

УДК 624.014.2/ 624.046.5

ТУР В.В., НАДОЛЬСКИЙ В.В.

КАЛИБРОВКА ЗНАЧЕНИЙ ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ. ЧАСТЬ 1

Цель работы состояла в определении научно обоснованных значений частных коэффициентов норм проектирования стальных конструкций, учитывающих целевые значения уровней конструкционной надежности. Объектом исследования являются стальные элементы. Методы исследования: математическое моделирование, численно – аналитические методы, параметрический и графический анализ. Согласно концепции надежности, сформулированной в ISO 2394 и EN 1990, введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование конструктивных элементов следует выполнять на основе нормируемых целевых значений уровней надежности. Это вызвало необходимость выполнить калибровку значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций, основанную на условии обеспечения целевого уровня надежности. Статья состоит из двух частей. Первая часть посвящена обоснованию вероятностных моделей базисных переменных, входящих в функции состояния стальных элементов. Вторая часть отражает результаты калибровки частных коэффициентов, обеспечивающих достижение целевого уровня надежности.

Ключевые слова: надежность, стальная конструкция, функция состояния, вероятностная модель, вероятностный расчет, погрешность модели, отказ, калибровка, индекс надежности, базисная переменная.

Введение

Концепция надежности при проектировании строительных конструкций в рамках действующих норм базируется на методе предельных состояний. В соответствии с EN 1990 [1] под предельными состояниями понимают: «состояния, после наступления которых конструкция перестает удовлетворять предъявляемым к ней проектным критериям»¹. Проектирование в рамках данного метода основано на проверке предельных состояний с обеспечением приемлемой (целевой) вероятности отказа конструкций. Следует обратить внимание, что довольно часто метод предельных состояний не вполне корректно называют методом частных коэффициентов, который является одним из методов проверок предельных состояний. Действующий стандарт EN 1990 [1] устанавливает следующие методы проверок предельных состояний:

- вероятностный метод;
- полувероятностный метод, определяемый как метод частных коэффициентов;
- проектирование подкрепленное испытанием.

В рамках вероятностного метода, проверки предельных состояний выполняют прямым сравнением рассчитанной вероятности отказа для рассматриваемого предельного состояния с заданным целевым значением, назначенным с учетом базового периода времени для которого выполняется оценивание. Использование этих методов расчета позволяет принимать оптимальные решения на стадии проектирования 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 широкие возможности при оценке существующих конструкций.

¹states beyond which the structure no longer fulfils the relevant design criteria (1.5.2.12EN 1990 [1])

Вместе с тем использование полностью вероятностных расчетов в проектировании сдерживается из-за сложности их реализации. Поэтому в практике проектирования широкое распространение получил метод частных коэффициентов (полувероятностный метод), в котором изменчивость и неопределенность расчетных моделей и базисных переменных, входящих в расчетные модели, учитывают посредством системы частных коэффициентов, применяемых к характеристическим значениям базисных переменных. Согласно 6.1(1)P EN 1990 [1] основное (базовое) требование метода частных коэффициентов: «...во всех соответствующих расчетных ситуациях ни одно из значимых предельных состояний не будет превышено, если в расчетных моделях приняты расчетные значения воздействий или эффектов воздействий и сопротивлений»². Таким образом, в рамках метода частных коэффициентов, значения базисных переменных устанавливаются с учетом статистической изменчивости (характеристические значения переменных), а проверки предельных состояний сводятся к проверкам детерминистических неравенств.

Система частных коэффициентов представляет собой один из инструментов дифференциации и обеспечения целевых уровней конструкционной надежности, поэтому обоснование их значений с учетом конкретных географических, социальных, экономических условий является первостепенной задачей для каждого государства.

Настоящее исследование посвящено обоснованию значений частных коэффициентов для проверок предельных состояний несущей способности стальных конструкций для условий Республики Беларусь.

1 Основные принципы назначения частных коэффициентов

Значения частных коэффициентов определяют следующими способами:

- экспертной оценкой;
- на основании анализа соответствия с многолетним опытом и строительными традициями;
- статистическими методами, исходя из требуемой обеспеченности расчетных значений базисных переменных;
- калибровкой с применением вероятностных методов, исходя из целевого (требуемого) уровня надежности.

Наиболее прогрессивным, позволяющим учесть фактические условия эксплуатации конструкций и предъявляемые к ним требования, а также установить научно обоснованные значения частных коэффициентов является подход, основанный на применении вероятностных методов. В современных нормативных документах Европейского союза, США, Канады и других стран значения частных коэффициентов приняты по результатам калибровок вероятностными методами [2-6].

Основная задача при определении значений частных коэффициентов вероятностным методом заключается в обеспечении требуемого уровня надежности. Следующим логическим этапом в регламентировании значений частных коэффициентов является калибровка системы частных коэффициентов, которая представляет собой задачу оптимизации норм. Откалиброванные частные коэффициенты должны обеспечивать уровни надежности наиболее характерных конструкций как можно ближе к целевым уровням надежности независимо от применяемых материалов, преобладающих воздействий, условий окружающей среды, при этом номенклатура значений частных коэффициентов ограничивается.

