

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 624.01

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

канд. техн. наук, проф. Ю.С. МАРТЫНОВ; В.В. НАДОЛЬСКИЙ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Исследования надежности, основанные на разных вероятностных моделях, могут привести к несопоставимым результатам. Поэтому важной задачей является формирование единых подходов к назначению вероятностных моделей базисных переменных. В работе отражены современные подходы к вероятностному моделированию воздействий с акцентом на европейские тенденции. Уточнены вероятностные модели снеговой и ветровой нагрузок с учетом территориальных условий Республики Беларусь. Выполнен обзор вероятностных моделей, принятых при калибровках частных коэффициентов для Еврокодов. На основании выполненного исследования рекомендованы вероятностные модели воздействий.

Введение. Большинство параметров расчетных моделей имеют неопределенные значения вследствие погрешностей измерений, изменчивости физических явлений, недостоверных знаний о физической сущности процессов и т.д. Неопределенные параметры расчетных моделей и погрешности этих моделей принято называть базисными переменными. Наличие вероятностных моделей этих переменных позволяет выполнять вероятностный расчет строительных конструкций, поэтому точность и адекватность вероятностной модели базисной переменной оказывает доминирующее влияние на результаты расчетов.

Для описания базисной переменной в вероятностной постановке необходимо знать закон распределения и его статистические параметры. Статистические параметры базисных переменных могут изменяться по ряду причин, что требует систематических и целенаправленных исследований. Закон распределения назначается на основании экспериментальных данных, однако они часто ограничены, что не позволяет получить достоверные результаты. Особую важность при назначении закона распределения имеют теоретические предпосылки. Общие рекомендации по назначению закона распределения для базисных переменных нормативно закреплены в документах [1–3].

Вопросам изучения вероятностной природы воздействий систематически уделяется большое внимание. «В силу большого разнообразия временных нагрузок их изучение было, остается и, видимо, всегда будет считаться актуальной задачей. Следует отметить, что, несмотря на большие достижения в области строительной механики, статистические характеристики большей части временных нагрузок остаются пока неизученными» [4, с. 110].

Вероятностные модели базисных переменных, принятые в различных исследованиях, часто отличаются друг от друга. Исследования надежности, основанные на разных вероятностных моделях, могут привести к несопоставимым результатам. «Используя откалиброванные значения надежности, необходимо помнить, что они относятся к специфическому набору конструктивных и вероятностных моделей. Использование откалиброванных величин совместно с другими моделями может привести к непреднамеренному высокому или низкому уровням надежности» [3, Е.4.3]. Поэтому формирование единых подходов к назначению вероятностных моделей базисных переменных является важной задачей.

В нашей работе статистические параметры вероятностных моделей воздействий выражены через их характеристические значения, назначенные в соответствии с Еврокодами. Данное представление позволяет вычислять показатели надежности в безразмерных величинах.

Постоянные нагрузки

К постоянным нагрузкам относят собственный вес конструкций, стационарного оборудования, усилия предварительного натяжения и косвенные воздействия, обусловленные реологическими свойствами материалов и неравномерными осадками. На изменчивость нагрузки от собственного веса влияют неопределенности размеров, плотности, дополнительные нагрузки от узлов и соединений конструктивных элементов, возможные изменения в процессе реконструкции или ремонта, влияние окружающей среды и уровень контроля качества производства работ. Наиболее обоснованно можно учесть влияние неопределенности размеров и плотности.

Размеры и плотность материала являются случайными величинами и в большинстве случаев описываются нормальным, усеченным нормальным или логнормальным законами распределения [1; 3; 5]. Статистические параметры традиционных материалов хорошо изучены.

