с достаточным уровнем надёжности). Поэтому при использовании в расчетах частных коэффициентов, полученных исходя только из установленной обеспеченности расчетного значения базисной переменной, конструкции имели разный уровень надёжности. Следует отметить, что советскими учеными были выполнены значительные исследования по проблеме надёжности в строительстве, в том числе были получены численные значения требуемых уровней надёжности. Однако нормативно они не были закреплены. Анализ отечественных работ показывает, что в большинстве случаев для зданий среднего класса надёжности (жилые, промышленные и офисные здания) принимали вероятности отказа на уровне  $10^{-4}$ ... $10^{-2}$ , однако при этом, как правило, не уточнялся базовый период времени (отнесения), для которого были установлены эти величины вероятностей.

Разработка базовых документов, определяющих подходы к нормированию параметров надёжности, ISO 2394 и EN 1990 с регламентацией в них численных значений показателей надёжности и процедур определения значений частных коэффициентов была необходимой. Но на данный момент проявляются неточности и противоречия между положениями концепции надёжности, принятой в Еврокодах, и современными предпосылками в области описания и нормирования значений переменных воздействий.

С другой стороны, при калибровке частных коэффициентов получают их численные значения, противоречащие отечественной и мировой практике нормирования климатических нагрузок [8]. В силу того, что частные коэффициенты являются инструментом регулирования и обеспечения заданного уровня надёжности строительных конструкций, их обоснованное принятие является важнейшей задачей, и процедура калибровки является обязательной в рамках определения национально устанавливаемых параметров (NDP).

В данной статье предпринята попытка показать причины вышеотмеченных неточностей и противоречий концепции надежности, принятой в Еврокодах. Особенно ярко последствия неопределенностей принятой концепции надежности можно показать на примере стальных конструкций при доминирующем воздействии снеговой нагрузки. Однако методологические неточности и несовершенства прослеживаются для конструкций, изготовленных из других материалов, и при других видах переменных воздействий.

## РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫЕ УРОВНИ НАДЕЖНОСТИ

Меру надежности (безопасности) строительных конструкций принято выражать в виде формальной вероятности отказа  $p_f$  либо вероятности безотказной работы  $(1 - p_f)$ , а также посредством индекса надежности. Индекс надежности  $\beta$  равен квантили уровня  $(1 - p_f)$  для стандартного нормального распределения:

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f) \quad (1)$$

Вероятность отказа и индекс надежности не являются фактическими показателями частоты наступления аварий строительных конструкций, но широко используются для относительного сравнения надёжности конструктивных решений (см. п. С.6 (2) EN 1990 [6]).

Существует большое количество предложений по оценке требуемого (достаточного<sup>1</sup>) уровня надежности. Общие принципы назначения и дифференциации вероятности наступления предельного состояния основываются на анализе и управлении рисках, что позволяет учесть не только вероятность отказов, но и тяжесть возможных последствий для общества. Основные способы получения целевых значений индекса надежности [4]:

**а) Оценка на основании рисков, существующих в повседневной жизни.** В случае аварии строительных конструкций люди потенциально подвергаются риску ранения или гибели. Если исходить из того, что эти риски являются частью системы всех видов рисков человека, то допустимую вероятность предельного состояния несущей способности можно установить по частоте наступления несчастных случаев, происходящих в результате жизнедеятельности человека.

---

<sup>1</sup> Исторически сложилось, что первоначально больше использовалось понятие достаточного (как некая минимальная величина) уровня надежности. Последующие исследования показали, что следует говорить не о достаточном уровне надежности, а об оптимальном (целесообразном) значении.

**б) Оценка на основании экономической оптимизации рисков.** Значение вероятности отказа может устанавливаться также на основании экономической оптимизации затрат по ликвидации последствий в случае наступления прогнозируемого отказа. Здесь различают два случая возможности применения данного способа. Первый применим для объектов только с экономическими последствиями отказа (так называемая чисто экономическая оптимизация). Второй способ экономической оптимизации позволяет учесть последствия ранений и гибели человека. Основная трудность при использовании данного способа заключается в выражении последствий ранения или гибели человека в денежных величинах.