Общие рекомендации по калибровке нормативно закреплены в ISO 2394 [7], EN 1990 [1] и нашли отражения в проекте вероятностных норм JCSS [8]. Процедура калибровки частных коэффициентов описана в работах [4,5,9-11].

Калибровка значений частных коэффициентов в общем случае основана на построении вероятностной функции состояния $g(X)$ и последующем расчете одним из методов теории надежности условной вероятности превышения предельного состояния. Для проверки пре-

²it shall be verified that, in all relevant design situations, no relevant limit state is exceeded when design values for actions or effects of actions and resistances are used in the design models(6.1(1)P EN 1990[1])

дельных состояний несущей способности стальных элементов функция состояния $g(\mathbf{X})$, характеризующая запас прочности конструктивного элемента, может быть записана в общем виде:

$$g(\mathbf{X}) = R - E = K_R z f_y - K_E [G + C_{0,Q1} Q_1 + C_{0,Q2} Q_2] \quad (1)$$

где K_R – базисная переменная, описывающая погрешность расчетной модели сопротивления;

z – базисная переменная, описывающая геометрическую характеристику поперечного сечения элемента (площадь, момент сопротивления);

f_y – базисная переменная, описывающая предел текучести стали;

K_E – базисная переменная, описывающая погрешность расчетной модели эффекта воздействия;

G – базисная переменная, описывающая постоянное воздействие;

$C_{0,Qi}$ – базисная переменная, описывающая неопределенность (погрешность) модели i -ого воздействия;

Q_i – базисная переменная, описывающая i -ое переменное воздействие.

При наличии вероятностных моделей базисных переменных \mathbf{X} методами теории надежности определяют вероятность отказа за базовый период времени. Рассчитанные значения вероятности отказа сравнивают с целевым уровнем надежности. При неудовлетворительном результате устанавливают новый набор значений частных коэффициентов и повторяют расчет до момента достижения целевого уровня надежности.

2 Целевые значения вероятности отказа (нормируемые уровни надежности)

При применении вероятностного метода для определения значений частных коэффициентов особое место занимает проблема обоснования требуемых уровней надежности. Безусловно, наиболее достоверные количественные оценки уровней конструкционной надежности могли бы быть установлены на основании анализа опыта аварий конструкций. Однако статистика аварий не является настолько массовой, чтобы на ее основе можно было решить эту проблему. Как отмечал Г. Шпете «...сроки службы сооружений очень велики; даже если и можно сделать приемлемые выводы на основе статистики повреждений, эти выводы появятся тогда, когда они, в лучшем случае, будут иметь исторический интерес» [12]. В связи с этим широкое применение получил другой подход, в рамках которого на базе статистических исследований базисных переменных составляются вероятностные условия безотказной работы конструкций, в результате анализа которых получают численные оценки уровней надежности, такие как оперативная вероятность отказа (далее – вероятность отказа) или индекс надежности. В концепции принятых подходов вероятность отказа является некоторым условным показателем и не характеризует фактическую частоту наступления аварий строительных конструкций, но она широко используется, главным образом, для сравнения уровней надежности конструктивных систем.

Согласно концепции конструкционной надежности, сформулированной в международных [7] и европейских [1] нормах, введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование конструктивных элементов следует выполнять на основе нормируемых целевых значений уровней надежности, выраженных в значениях допустимых индексов надежности β (вероятностей отказа p_f). При этом исследования по оценке целевых значений уровней конструкционной надежности, в том числе и для существующих конструкций, с учетом национальных особенностей являются актуальными.

3 Обоснование вероятностных моделей базисных переменных

Исходными данными для вероятностного расчета является информация о базисных переменных, используемых в функциях состояния, поэтому точность и адекватность вероятностных моделей переменных оказывают доминирующее влияние на результаты расчета. Это обстоятельство предопределяет необходимость системных исследований статистических показателей базисных переменных и формирования единых принципов их назначения.

Особое место занимает вопрос установления закона распределения вероятностей для базисной переменной. Обычно закон распределения устанавливается на основании статистического анализа доступных экспериментальных данных. В строительной отрасли наличие экспериментальных данных ограничено, что не позволяет получить статистически достоверные результаты. Поэтому часто при выборе закона распределения используют теоретические предположения. Следует отметить, что существует общая проблема использования в теории надежности любого из законов распределения случайных величин в области весьма малых значений вероятностей, т.е. за пределами области, в которой экспериментально обосновывалась применимость закона распределения и определялись его параметры. Общие рекомендации по выбору законов распределения для базисных переменных нормативно закреплены в документах [1, 7, 8].

Вероятностные модели базисных переменных, принятые в различных исследованиях, очень часто отличаются друг от друга. Исследования надежности, основанные на разных вероятностных моделях, могут привести к различным результатам и как следствие к различным значениям частных коэффициентов, комбинационных коэффициентов и других параметров, обеспечивающих достижение целевых уровней надежности. Важно учитывать, что откалиброванные значения параметров надежности, относятся к специфическому набору вероятностных моделей базисных переменных, включенных в модели сопротивлений и эффектов воздействий. Как отмечено в СТБ ISO 2394 [7] *“Использование откалиброванных величин совместно с другими моделями может привести к непреднамеренному высокому или низкому уровням надежности”*.