Вероятностные модели постоянной нагрузки, принятые при калибровках частных коэффициентов Еврокодов:

$$\mu_G = 1,0 G_k, V_G = 0,1 \text{ в работах [6–9];}$$

$$\mu_G = 1,05 G_k, V_G = 0,07 \text{ [10];}$$

$$\mu_G = 1,05 G_k, V_G = 0,1 \text{ [11–13].}$$

В техническом отчете SAKO [14] постоянная нагрузка была разделена на нагрузку от собственного веса (коэффициент вариации для бетона и клееной древесины принят равным 0,06, для стали – 0,02) и от других постоянных нагрузок (коэффициент вариации 0,1). Данный подход является более реалистичным и методологически более верным, чем применение одного значения коэффициента вариации.

Полезные (функциональные) нагрузки

Полезные (функциональные) нагрузки представляют собой особый вид временных нагрузок, природа которых связана с эксплуатационным (функциональным) назначением здания (помещения). Полезные нагрузки представляют собой случайную функцию (процесс), зависящую от времени и пространства.

Изучению полезной нагрузки посвящены работы отечественных (П.В. Авраменко, А.П. Булычева, Е.И. Десятника, В.Ю. Довейка, Н.Н. Складнева, Б.И. Снарскиса) и зарубежных ученых (К.А. Andam, R. Corotis, E.C.C. Choi, C. Culver, B. Ellingwood). При этом полезные нагрузки остаются наименее изученными. Основная причина – отсутствие единой методики исследования полезных нагрузок, что осложняет сопоставление и анализ существующих данных. Изучение статистических параметров полезной нагрузки осложняется также большим разнообразием видов этих нагрузок. По мнению профессора С.Ф. Пичугина, «Нужно отметить в общем отсутствие представительных статистических данных и вероятностных моделей по полезным и технологическим нагрузкам» [15, с. 21]. Данный факт вызывает большие затруднения при нормировании значений полезной нагрузки и является причиной условного подхода к выбору вероятностной модели полезной нагрузки в большинстве исследований по калибровке частных коэффициентов.

Обычно при вероятностном анализе полезную нагрузку разделяют на две составляющие: долговременную (длительную) и кратковременную. Долговременная составляющая в большей мере представляет повседневный уровень нагрузок, а кратковременная – редкие перегрузы, например, в результате скопления людей при проведении массовых мероприятий или мебели, строительных материалов во время ремонта. Исследования кратковременной составляющей полезной нагрузки практически отсутствуют [2]. Статистические параметры полезных нагрузок зависят от таких явных факторов, как эксплуатационное назначение помещения, грузовая площадь конструктивного элемента, и от более трудно выявляемых факторов (высота этажа, национальные особенности и др.). Наиболее полно изучено влияние категории помещения, грузовой площади, в меньшей степени – влияние пространственной корреляции нагрузок в одном здании, корреляционной связи между долговременной и кратковременной составляющими полезной нагрузки.

Вероятностная модель полезных нагрузок не имеет строгой зависимости от территориальных особенностей района строительства, поэтому для описания полезной нагрузки возможно использование данных, полученных для других стран. Далее представлены исследования полезной нагрузки для офисных и жилых помещений.

Статистические параметры полезной нагрузки для административных зданий исследованы П.В. Авраменко [16]. Результаты (табл. 1) основаны на обследовании рабочих помещений административных зданий в Москве. Общая площадь обследования составляла около 13 000 м². Долговременная составляющая включала нагрузки от мебели, оборудования и постоянно работающего персонала, а кратковременная – от скопления людей.

Таблица 1

Статистические параметры полезной нагрузки для помещений административных зданий

Вид нагрузки	μ , кН/м ²	σ , кН/м ²
<i>Параметры долговременной составляющей полезной нагрузки при разных грузовых площадях</i>		
Долговременная составляющая при следующих значениях A :		
$A = 36 \text{ м}^2$	0,88	0,21
$A = 6 \text{ м}^2$	0,88	0,40
$A = 3 \text{ м}^2$	0,88	0,54
<i>Параметры полезной нагрузки при грузовой площади $A = 27 \text{ м}^2$</i>		
Долговременная составляющая	0,840	0,280
Кратковременная составляющая	0,312	0,116
Полная	1,182	0,204
<i>Примечание.</i> Здесь и далее μ – среднее значение; σ – стандартное отклонение.		