**в) Оценка на основании предыдущего опыта нормирования.** В процессе развития норм проектирования достаточная надежность косвенно регулировалась посредством корректировки расчетных параметров на основании данных о последствиях отказов при эксплуатации сооружений. В тех случаях, когда в процессе эксплуатации в течение длительного периода времени не наблюдались отказы, судили о возможных резервах в надежности. Частые отказы, причины которых не были связаны с нарушением нормативных требований к проектированию, изготовлению и эксплуатации, свидетельствовали о недостаточной надежности. Однако качество норм проектирования, устанавливаемое только по факту отсутствия массовых отказов, не может достоверно свидетельствовать об их корректности, в особенности для вновь используемых и нетрадиционных конструктивных решений. Поэтому результаты, полученные из анализа уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования, должны рассматриваться в совокупности с оценками, полученными другими способами.

В EN 1990 [6] выполнена дифференциация уровней надежности для проверок предельных состояний несущей способности и эксплуатационной пригодности в зависимости от класса по последствиям разрушения (CC1, CC2, CC3) и соответствующих классов надежности (RC1, RC2, RC3). Следует отметить, что классы по последствиям разрушения по своей сути соответствуют уровням ответственности, принятым в ГОСТ 27751-88.

Каждому из классов надёжности присвоены минимальные значения целевых индексов надежности. Так, при расчетах по предельным состояниям несущей способности для класса надежности RC2 требуемое значения индекса надежности принято равным 4,7 для базового периода времени 1 год и 3,8 – для 50-летнего периода, что соответствует вероятности отказа  $1,6 \cdot 10^{-6}$  и  $7,2 \cdot 10^{-5}$ , соответственно. При разработке

EN 1990 [6] шли острые дискуссии о возможности принятия уровней надежности (значений индексов надежности, вероятности отказа) каждой страной самостоятельно, то есть о придании индексу надежности статуса «национально устанавливаемого параметра» (NDP). В принятой редакции Еврокода установлены единые уровни надежности для всех стран, в которых проектирование конструкций осуществляется на основе Еврокодов.

Важно то, что значения индексов надежности связаны с принятыми предпосылками, например, о типах распределений базисных переменных, и не могут быть отделены от них. Индексы надежности могут быть сопоставимы между собой только в том случае, если они найдены для моделей со сравнимыми предпосылками – об этом часто забывают.

Согласно п. С.6 EN 1990 [6] при определении регламентированных значений индексов надежности приняты следующие предпосылки:

- логарифмически нормальное распределение или распределение Вейбулла, как правило, было использовано для характеристик свойств материалов и сопротивлений элементов конструкции, а также для погрешностей моделей;
- нормальное распределение, как правило, применялось для собственного веса;
- для переменных воздействий, за исключением расчетов на усталость, для упрощения использовано нормальное распределение. Распределения экстремальных значений были бы более приемлемыми<sup>2</sup>.

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ БАЗИСНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ**

В теории надежности строительных конструкций особое место занимает проблема вероятностного описания базисных переменных, включаемых в функцию состояния. Исследования вероятностной природы базисных переменных являются всегда актуальными. Это в наибольшей степени относится к уточнению (корректировке) фактических законов распределения базисных переменных на основе экспериментальных данных.

---

<sup>2</sup> « – Lognormal or Weibull distributions have usually been used for material and structural resistance parameters and model uncertainties; – Normal distributions have usually been used for self-weight; – For simplicity, when considering non-fatigue verifications, Normal distributions have been used for variable actions. Extreme value distributions would be more appropriate» [6].

Наиболее подробно остановимся на вероятностном описании переменных воздействий – в частности, для примера принята снеговая нагрузка.