Особый вид базисной переменной представляет суммарный эффект нескольких воздействий. В данной статье данные вопросы не рассматриваются.

4 Базисные переменные, входящие в модели сопротивления сальных конструкций

4.1 Прочностные характеристики стали

Источниками изменчивости статистических показателей прочностных и деформационных свойств стали являются вариации химического состава, различия технологий изготовления, методов контроля качества, процедур испытаний, объем выборок и др. Для полноценного и адекватного уточнения (корректировки) фактических законов распределения прочностных и деформационных свойств стали необходимы актуальные экспериментальные данные для различных марок стали, различных видов и толщин проката. Такие работы требуют привлечения широкого круга научных и производственных организаций. Проведение таких исследований на территории Республики Беларусь осложняется тем, что стальной прокат в основном поставляется зарубежными производителями. В сложившейся ситуации представляется целесообразным оценить статистические показатели характеристик свойств сталей с учетом изменчивости свойств проката для различных условий его поставки на основании результатов современных исследований, выполненных за рубежом. Для реализации этой задачи в работе [13] обобщены результаты исследований изменчивости предела текучести, выполненных в разные времена для разных стран [14-21]. Рекомендовано использовать среднее значение отношения фактического значения предела текучести к характеристическому (μ_{fy}/f_y) равным 1.10-1.20, а коэффициент вариации $V = 0.05-0.08$ [13]. Для определения частных коэффициентов рекомендуется статистические показатели распределения предела текучести принимать в диапазоне равновероятных значений.

Для сравнения приведены статистические параметры предела текучести, принятые в различных работах по калибровке частных коэффициентов:

- без учета изменчивости геометрических характеристик: $\mu_{fy}/f_y = 1.19, V = 0.08$ [22]; $\mu_{fy}/f_y = 1.27, V = 0.057$ [23];
- с учетом изменчивости геометрических характеристик: $\mu_R/X_k = 1.25, V = 0.1$ [24]; $\mu_R = R_k e^{2VR}, V = 0.08$ [25]; $\mu_R/X_k = 1.18, V = 0.15$ [26]; $\mu_R/X_k = 1.18, V = 0.08$ [9]; $\mu_R = R_k + 2\sigma, V = 0.08$ [27].

Для вероятностного описания предела текучести наиболее часто используют нормальный и логнормальный закон распределения [9,10,22-25]. Выбор нормального закона распределения обычно обосновывается тем, что свойства стали зависят от суммарного действия неза-

висимых случайных величин, ни одна из которых не оказывает превалирующего влияния. Тогда, согласно предельным теоремам теории вероятности, функция распределения вероятностей предела текучести можно принять нормальным. Следует обратить внимание, что данная предпосылка справедлива для первоначальной генеральной совокупности, однако, из-за процедуры контроля качества стали, отбраковывающего низкосортную сталь, как правило, имеет место отклонение от нормального закона [16]. После процедуры контроля, как правило, распределение становятся усеченными с одной стороны или двухвершинными (появление распределения на т.н. «тяжелых хвостах» распределения).

4.2 Геометрические характеристики поперечного сечения

Допуски геометрических размеров, регламентированные в стандартах на прокат, изготовление и монтаж стальных конструкций служат подосновой при составлении вероятностной модели их отклонений. При этом фактические статистические параметры распределения геометрических размеров поперечных сечений необходимо определять непосредственными измерениями размеров. Учитывая то обстоятельство, что стальной прокат в основном поставляется зарубежными производителями, в качестве первого приближения рекомендовано среднее значение отношения фактического значения геометрических характеристик наиболее распространенного сечения (прокатного двутаврового) к его характеристическому значению $0.99 \dots 1.03$, коэффициент вариации $0.01 \dots 0.03$ [13].

Часто для вероятностных расчетов геометрические характеристики принимают как детерминированные или учитывают их изменчивость в других базисных переменных. В ряде работ изменчивость геометрических характеристик учитывалась введением отдельной базисной переменной:

$\mu_x/X_n = 1.025$, $V = 0.032$ – для площади прокатного двутаврового сечения ИРЕ 140 [23];

$\mu_x/X_n = 1.0$, $V = 0.04$ – для площади, момента сопротивления, момента инерции прокатных профилей [4];

$\mu_x/X_n = 1.0$, $V = 0.03$ – для момента инерции [27].

4.3 Погрешность модели сопротивления

В общем случае эта погрешность обусловлена неточностями, возникающими как результат принятых предпосылок, допущений и идеализаций при формулировании математической модели сопротивления.

Следует отметить недостаточную освещенность в научной литературе проблемы вероятностного описания погрешности расчетных моделей. Анализ показывает, что при вероятностных расчетах в ряде случаев игнорируется погрешность моделирования либо данные погрешности учитываются довольно условно. Это положение приводит к тому, что результаты исследований по уточнению моделей сопротивления не находят отражения при нормировании частных коэффициентов и свидетельствует о приравнивании всех моделей сопротивления к одному уровню с точки зрения их точности.