По результатам статистического анализа данных обследования П.В. Авраменко приводит следующие выводы [16, с. 67], которые в общем согласуются с результатами многих авторов и моделью, предложенной в JCSS [2]:

- «длительная нагрузка зависит от грузовой площади конструктивного элемента (плиты перекрытия, ригеля и т.д.), в частности, при увеличении площади стандарт и квантили высокой обеспеченности длительной составляющей нагрузки снижаются, а гистограммы распределения длительной составляющей нагрузки становятся более компактными и симметричными»;

- «средние статистические значения длительной нагрузки не зависят от площади». Отметим, что данные, представленные в работе [17], свидетельствуют о противоположном;

- «между длительной и кратковременной составляющей нагрузки существует отрицательная корреляционная связь (коэффициент корреляции $r = -0,65$)»;

- «статистические распределения коэффициентов эквивалентности нагрузки k зависят от грузовой площади конструктивного элемента, в частности, среднее значение коэффициента эквивалентности нагрузки по поперечной силе и стандарты коэффициентов эквивалентности нагрузки по моменту и поперечной силе при увеличении площади снижаются»;

- «среднее значения коэффициента эквивалентности нагрузки по моменту не зависит от площади».

В работе В.Ю. Довейка, Б.И. Снарскиса [18] представлены статистические характеристики полезной нагрузки, полученные по результатам обследования помещений жилых домов Каунаса (табл. 2).

Таблица 2

Статистические параметры полезной нагрузки для жилых помещений

Вид нагрузки для жилого помещения	μ , кН/м ²	σ , кН/м ²
Максимальная всей квартиры	0,818	0,222
Максимальная для одной комнаты	0,970	0,254
От мебели	0,304	0,088

Обширные статистические параметры полезной нагрузки для офисных зданий представлены в работе К.А. Andam [17] (табл. 3). Данные результаты получены на основании обследования офисных помещений общей площадью 21 360 м² (средняя площадь помещения 20 м²), расположенных в столице Республики Гана. Следует отметить один из полученных в этом исследовании результатов: максимальные значения долговременной составляющей полезной нагрузки проявляются на первом этаже [17, с. 213].

Таблица 3

Статистические параметры полезной нагрузки для офисных помещений

Площадь помещения, м ²	Общая площадь, м ²	μ , кН/м ²	σ , кН/м ²
$A \leq 10$	710,6	0,441	0,273
$10 < A \leq 20$	7845,9	0,330	0,183
$20 < A \leq 50$	11630,8	0,291	0,194
$50 < A \leq 80$	810,4	0,406	0,176
$A > 80$	362,3	0,425	0,95
Весь диапазон	21360	0,324	0,200

Примечание. Значения включают нагрузку от постоянно работающего персонала.

Результаты обследования офисных помещений общей площадью 144 136 м² в Сиднее (Австралия) представлены Е.С.С. Choi в работе [19]. Среднее значение долговременной составляющей полезной нагрузки $\mu = 0,518$ кН/м², а стандартное отклонение определяется по формуле: $\sigma^2 = 0,133 + 0,798 k / A$, где k – коэффициент, зависящий от формы функции влияния, A – грузовая площадь. По результатам статистического анализа данных обследования Е.С.С. Choi приводит следующие выводы [19, с. 312]:

- «Кратковременная составляющая полезной нагрузки является доминирующей для помещений небольшой площади»;

- «Долговременная составляющая полезной нагрузки имеет сильную связь с назначением помещений»;

- «...редкие ситуации свойственны определенным типам помещений»;

- «Помещения с большой долговременной составляющей полезной нагрузки, как правило, имеют маленькую кратковременную составляющую и наоборот»;

- «В общем существует тенденция к уменьшению общей полезной нагрузки с увеличением площади... Однако для определенных категорий помещений данная тенденция отсутствует».