Для снеговой нагрузки достаточно точной и наиболее распространенной является вероятностная модель последовательности годовых максимумов снеговой нагрузки. Данная предпосылка позволяет перейти от вероятностного описания случайного процесса к описанию случайной величины. Как известно, закон распределения устанавливается исходя из экспериментальных данных. Однако эти данные часто недоступны и ограничены, что не позволяет получить достоверные результаты, поэтому при выборе закона распределения дополнительно используют аналитические закономерности. При *выборе закона распределения снеговой нагрузки следует учитывать, что:*

1. Существует общая проблема использования в теории надежности любого из законов распределения случайных величин в области весьма малых значений вероятностей (на так называемых «хвостах» распределений).

2. Выбор закона распределения определяется по наилучшему соответствию аппроксимирующей функции и эмпирических значений случайной величины с использованием критериев согласия. В ряде случаев значения критерия согласия для разных законов распределения в области медиан носят близкий характер, а результаты, полученные с использованием разных законов распределения, могут отличаться значительно. При этом следует отметить, что и сами критерии согласия в ряде случаев несовершенны.

3. Часто закон распределения обосновывается по всей выборке данных, и для описания снеговой нагрузки используется среднее значение и стандартное отклонение всей выборки. Однако такое распределение существенно отклоняется от опытных данных в области «хвостовой» части. В работе [7] данное несоответствие предложено решать посредством подгонки распределения не по всей выборке, а по хвостовой части эмпирических данных.

Общие рекомендации по назначению законов распределения нормативно закреплены в документах [5, 6]. Наиболее широко для аппроксимации снеговой нагрузки при прогнозировании репрезентативных значений используются первое предельное распределение Гумбеля, логнормальное распределение и распределение Вейбулла.

Здесь проявляется одно из **первых противоречий** между исследованиями по описанию вероятностной природы переменного воздействия и положениями, принятыми при определении целевых индексов на-

дежности. Следует ещё раз остановиться на принятых предпосылках при назначении индекса надежности в Еврокоде. Как отмечено п. С.6 EN 1990 [6], для описания переменных воздействий принят нормальный закон, но отмечено, что для более реалистичных случаев следует использовать распределение экстремальных значений. Для ответа на вопрос о влиянии предпосылки о законе распределения на результаты оценки уровней надежности выполнен анализ чувствительности значений индекса надежности к выбранному закону распределения снеговой нагрузки.

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ

Критерий годности для конструктивных систем и их элементов принято выражать функцией состояния  $g(x)$ , или так называемым событием отказа  $F$ :

$$F = \{g(x) < 0\}, \quad (2)$$

где компоненты вектора  $x$  являются реализациями случайных базисных переменных  $\mathbf{X}$ , представляющих все значимые и уместные для данной расчетной ситуации неопределенности, оказывающие влияние на значение вероятности отказа.

Если установлены вероятностные модели случайных базисных переменных, можно рассчитать вероятность отказа за базовый период времени:

$$P_f = P(g(\mathbf{X}) < 0). \quad (3)$$

В данной работе рассмотрены только проверки предельных состояний несущей способности сечений стальных элементов (так называемые виды проверок «по прочности»). Для рассматриваемого случая функция состояния  $g(\mathbf{X})$  принята в следующем традиционном виде:

$$g(\mathbf{X}) = K_R z f_y - K_E [G + C_S S(t)], \quad (4)$$

где  $K_R, K_E$  – случайные переменные, характеризующие ошибки расчетных моделей сопротивления и эффектов воздействий соответственно;

$z$  – геометрическая характеристика поперечного сечения элемента (площадь, момент сопротивления);

$f_y$  – случайная переменная, характеризующая прочность материала (предел текучести стали);

$G$  – случайная переменная, характеризующая постоянное воздействие;

$S(t)$  – случайная переменная, характеризующая снеговую нагрузку;

$C_S$  – переменная, характеризующая погрешность модели снеговой нагрузки (упрощенное описание распределения нагрузки на поверхности покрытия и т.д.).



Для анализа различных соотношений постоянной и снеговой нагрузок использован безразмерный параметр нагружения  $\chi$ . Параметр нагружения  $\chi$  представляет собой долю снеговой нагрузки в полном значении воздействия:

$$\chi = S_k / (G_k + S_k), \quad (5)$$

где  $S_k$  – характеристическое значение снеговой нагрузки;

$G_k$  – характеристическое значение постоянной нагрузки.