Обобщение статистических характеристик погрешности моделирования сопротивления осложняется постоянным совершенствованием расчетных моделей. Однако при незначительных различиях моделей сопротивления в качестве приближения можно использовать статистические параметры погрешностей моделей, принятых в других нормативных документах. При этом, как правило, для моделей *сопротивления сечений* их можно использовать в качестве достоверной оценки, для моделей *сопротивления элементов* изгибу и центральному сжатию при проверках устойчивости – в качестве приближенной оценки. Для других моделей сопротивления, как правило, необходимо непосредственное исследование погрешности на основании обработки экспериментальных данных.

Примечание: под термином *модели сопротивления сечения* подразумеваются те модели сопротивления, которые связаны только с параметрами конкретного расчетного сечения (например, проверки сечения изгибаемого элемента по нормальным напряжениям), а под термином *модели сопротивления элемента* – связанные с размерами сечения и параметрами элемента (например, проверки устойчивости центрально сжатого элемента).

При вероятностных расчетах наиболее часто ссылаются на JCSS [8], представлены значения статистических параметров только для модели сопротивления изгибу ($\mu = 1$, $V = 0.05$),

сдвигу ($\mu = 1$, $V = 0.05$) и для модели сопротивления сварных ($\mu = 1.15$, $V = 0.15$) и болтовых ($\mu = 1.25$, $V = 0.15$) соединений. Интерес представляют результаты исследований погрешности моделей сопротивления стальных элементов, обобщенные в работе [28].

5 Базисные переменные моделей воздействий и эффектов воздействий

5.1 Постоянные нагрузки

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

Размеры и объемный вес материала являются случайными величинами и в большинстве случаев описываются нормальным, усеченным нормальным или логнормальным законами распределения [1,7,11]. Статистические параметры традиционных материалов хорошо изучены.

Ниже представлены вероятностные модели постоянной нагрузки, принятые при калибровках частных коэффициентов, включенных в Еврокоды: $\mu_G = 1.0 G_k$, $V_G = 0.1$ в работах [25, 29]; $\mu_G = 1.05 G_k$, $V_G = 0.07$ [4]; $\mu_G = 1.05 G_k$, $V_G = 0.1$ [6, 26].

В техническом отчете SAKO [30] постоянная нагрузка была разделена на собственный вес конструктивных элементов (коэффициент вариации для бетона и клееной древесины принят равным 0.06, для стали – 0.02) и составляющую от других элементов, таких как конструкция пола, оборудования и т.д. (коэффициент вариации 0.1). Данный подход является более реалистичным и методологически более верным, чем применение одного значения коэффициента вариации.

5.2 Функциональные нагрузки

Вероятностная модель функциональных (часто называемых полезными) нагрузок не имеет строгой зависимости от территориальных особенностей района строительства, поэтому возможно использовать общепринятые модели. В большинстве работ [6, 31, 32, 33] для вероятностного описания модели функциональных нагрузок используют статистические параметры, опубликованные в проекте вероятностных норм JCSS [8]. Следует отметить, что эти модели согласуются с результатами исследований, опубликованных в 80-х годах проф. Снарским, Райзером, Булычевым и др. [34-36].

Погрешность модели функционального воздействия. Во многих работах эквивалентную функциональную нагрузку определяли на основании теоретических коэффициентов грузовой площади и осредненной по площади нагрузки. Для анализа погрешности модели функциональной нагрузки практическое значение имеет работа П.В. Авраменко [37], 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 функциональной нагрузки) по моменту составили 0.94 и 0.11, по поперечной силе 1.1 и 0.06 [37, таблица 1]. При анализе надежности строительных конструкций погрешность модели полезной нагрузки, как правило, не учитывается или принимается согласно рекомендациям JCSS [8] со следующими параметрами: $\mu = 1$, $V = 0.1$.

5.3 Снеговая нагрузка

Для снеговой нагрузки на поверхности земли достаточно точной и наиболее распространенной является вероятностная модель последовательности годовых максимумов снеговой нагрузки [34, 38]. 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 погрешность в результат оценивания ограниченных выборок.

Актуальные значения статистических параметров снеговой нагрузки, установленные для территории Республики Беларусь, представлены в работах [11, 39].

Для аппроксимации годовых максимумов снеговой нагрузки наиболее широко используются первое предельное распределение Гумбеля, логнормальное и распределение Вейбулла. Следует отметить, что для нормирования характеристических значений снеговой нагрузки (для оценивания «хвостовой» части распределения) для территории Республики Беларусь используются три типа распределений – Гумбеля, Вейбулла и Фреше. Использование данных разделений позволило получить более обоснованные характеристические значения снеговой нагрузки. Однако для анализа надежности конструкций, характеризуемой очень малыми значениями вероятностей, более предпочтительным является использование закона Гумбеля, что согласуется со сложившейся практикой и современными тенденциями вероятностного описания снеговой нагрузки в рамках концепции надежности, принятой в Еврокодах [1]. Следует отметить, что в новой редакции Национального приложения к ТКП ЕН 1991-1-3 нормирование характеристических значений снеговой нагрузки на грунт выполнено с применением метода порядковых статистик. Такой подход позволил с одной стороны более точно определить положение эстиматора квантили в условиях ограниченных выборок, но лишил специалистов, занимающихся теорией надежности конструкций информации как о типе распределения, так и о величинах статистических параметров (в рамках этого метода не требуется установления закона распределения и его статистических параметров).