Расхождения в статистических параметрах кратковременной полезной нагрузки, представленных в работах [20] и [21], подтверждают трудность изучения данной составляющей.

Таблица 4

Статистические параметры кратковременной составляющей полезной нагрузки для офисных зданий

Вид кратковременной составляющей	μ , кН/м ²	σ , кН/м ²	Источник
Нагрузка от перестановки оборудования, мебели	0,41	0,48	[20]
	0,0015	0,016	[21]
Нагрузка от скопления людей на собраниях и т.д.	0,49	0,44	[20]
	0,14	0,59	[21]
Нагрузка от скопления людей в чрезвычайных ситуациях	1,24	1,11	[20]
	0,08	0,49	[21]

Наиболее часто при анализе надежности строительных конструкций для периода отнесения 50 лет используется распределение Гумбеля со средним значением $\mu = 0,6 Q_k$ и коэффициентом вариации $V = 0,35$ [7–9; 11; 12]. Данная модель принята как для офисных помещений согласно рекомендациям JCSS [2].

Погрешность модели. Во многих работах эквивалентная полезная нагрузка определялась на основании теоретических коэффициентов грузовой площади и осредненной по площади нагрузки. Для анализа погрешности модели полезной нагрузки практическое значение имеет работа П.В. Авраменко [16], в которой представлены статистические параметры не только эквивалентной по площади нагрузки, но и эквивалентной нагрузки по усилиям в элементах и опорным реакциям. Средние статистические значения и коэффициенты вариации для коэффициента эквивалентности нагрузки (погрешность модели полезной нагрузки) по моменту составили 0,94 и 0,11, по поперечной силе – 1,1 и 0,06 [16, табл. 1]. При анализе надежности строительных конструкций погрешность модели полезной нагрузки, как правило, не учитывается или принимается согласно рекомендациям JCSS [2] со следующими параметрами: $\mu = 1$, $V = 0,01$.

Снеговая нагрузка

Для описания вероятностной модели снеговой нагрузки необходимы статистические параметры снеговой нагрузки на поверхности земли и статистические параметры погрешности модели, коэффициентов «перехода» от нагрузки на поверхности земли к снеговой нагрузке на покрытии. Коэффициенты «перехода» учитывают: форму кровли; ссыпание снега с наклонных поверхностей; перенос снега, приводящий к неравномерным отложениям по поверхности покрытия и к сносу некоторой части выпавшего снега с покрытия; таяние снега на тепловыделяющих покрытиях отапливаемых зданий.

Для снеговой нагрузки на поверхности земли 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. Статистические параметры снеговой нагрузки на поверхности земли по своей природе переменны, что требует систематических и целенаправленных исследований по их уточнению. Как правило, объемы эмпирических рядов снеговой нагрузки довольно ограничены и составляют 40...60 значений, что вносит некоторую погрешность в результат оценивания. Актуальные значения статистических параметров снеговой нагрузки (табл. 5), установленные для территории Республики Беларусь, представлены в работах [5; 22].

Таблица 5

Статистические параметры эмпирических рядов годовых максимумов снеговой нагрузки на поверхности земли

Метеостанция	$S_{\text{кПа}}$	F/S_k	V
Гродно	1,6	0,279	0,691
Ляда	1,4	0,391	0,539
Новогрудок	1,8	0,43	0,55
Витебск	1,8	0,441	0,44
Верхнедвинск	1,6	0,387	0,543
Езерыше	1,6	0,429	0,429
Лынтупы	1,8	0,468	0,513
Могилев	1,6	0,419	0,495
Горки	1,8	0,44	0,462
Костоковичи	1,6	0,41	0,5
Минск	1,6	0,463	0,486
Борисов	1,6	0,454	0,464
М. Горка	1,4	0,384	0,558
Брест	1,2	0,291	0,653
Барановичи	1,6	0,346	0,514
Пинск	1,4	0,291	0,717
Пружаны	1,4	0,388	0,619
Высокое	1,6	0,433	0,595
Ивацевичи	1,6	0,374	0,538
Ганцевичи	1,6	0,384	0,605
Житковичи	1,4	0,348	0,559
Гомель	1,6	0,318	0,625
Василевичи	1,4	0,374	0,571
Вилейка	1,6	0,383	0,525
Шарковщина	1,6	0,345	0,538
Лепель	1,6	0,409	0,523
Полоцк	1,6	0,425	0,494