Анализ реальных объектов показывает, что наиболее вероятный интервал значения параметра нагружения  $\chi$  для стальных конструкций при воздействии снеговой нагрузки составляет 0,4...0,7. Близкие значения данного параметра ( $\chi = 0,4...0,8$ ) приняты для стальных конструкций в работе [3].

Базовый период времени (отнесения) принят равным 1 год. Статистические параметры снеговой нагрузки определены на основании актуальных исследований для территории Республики Беларусь [7]. Статистические параметры годовых максимумов снеговой нагрузки выражены через характеристическое значение  $S_k$ , назначенное в соответствии с ТКП EN 1991-1-3-2009. Вероятностные модели прочностных характеристик стали и погрешностей расчетных моделей приняты в соответствии с общими рекомендациями JCSS [1]. Следует отметить, что в большинстве работ по исследованию надежности параметры вышеотмеченных базисных имеют схожий характер. Все вероятностные модели, используемые для расчетов, приведены в таблице.

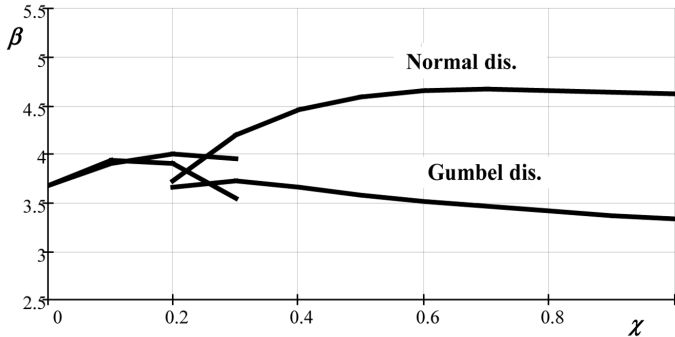
*Таблица*

### Вероятностные модели базисных переменных

Переменная	Распределение	$\mu_x / X_k$	$V_x$
Постоянная нагрузка	Нормальное	1.00	0.07
Ошибка модели снеговой нагрузки	Логнормальное	1.00	0.10
Снеговая нагрузка	Гумбеля, Нормальное	0.39	0.55
Предел текучести	Логнормальное	1.15	0.07
Ошибка модели сопротивления обобщенного стального элемента	Логнормальное	1.00	0.05
Ошибка модели эффекта воздействия	Логнормальное	1.00	0.05

Результаты представлены в виде графиков. По оси ординат отложены значения индекса надежности  $\beta$ , а по оси абсцисс – параметр нагружения  $\chi$ . На рисунке 1 представлены значения  $\beta$  при описании

снеговой нагрузки нормальным законом распределения и законом Гумбеля. Принято сочетание воздействий согласно выражениям 6.10а/б [6].



**Рисунок 1.** Значения индекса надежности при различных законах распределения снеговой нагрузки

Из предоставленного анализа видно, что значение индекса надежности при прочих равных условиях существенно зависит от принятой предпосылки об описании переменного воздействия. Рассчитаем значения частных коэффициентов, необходимые для обеспечения регламентируемых целевых индексов надежности.

### КАЛИБРОВКА ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Основываясь на актуальных значениях коэффициентов чувствительности, полученных на основании метода теории надежности 1-го порядка (FORM), можно получить значения частных коэффициентов для каждой базисной переменной, обеспечивающие установленный уровень надежности:

$$\gamma_{Ri} = r_{k,i} / F_{Ri}^{-1}[\Phi(-\alpha_{Ri} \times \beta_t)]; \quad \gamma_{Ei} = F_{Ei}^{-1}[\Phi(-\alpha_{Ei} \times \beta_t)] / e_{k,i}, \quad (6)$$

где  $F^{-1}(\cdot)$  – обратная функция распределения;

$r_{k,i}$  – характеристическое значение переменных, входящих в модель сопротивления;

$e_{k,i}$  – характеристическое значение переменных, входящих в модель эффекта воздействия (усилия);

$\alpha_i$  – коэффициенты чувствительности, полученные с использованием метода FORM;

$\beta_t$  – целевое значение индекса надежности.