Ниже приведены статистические параметры снеговой нагрузки на поверхности земли для периода отнесения 50 лет, принятые в работах по калибровке частных коэффициентов для Еврокодов: $\mu_S = S_k$, $V_S = 0.22$ [25]; $\mu_S = 0.7$ кПа, $V_S = 0.3$ [4]; $\mu_S = 1.11 S_k$, $V_S = 0.27$ [22]; $\mu_S = 1.11 S_k$, $V_S = 0.33$ [40]. Во всех работах принято распределение Гумбеля.

Погрешность модели снеговой нагрузки. Как правило, погрешность модели снеговой нагрузки определяется изменчивостью коэффициентов «перехода» от нагрузки на поверхности земли к снеговой нагрузке на покрытии. При этом статистические параметры коэффициентов «перехода» недостаточно изучены. В большинстве работ вероятностные модели коэффициентов «перехода» принимаются согласно рекомендациям JCSS [8].

5.4 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).

Значения статистических параметров базовой скорости ветра для территории Республики Беларусь приняты на основании работ [11, 41]. Погрешность модели ветрового воздействия принята согласно рекомендациям JCSS [8].

Ниже приведены статистические параметры ветрового воздействия для периода отнесения 50 лет, принятые в работах по калибровке частных коэффициентов Еврокодов: $\mu_W = 0.7 W_k$, $V_W = 0.35$ [6, 42, 43]; $\mu_W = 0.9 W_k$, $V_W = 0.34$ [26]; $\mu_W = 1$ кПа, $V_W = 0.3$ [4]; $\mu_W = 0.7 W_k$, $V_W = 0.33$ [22].

5.5 Погрешность модели эффекта воздействия

Погрешность модели эффекта воздействия учитывает неточности в определении эффекта воздействия (внутренних усилий) возникающие из-за идеализации геометрии, условий опирания (граничных условий), упрощений, принятых при определении усилий и т.д. Данная погрешность описывается случайной переменной K_R , статистические параметры которой приняты из JCSS [8].

В таблице 1 представлены вероятностные модели базисных переменных, входящих в расчетные модели сопротивлений и эффектов воздействий при проектировании стальных конструкций, на основании которых были выполнены исследования целевых значений индекса надежности и получены значения частных коэффициентов.

Таблица 1 – Вероятностные модели базисных переменных для условий Республики Беларусь

Базисные переменные	Распределение	μ/X_k	V
Сопротивление стального элемента	Логнормальное	1.1 – 1.2	0.05 – 0.08
Погрешность модели сопротивления	Логнормальное	1.0 – 1.15	0.05 – 0.10
Собственный вес	Нормальное	1.0	0.03 – 0.06
Постоянная нагрузка	Нормальное	1.0 – 1.05	0.07 – 0.10
Функциональная нагрузка	Гумбеля	0.45 – 0.6	0.35 – 0.40
Погрешность модели функциональной нагрузки	Нормальное	1.0	0.10
Снеговая нагрузка	Гумбеля	0.9 – 1.1	0.19 – 0.23
Погрешность модели снеговой нагрузки	Нормальное	1.0	0.15
Ветровая нагрузка	Гумбеля	1.0 – 1.1	0.17 – 0.20
Погрешность модели ветрового воздействия	Нормальное	0.8	0.30
Погрешность модели эффектов воздействия	Логнормальное	1.0	0.10

μ – среднее значение; V – коэффициент вариации, X_k – характеристическое значение.

Заключение

В работе обоснованы вероятностные модели базисных переменных, входящих в модели сопротивления стальных элементов. Уточнены статистические показатели базисных переменных, входящих в модели эффектов воздействий с учетом территориальных особенностей Республики Беларусь.

Обоснованные вероятностные модели сопротивления и эффектов воздействий позволили определить значения частных коэффициентов для расчетных моделей стальных конструкций. Дальнейший анализ показал, что использование полученных калибровкой значений частных коэффициентов приводит к обеспеченности расчетного значения переменного воздействия, близкой к обеспеченности особых воздействий. Выходом из этой ситуации является пересмотр численных значений уровней конструкционной надежности при сохранении общей концепции надежности. Это вызвало необходимость выполнить оценку уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования.

Получены численные значения уровней надежности стальных конструкций на основании предыдущего опыта нормирования применительно к условиям Республики Беларусь. При проверках предельных состояний несущей способности стальных элементов среднего класса надежности (жилые, офисные здания и т. д.) минимальное значение вероятности отказа для периода отнесения 50 лет рекомендуется назначать $p_f = 10^{-2}$ для принятых вероятностных моделей базисных переменных.