Для аппроксимации снеговой нагрузки наиболее широко используются первое предельное распределение Гумбеля, логнормальное распределение и распределение Вейбулла. Результаты многочисленных исследований [23] свидетельствуют о возможности описания эмпирических рядов годовых максимумов снеговой нагрузки для климатических условий, близких к Республике Беларусь, двойным экспоненциальным законом распределения Гумбеля. Следует отметить, что для нормирования характеристических значений снеговой нагрузки для территории Республики Беларусь используются три типа распределений: Гумбеля, Вейбулла и Фреше (для оценивания «хвостовой» части распределения). Данное распределение позволяет получить более обоснованные характеристические значения снеговой нагрузки. Однако для анализа надежности конструкций, характеризуемой очень малыми значениями вероятностей, более безопасным является использование закона Гумбеля, что согласуется со сложившейся практикой и современными тенденциями вероятностного описания снеговой нагрузки в рамках концепции надежности, принятой в Еврокодах [1].

Статистические параметры распределения Гумбеля для различных периодов определяются по следующим формулам:

$$\mu_{S,T} = \mu_{S,1} [1 + 0,78 \ln(T) V_{S,1}]; \quad (1)$$

$$\sigma_{S,T} = \sigma_{S,1}. \quad (2)$$

Статистические параметры снеговой нагрузки на поверхности земли для периода отнесения 50 лет, принятые в работах по калибровке частных коэффициентов Еврокодов:

$$\mu_S = S_k, V_S = 0,22 [6];$$

$$\mu_S = 0,7 \text{ кПа}, V_S = 0,3 [10];$$

$$\mu_S = 1,11 S_k, V_S = 0,27 [24];$$

$$\mu_S = 1,11 S_k, V_S = 0,33 [25].$$

Во всех работах принято распределение Гумбеля.

Погрешность модели. Как правило, погрешность модели снеговой нагрузки определяется изменчивостью коэффициентов «перехода». Статистические параметры коэффициентов «перехода» от нагрузки на поверхности земли к снеговой нагрузке на покрытии недостаточно изучены. В большинстве работ вероятностные модели коэффициентов «перехода» принимаются согласно рекомендациям JCSS [2]. Вероятностные модели снеговой нагрузки для периода отнесения 50 лет с учетом условий Республики Беларусь представлены в таблице 6.

Таблица 6

Рекомендованные вероятностные модели снеговой нагрузки

Переменная	Распределение	μ_X / S_k	V_X
Снеговая нагрузка на поверхности земли по районам:	I	0,87	0,22
	II	1,01	0,21
	III	1,02	0,20
	IV	1,10	0,20
Обобщенная (усредненная) модель снеговой нагрузки на поверхности земли		1,02...1,04	0,20...0,21
Ошибка модели снеговой нагрузки	Логнормальное	1,00	0,1...0,15

Ветровое воздействие

Для описания вероятностной модели ветрового воздействия необходимы:

- статистические характеристики базовой скорости ветра;
- базового скоростного напора ветра;
- коэффициентов «перехода» от базовой скорости ветра к ветровому профилю;
- коэффициентов «перехода» от скорости ветра к ветровому воздействию (давлению, силам) на сооружение;
- погрешности моделей определения эффектов ветрового воздействия (статическая, динамическая реакция сооружений).