Требуемые значения частных коэффициентов для сопротивления  $\gamma_{M0}$ , постоянной  $\gamma_G$  и снеговой  $\gamma_Q$  нагрузок можно получить из следующих выражений:

$$\gamma_{M0} = \gamma_{Rd} \times \gamma_m; \quad \gamma_G = \gamma_{Sd} \times \gamma_g; \quad \gamma_Q = \gamma_{Sd} \times \gamma_\mu \times \gamma_q, \quad (7)$$

где  $\gamma_{Rd}$  – частный коэффициент, учитывающий погрешность модели сопротивления;

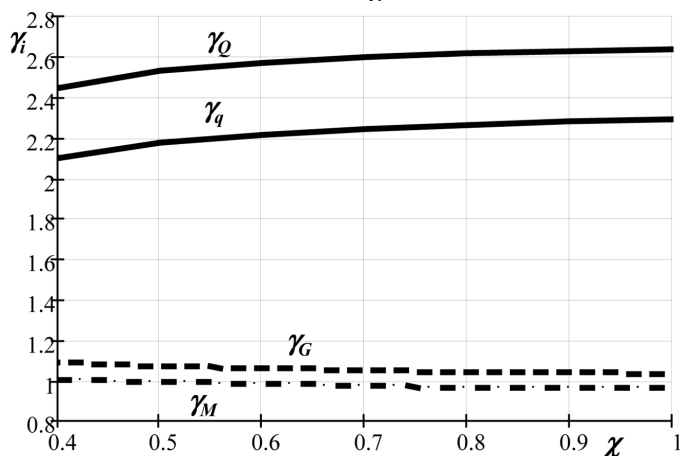
$\gamma_{Sd}$  – частный коэффициент, учитывающий погрешность (неопределенность) модели эффектов воздействий;

$\gamma_m$  – частный коэффициент для свойства материала (предела текучести), учитывающий возможность неблагоприятных отклонений свойства материала от его характеристического значения;

$\gamma_g, \gamma_q$  – частные коэффициенты для постоянной и снеговой нагрузки соответственно, учитывающие возможность нежелательного отклонения величины воздействия от репрезентативного значения;

$\gamma_\mu$  – частный коэффициент, учитывающий погрешность модели снеговой нагрузки, то есть возможность неблагоприятных отклонений для коэффициента формы снеговой нагрузки.

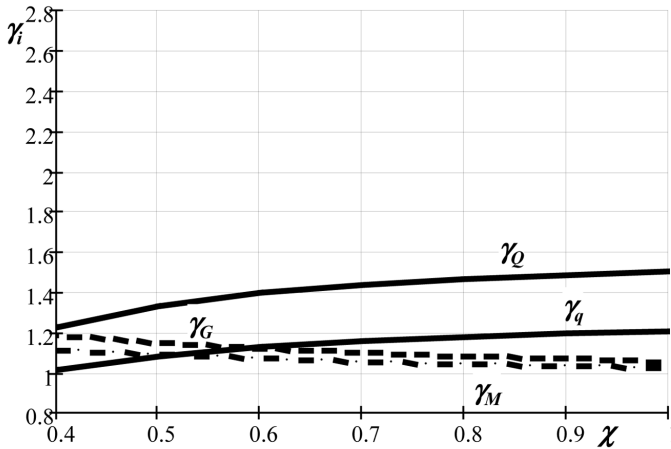
На рисунке 2 представлены требуемые значения частных коэффициентов, необходимые для достижения целевого уровня надежности при предположении о распределении Гумбеля для снеговой нагрузки. По оси ординат отложены значения частных коэффициентов  $\gamma_i$ , а по оси абсцисс – параметр нагружения  $\chi$ .