Установлены численные значения частных коэффициентов метода предельных состояний в полувероятностной постановке, применяемые в расчетных моделях сопротивлений и эффектов воздействий при проектировании стальных конструкций, полученные для целевых уровней надежности при установленных значениях изменчивости базисных переменных.

Полученные результаты могут быть применены при разработке положений нормативных документов, касающихся обеспечения надежности конструкций, а также позволяют выполнять вероятностные расчеты стальных конструкций. Подтверждена необходимость проведения дальнейших систематических исследований изменчивости базисных переменных и формирования единых принципов их назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN 1990 Eurocode: Basis of structural design – Brussels: European Committee for Standardization, 2002.
2. Allen, D.E. Limit States Design – A Probabilistic Study [Text] / D. E. Allen // Canadian Journal of Civil Engineering. – 1975. – Vol. 2, № 1. – P. 36-49.
3. Ellingwood, B. Probability based load criteria: load factors and load combinations [Text] / B. Ellingwood, G. MacGregor, T.V. Galambos, A. Cornell // ASCE, Journal of Structural Division. – 1982. – Vol. 108, № 5. – P. 978-997.
4. Vrouwenvelder, A.C.W.M. Probabilistic calibration procedure for the derivation of partial safety factors for the Netherlands building codes [Text] / A.C.W.M. Vrouwenvelder, A.J.M. Siemes // Delft University of Technology. – 1987. – Vol. 32 (4). – P.9-29.
5. Sorensen, J.D. Calibration of partial safety factors for Danish structural codes [Text] / J.D. Sorensen, S.O. Hansen, T. Arnbjerg Nielsen // Proc. IABSE Conf. Safety, risk and reliability—trends in engineering. – Zurich, 2001. – P. 179–184.
6. Holicky, M. Reliability assessment of alternative Eurocode and South African load combination schemes for structural design [Text] / M. Holicky, J. Retief // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. – 2005. – Vol. 47, № 1. – P. 15–20.
7. ISO 2394-2007. Надежность строительных конструкций. Общие принципы. – Введ. 01.07.2008. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69с.
8. 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.
9. Sýkora, M. Comparison of load combination models for probabilistic calibrations [Text] / M. Sýkora, M. Holicky // 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. 977-985.
10. Gulvanessian, H. Reliability based calibration of Eurocodes considering a steel member [Text] / H. Gulvanessian, M. Holicky // 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.
11. Марковский Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учетом заданных показателей надёжности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Д.М. Марковский; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2009. – 24с.
12. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций. Москва: Стройиздат. – 1994 г. – 288 с.
13. Мартынов, Ю.С. Статистические параметры базисных переменных, входящих в модели сопротивления стального элемента [Текст] / Ю.С. Мартынов, В.В. Надольский // Архитектура и строительные науки. – 2014. – № 1, 2(18, 19). – С. 39-41
14. Byfield, M.P. Steel design and reliability using Eurocode 3. PhD thesis, University of Nottingham. 1996
15. Simões da Silva, L. Statistical evaluation of the lateral-torsional buckling resistance of steel I-beams, Part 2: Variability of steel properties [Text] / L. Simões da Silva, C. Rebelo, D. Nethercot, L. Marques, R. Simões, P.M.M. Vila Real // Journal of Constructional Steel Research. – 2009. – № 4(65). – P. 832-849.
16. Melcher, J. Design characteristics of structural steels based on statistical analysis of metallurgical products [Text] / J. Melcher, Z. Kala, M. Holicky, M. Fajkus, L. Rozlivka // Journal of Constructional Steel Research. – 2004. Vol. 60, № 3–5, – P. 795-808.
17. Kala, Z. D. Comparison of Material Characteristics of Austrian and Czech Structural Steels [Text] / Z. Kala, J. Melcher, D. Novák // International Journal of Materials and Structural Reliability. – 2005. – № 1(3). – P. 43-50.
18. Балдин, В.А. Обеспеченность нормативных и расчетных сопротивлений малоуглеродистой стали для строительных металлоконструкций [Текст] / В.А. Балдин, М.Р. Урицкий // Пром. стр-во. – 1978. – № 6. – С. 19-21.
19. Уваров, Б.Ю. Статистическое исследование свойств и обоснование расчетных сопротивлений низколегированных сталей для строительных металлических конструкций [Текст]: Автореф. дис... канд. техн. наук/ МИСИ.-М., 1970. – 16с.
20. Урицкий, М.Р. Исследование обеспеченности нормативных и расчетных сопротивлений малоуглеродистой стали для строительных конструкций [Текст]: Автореф. дис... канд. техн. наук/ ЦНИИСК.- М., 1975. – 19с.
21. Ведяков, И.И. Современные принципы нормирования качества материалов и стальных конструкций [Текст] / Ведяков И.И. // Строительная механика и расчет сооружений. – 2007. – № 2. – С. 62-64.
22. Sýkora, M. Reliability Analysis of a Steel Frame [Text] / M. Sýkora // In: Acta Polytechnica, Vydavatelství ČVUT, Prague, Czech Republic. – 2002. – а 4(42). – P. 27-34
23. Kala, Z. Influence of partial safety factors on design reliability of steel structures – probability and fuzzy probability assessments [Text] / Z. Kala // Journal of civil engineering and management. – 2007. – № 4(XIII). – P. 291–296
24. Holicky, M. Safety design of lightweight roofs exposed to snow loads [Text] / M. Holicky // Engineering Sciences. – 2007. – № 58. – P. 51–57
25. Sýkora, M. Reliability-based design of roofs exposed to a snow load [Text] / 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.
26. Beck, A.T. A first attempt towards reliability-based calibration of Brazilian Structural Design codes [Text] / A.T. Beck, Jr. Souza // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. – 2010. – № 2(XXXII). – P. 119-127
27. Honfi, D. Reliability of beams according to Eurocodes in serviceability limit state [Text] / D. Honfi, A. Mårtensson, S. Thelandersson // Engineering Structures. – 2012. – Vol. 35. – P. 48-54