Параметры вероятностной модели ветрового воздействия для территории Республики Беларусь, представленные в таблице 7, приняты на основании рекомендаций JCSS [2] с использованием актуальных статистических данных о скорости ветра [5; 26].

Таблица 7

Рекомендованные вероятностные модели ветрового воздействия

Переменная	Распределение	μ_X / S_k	V_X
Скоростной напор	Гумбеля	1,00...1,04	0,13...0,15
Погрешность модели ветрового воздействия	Логнормальное	0,7...0,8	0,28...0,3
Ветровое воздействие (с учетом погрешности моделирования)	Гумбеля	0,7...0,8	0,31...0,34

Статистические параметры ветрового воздействия для периода отнесения 50 лет, принятые в работах по калибровкам частных коэффициентов Еврокодов:

$$\mu_W = 0,7 W_k, V_W = 0,35 [7; 8; 11];$$

$$\mu_W = 0,9 W_k, V_W = 0,34 [13];$$

$$\mu_W = 1 \text{ кПа}, V_W = 0,3 [10];$$

$$\mu_W = 0,7 W_k, V_W = 0,33 [24].$$

Заключение. Современный уровень развития науки в строительной области дает возможность проектировать конструкции с заданными параметрами надежности. Эта возможность реализуется посредством вероятностных методов расчета и методов теории надежности. Использование вероятностных методов позволяет принимать оптимальные решения как с позиций надежности, так и с позиций экономических затрат. Благодаря гибкости расчетных методик, позволяющих учитывать изменения условий эксплуатации конструкций или предъявляемых к ним требований, вероятностные методы расчета открывают обширные возможности при оценке несущей способности существующих конструкций. Наравне с детерминированными расчетами необходимо регламентирование вероятностных расчетов. Исходными данными для вероятностных расчетов служит информация о базисных переменных.

В рамках данной работы осуществлена попытка разработки единых вероятностных моделей воздействий с учетом территориальных особенностей Республики Беларусь, которые могут быть приняты в качестве подосновы при отсутствии более достоверных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еврокод. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2011. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2012. – 70 с.
2. 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.
3. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. – Введ. 01.07.2008. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2007. – 69 с.
4. Лычев, А.С. Надежность строительных конструкций: учеб. пособие / А.С. Лычев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.
5. Марковский, Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учётом заданных показателей надёжности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Д.М. Марковский; Брестский гос. техн. ун-т. – Брест, 2009. – 24 с.
6. Sýkora, M. Reliability-based design of roofs exposed to a snow load / M. Sýkora, M. Holicky // 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.
7. Safety of Structures. An independent technical expert review of partial factors for actions and load combinations in EN 1990 «Basis of Structural Design»: BRE Client Report № 210297 [Electronic resource] / Building Research Establishment. – 2003. – Mode of access: <http://www.europeanconcrete.eu>. – Date of access: 10.05.2011.
8. Marková, J. Calibration of partial factors for design of concrete structures / J. Marková, M. Holicky // In Faber, M.H. – Köhler, J. – Nishijima, K. (eds.), Proceedings of 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering ICASP11, 1–4 August, 2011, ETH Zurich, Switzerland. Leiden (The Netherlands): Taylor & Francis/Balkema, 2011. – P. 986–990.
9. Holicky, M. Calibration of Reliability Elements for a Column / M. Holicky, J. Markova // Workshop on Reliability Based Code Calibration: Press Release, Zurich, March 21–22, 2002 [Electronic resource] / Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich). – 2002. – Mode of access: http://www.jcss.ethz.ch/events/WS_2002-03/WS_2002-03.html. – Date of access: 08.07.2011.