**Рисунок 2.** Требуемые значения частных коэффициентов для обеспечения целевого индекса надежности стальных конструкций при описании снеговой нагрузки законом Гумбеля

Полученные значения частных коэффициентов согласуются с результатами, полученными в работах М. Holicky, М. Sykora [3] для тер-

ритории Чешской республики, в работах Z. Sadovsky [2] для территории Германии и Словакии. Для этих стран статистические параметры и характер снеговых нагрузок схожи с условиями Республики Беларусь.



**Рисунок 3.** Требуемые значения частных коэффициентов для обеспечения целевого индекса надежности стальных конструкций при описании снеговой нагрузки нормальным законом

### ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Из расчетного значения переменного воздействия (полученного для обеспечения уровня надежности, регламентированного в Еврокоде), используя соответствующий закон распределения, можно определить обеспеченность расчетного значения. Для распределения Гумбеля вероятность превышения полученного расчетного значения нагрузки:

$$P = \exp [ -\exp [ -a (s_d - b) ] ], \quad (8)$$

где  $s_d$  – расчетное значение снеговой нагрузки на поверхности земли:

$$s_d = S_k \times \gamma_q \quad (9)$$

$a$  и  $b$  – параметры распределения, которые определяются через среднее значение  $\mu$  и стандартное отклонение  $\sigma$  всей выборки:

$$a = \pi / (\sigma \sqrt{6}); \quad (10)$$

$$b = \mu - 0.5772 / a. \quad (11)$$

При описании снеговой нагрузки на поверхности земли распределением Гумбеля и при значениях частного коэффициента, учитывающего только изменчивость нагрузки на поверхности земли  $\gamma_q$  (рис. 2), вероятность превышения расчетных значений составила на уровне 10<sup>-5</sup> в год.

Для нормального распределения вероятность превышения полученного расчетного значения нагрузки:

$$P = \Phi [ (s_d - \mu) / \sigma ]. \quad (12)$$

При описании снеговой нагрузки нормальным законом распределения, вероятность превышения расчетных значений составила на уровне  $10^{-4}$  в год.

Данные вероятности возможны только при нормировании редких природных и климатических явлений (например, сейсмических) или чрезвычайного (особого) значения воздействия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В статье отмечены неточности и противоречия концепции надежности, принятой в Еврокодах. Очевидно, что на данный момент при предпосылках, заложенных в Еврокодах, невозможно получить разумные и научно обоснованные значения частных коэффициентов. Анализ полученных результатов позволил выявить следующие особенности.

1. Проектная вероятность отказа и индекс надежности подходят только для относительного сравнения надёжности конструктивных решений при одинаковых предпосылках.

2. Выявлено противоречие, связанное с законами распределения, принятыми для нормирования значений переменных нагрузок и для оценки индексов надежности, принятых в Еврокоде. Значения индексов надежности существенно зависят от принятой предпосылки об описании переменного воздействия. Использование нормального закона распределения для описания переменных воздействий (п. С.6 EN 1990 [6]) для оценки уровней надежности противоречит современным исследованиям и не позволяет отразить адекватно реальные территориальные условия конкретной страны.

3. Применение фактических законов распределения переменного воздействия (в статье приняты фактические законы распределения снеговой нагрузки для территории Республики Беларусь) не позволяет обеспечить регламентированные параметры надежности. Попытка откалибровать значения частных коэффициентов для целевых значений индексов надежности при реальных законах распределения снеговой нагрузки приводит к численным значениям частных коэффициентов, противоречащим отечественной и мировой практике нормирования климатических нагрузок.

4. Численный анализ обеспеченности расчетных значений переменных воздействий показал, что вероятность превышения расчетных значений переменных воздействий находится на уровне  $10^{-4} \dots 10^{-5}$ . Такая вероятность применяется только при нормировании редких природ-

ных и климатических явлений или чрезвычайного (особого) значения воздействия и неприемлема для расчетных значений переменных воздействий при рассмотрении постоянных расчетных ситуаций. Кроме того, квантиль данного уровня требует существенной экстраполяции далеко за пределы наблюдаемых значений, что приводит к неопределенностям и снижает достоверность оценивания конечного результата.