28. Nadolski, V. Uncertainty in Resistance Models for Steel Members [Text] / V. Nadolski, M. Sýkora // In: Transactions of the VSB - Technical University of Ostrava. Construction Series. –2014. – Vol.14 –P. 26–37.
29. Holicky, M. Calibration of Reliability Elements for a Column [Text] / 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.
30. 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
31. Gulvanessian H. and Holicky M.. Eurocodes: using reliability analysis to combine action effects. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings Vol. 158, No. August 2005, Issue SB4, Pages 243–252.
32. Тур, В.В. Калибровка значений коэффициентов сочетаний для воздействий при расчетах железобетонных конструкций в постоянных и особых расчетных ситуациях [Текст] / В.В. Тур, Д.М. Марковский // Строительная наука и техника. –2009. –№ 2 (23). –С. 32–48.
33. Марковский, Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учетом заданных показателей надёжности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Д.М. Марковский; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2009. – 24с.
34. Гордеев, В.Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения [Текст] / В.Н. Гордеев [и др.] ; под общ. ред. А.В. Перельмутера. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2007. –482 с.
35. Райзер, В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций [Текст]. – М.: Стройиздат, 1986.-192с.
36. Бульчев, А.П. Временные нагрузки на несущие конструкции зданий торговли [Текст] / А.П. Бульчев [и др.] // Строительная механика и расчет сооружений. – 1989. – № 3. – С. 57-59.
37. Авраменко П.В. Временные нагрузки на перекрытия многоэтажных административных зданий [Текст] / П.В. Авраменко // Строит.механика и расчет сооружений.- 1980. №1. - С. 67-71.
38. Holicky, M. & Sýkora, M. Conventional probabilistic models for calibration of codes. In M.H. Faber, J. Köhler & K. Nishijima (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. 969-976.
39. Тур, В.В. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь [Текст] / В.В.Тур, В.Е. Валуев, С.С. Дереченник, О.П. Мешик, И.С. Воскобойников // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
40. Králik, J. Comparison of Probabilistic Methods to Solve the Reliability of Structures in ANSYS [Text] / J. Králik // In Proceedings of conference ANSYS. pp 63-70 (8 p). TechSoftEngineering&SVSFEM, Pilsner, Czech Republic, September 23 - 25, 2009. ISBN 978-80-254-5437-4
41. Черноиван, А.В. Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Черноиван; Брестский государственный технический университет. – Брест, 2012. – 24с.
42. 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.europanconcrete.eu>. –Date of access : 10.05.2011.
43. Marková, J. Calibration of partial factors for design of concrete structures [Text] / 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.

Тур Виктор Владимирович

Брестский государственный технический университет, Республика Беларусь, г. Брест

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии бетона и строительных материалов»

E-mail: vytur@bstu.by.

Надольский Виталий Валерьевич

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь, г. Минск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции»

E-mail: Nadolskivv@mail.ru

V. TUR, V. NADOLSKI

**THE PARTIAL FACTOR VALUES CALIBRATION FOR
THE ULTIMATE LIMIT STATE CHECKING OF STEEL STRUCTURES
FOR THE CONDITIONS REPUBLIC OF BELARUS. PART 1**

The aim of the study is to determine science-based values of the partial factors for design of steel structures, taking into account the specified values of reliability levels. The object of the study is steel structural elements. Methods: mathematical modeling, numerical and analytical methods, parametric and graphic analysis. According to the reliability concept of building structures adopted in the standard

ISO 2394, EN 1990, in the Republic of Belarus the target reliability levels for designed structures are set. It caused a necessity to calibrate the partial factors of steel structures based on the target reliability level using probabilistic methods. The article consists of two parts. The first part is devoted to the justification of the probabilistic models of basic variables included in the function of the limit state of the steel members. The second part reflects the results of the calibration of partial factors ensuring the achievement of the target reliability level.