10. Vrouwenvelder, A.C.W.M. Probabilistic calibration procedure for the derivation of partial safety factors for the Netherlands building codes / A.C.W.M. Vrouwenvelder, A.J.M. Siemes // Delft University of Technology. – 1987. – HERON, 32 (4) – P. 9–29.
11. Holicki, M. Reliability assessment of alternative Eurocode and South African load combination schemes for structural design / M. Holicki, J. Retief // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. – 2005. – Vol. 47, № 1. – P. 15–20.
12. Retief, J.V. Reliability basis for adopting Eurocodes as South African standards / J.V. Retief, C. Barnardo, M. Dithinde // In Faber M.H., Köhler J., Nishijima K. (eds.), Proceedings of 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering ICASP11, 1–4 August, 2011, ETH Zurich, Switzerland. Leiden (The Netherlands): Taylor & Francis/Balkema, 2011. – P. 999–1007.
13. Beck, A.T. A first attempt towards reliability-based calibration of Brazilian Structural Design codes / A.T. Beck, Jr. Souza // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. – 2010. – Vol. XXXII, № 2. – P. 119–127.
14. SAKO. Joint Committee of NKB and INSTA-B. NKB Report: 1999:01 E, Basis of Design of Structures. Proposals for modification of Partial Safety Factors in Eurocodes.
15. Пичугин, С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий: моногр. / С.Ф. Пичугин. – Полтава: Изд-во «АСМІ», 2009. – 452 с.
16. Авраменко, П.В. Временные нагрузки на перекрытия многоэтажных административных зданий / П.В. Авраменко // Строительная механика и расчет сооружений. – 1980. – № 1. – С. 67–71.
17. Andam, K.A. Floor live loads for office buildings / K.A. Andam // Building and Environment. – 1986. – Vol. 21, № 3/4 – P. 211–219.
18. Довейка, В.Ю. Статистические характеристики полезной нагрузки на перекрытия жилых домов / В.Ю. Довейка, Б.И. Снарскис // Вопросы надежности железобетонных конструкций. – Куйбышев, 1973. – С. 107–110.
19. Choi, E.C.C. Live load in office buildings. Lifetime maximum load and the influence of room use / E.C.C. Choi // Proc. Instn Civ. Engrs Structs & Bldgs. – 1992. – Vol. 94, № 3, Aug. – P. 307–314.
20. Corotis, R. Probabilistic Load Duration Model for Live Loads / R. Corotis, W. Tsay // J. Struct. Eng. – 1983. – Vol. 109, № 4. – P. 859–874.
21. Choi, E.C.C. Extraordinary Live Load in Office Buildings / E.C.C. Choi // J. Struct. Eng. – 1991. – Vol. 117, № 11. – P. 3216–3227.
22. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь / В.В. Тур [и др.] // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
23. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев [и др.]; под общ. ред. А.В. Перельмутера. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 с.
24. Sýkora, M. Reliability Analysis of a Steel Frame / M. Sýkora; In: Acta Polytechnica. – 2002. – № 4, Vol. 42. – Prague: Vydavatelství ČVUT, Czech Republic. – P. 27–34.
25. Králik, J. Comparison of Probabilistic Methods to Solve the Reliability of Structures in ANSYS / J. Králik // In Proceedings of conference ANSYS. – P. 63–70 (8 p). TechSoft Engineering & SVS FEM, Pilsner, Czech Republic, September 23–25, 2009.
26. Черноиван, А.В. Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Черноиван; Брестский гос. техн. ун-т. – Брест, 2012. – 24 с.

Поступила 08.09.2014

PROBABILISTIC MODELING OF ACTION FOR CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Y. MARTYNOV, V. NADOLSKI

Studies of reliability based on different probability models can lead to uncomparable results. Therefore, an important task is to develop common approaches to define probabilistic models of basic variables. The modern approach to probabilistic modeling of action with an emphasis on European trends is shown in the article. Probabilistic models snow and wind loads taking into account the territorial conditions of the Republic of Belarus are clarified. A review of probabilistic models adopted in the calibration of partial coefficients for the Eurocodes was performed. The probabilistic model of action are recommended based on the investigations.