5. Надежность стальных конструкций в высшей степени определяется обеспеченностью расчетного значения снеговой нагрузки (коэффициент чувствительности для снеговой нагрузки получается в диапазоне 0,8...0,9) в силу малой изменчивости параметров сопротивления стальных конструкций и, как правило, большой изменчивости переменных воздействий.

Введение европейских норм требует внимательного теоретического анализа и апробации, в частности, в тех случаях, когда при проверках предельных состояний основной вклад в изменчивость модели сопротивления вносят климатические воздействия.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. – 2001. – Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. – Date of access: 15.01.2012.
2. Sadovský, Z. Collection and analysis of climatic measurements for the assessment of snow loads on structures / Sadovský Z., Faško P., Pecho J., Bochníček O., Mikulová K., Šťastný P. // International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering. – 2007. – Vol. 14(06). – P. 17 – 22.
3. Sýkora, M. Reliability-based design of roofs exposed to a snow load / Sýkora, M., Holický, M. // In Li, J. – Zhao, Y.-G. – Chen, J. (eds.) Reliability Engineering – Proceedings of the International Workshop on Reliability Engineering and Risk Management IWRERM 2008, Shanghai, 21 – 23 August 2008. Shanghai: Tongji University Press. – 2009. – P. 183 – 188.
4. Надольский, В.В. Оценка требуемого (целевого) уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования / В.В. Надольский, Ю.С. Мартынов // Вестник ПГУ. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2014. – № 8. – С. 27 – 34.
5. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. – Введ. 01.07.08. – Минск : Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69 с.
6. Еврокод. Основы проектирования конструкций : ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.12. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. – 70 с.

7. Тур, В. В. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь / В. В. Тур, В. Е. Валуев, С. С. Дереченник, О. П. Мешик, И. С. Воскобойников // *Строительная наука и техника*. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
8. Тур, В. В. Проблемы внедрения европейской концепции надежности в области проектирования стальных конструкций / В. В. Тур, В. В. Надольский // *Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений / редкол.: С. И. Меркулов (отв. ред.) [и др.]*. – Курск : Курск. гос. ун-т. – 2014. – С. 140–148.

## REFERENCES

1. *JCSS Probabilistic Model Code* // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. – 2001. – Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. – Date of access: 15.01.2012.
2. Sadošký Z., Faško P., Pecho J., Bochníček O., Mikulová K., Šťastný P. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*. 2007. Vol. 14(06). pp. 17-22.
3. Sýkora M. *Reliability Engineering – Proceedings of the International Workshop on Reliability Engineering and Risk Management IWRERM 2008, Shanghai, 21 – 23 August 2008*. Shanghai: Tongji University Press. 2009. pp. 183-188.
4. Nadolskiy V. V., Martynov Ju. S. *Bulletin of PSU. Series F. Construction. Applied sciences*. 2014. No 8. pp. 27-34. (rus)
5. *Nadezhnost stroitelnykh konstrukciy. Obshchie principy* [General principles on reliability for structures]: STB ISO 2394-2007. Vved. 01.07.08. Minsk: Gosstandart Respubliki Belarus. 2007. 69 p. (rus)
6. *Evrokod. Osnovy proyektirovaniya konstrukciy* [Eurocode. Basis of structural design]: ТКР EN 1990-2011. Vved. 01.07.12. Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus, 2012. 70 p. (rus)
7. Tur V. V., Valuyev V. E., Derechennik S. S., Meshik O. P., Voskoboynikov I. S. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2008. No 2. pp. 27–45. (rus)
8. Tur V. V. *Problemy vnedreniya evropeyskoy koncepcii nadezhnosti v oblasti proektirovaniya stalnykh konstrukciy* [Problems of implementation of the European concept of reliability in the design of steel structures] / V. V. Tur, V. V. Nadolskiy // *Bezopasnost stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: materialy Mezhdunarodnykh akademicheskikh chteniy / redkol.: S. I. Merkulov (otv. red.) [i dr.]*. Kursk : Kursk. gos. un-t., 2014. pp. 140–148. (rus)

*Статья поступила в редколлегию 09.11.2015*