Keywords: *reliability, steel structure, function of the (limit) state, the probability model, a probabilistic calculation, the reference period, model uncertainty, failure, calibration, reliability index, basic variable.*

BIBLIOGRAPHY

1. EN 1990 Eurocode: Basis of structural design – Brussels: European Committee for Standardization, 2002.
2. Allen, D.E. Limit States Design – A Probabilistic Study [Text] / D. E. Allen // Canadian Journal of Civil Engineering. – 1975. – Vol. 2, № 1.–P. 36-49.
3. Ellingwood, B. Probability based load criteria: load factors and load combinations [Text] / B. Ellingwood, G. MacGregor, T.V. Galambos, A. Cornell // ASCE, Journal of Structural Division. – 1982. – Vol. 108, № 5. – P. 978-997.
4. Vrouwenvelder, A.C.W.M. Probabilistic calibration procedure for the derivation of partial safety factors for the Netherlands building codes [Text] / A.C.W.M. Vrouwenvelder, A.J.M. Siemes // Delft University of Technology. – 1987. – Vol. 32 (4). – P.9-29.
5. Sorensen, J.D. Calibration of partial safety factors for Danish structural codes [Text] / J.D. Sorensen, S.O. Hansen, T. Arnbjerg Nielsen // Proc. IABSE Conf. Safety, risk and reliability—trends in engineering. – Zurich, 2001. - P. 179–184.
6. Holicky, M. Reliability assessment of alternative Eurocode and South African load combination schemes for structural design [Text] / M. Holicky, J. Retief // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. – 2005. – Vol. 47, № 1. – P. 15–20.
7. ISO 2394-2007. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksiy. Obshchiye printsipy. – Vved. 01.07.2008. –Minsk: Gosstandart Respubliki Belarus', 2007. – 69s.
8. JCSS Probabilistic Model Code //Joint Committee of Structural Safety[Electronic resource]. –2001. –Mode of access: <http://www.icss.ethz.ch>. –Date of access: 15.01.2012.
9. Sýkora, M. Comparison of load combination models for probabilistic calibrations [Text] /M. Sýkora, M. Holicky// 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. 977-985.
10. Gulvanessian, H. Reliability based calibration of Eurocodes considering a steel member [Text] / H.Gulvanessian, M. Holicky // 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.icss.ethz.ch/events/WS_2002-03/WS_2002-03.html. –Date of access : 08.07.2011.
11. Markovskiy D.M. Kalibrovka znacheniy parametrov bezopasnosti zhelezobetonnykh konstruksiy s uchotom zdannykh pokazateley nadozhnosti [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / D.M. Markov-skiy; Brestskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiv universitet. – Brest, 2009. – 24s.
12. Shpete, G. Nadozhnost' nesushchikh stroitel'nykh konstruksiy. Moskva: Strovizdat.– 1994 g. – 288 s.
13. Martynov, YU.S. Statisticheskive parametry bazisnykh peremennykh, vkhodvashchikh v modeli soprotiv-leniva stal'nogo elementa [Tekst] / YU.S. Martynov, V.V. Nadol'skiy // Arkhitektura i stroitel'nyye nauki. – 2014. – № 1, 2(18, 19). – S. 39-41
14. Byfield, M.P. Steel design and reliability using Eurocode 3. PhD thesis, University of Nottingham. 1996
15. Simões da Silva, L.Statistical evaluation of the lateral–torsional buckling resistance of steel I-beams. Part 2: Variability of steel properties [Text] / L. Simões da Silva, C. Rebelo, D. Nethercot, L. Marques, R. Simões, P.M.M. Vila Real//Journal of Constructional Steel Research. – 2009. –№4(65). –P.832-849.
16. Melcher, J. Design characteristics of structural steels based on statistical analysis of metallurgical products [Text] / J.Melcher, Z.Kala, M.Holicky, M.Fajkus, L.Rozlivka// Journal of Constructional Steel Research. –2004. Vol. 60, № 3–5,– P.795-808.
17. Kala, Z. D. Comparison of Material Characteristics of Austrian and Czech Structural Steels [Text] /Z.Kala, J.Melcher, D.Novák // International Journal of Materials and Structural Reliability. –2005. – № 1(3). – P. 43-50.
18. Baldin, V.A. Obespechennost' normativnykh i raschetnykh soprotivleniy malouglerodisty stali dlya stroitel'nykh metallokonstruksiy [Tekst] / V.A. Baldin, M.R. Uritskiy // Prom. str-vo. – 1978. – №6. –S.19-21.
19. Uvarov, B.YU. Statisticheskove issledovaniye svoystv i obosnovaniye raschetnykh soprotivleniy nizkolegirovannykh staley dlya stroitel'nykh metallicheskih konstruksiy [Tekst]: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk/ MISI.-M., 1970. – 16s.
20. Uritskiy, M.R. Issledovaniye obespechennosti normativnykh i raschetnykh soprotivleniy malouglerodisty stali dlya stroitel'nykh konstruksiy [Tekst]: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk/ TSNIISK.-M.,1975. - 19s.
21. Vedyakov, I.I. Sovremennyye printsipy normirovaniya kachestva materialov i stal'nykh konstruksiy [Tekst] / Vedyakov I.I. //Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 2007. – №2. – S. 62-64.
22. Sýkora, M. Reliability Analysis of a Steel Frame [Text] /M. Sýkora // In: ActaPolytechnica, Vydavatelství ČVUT, Prague, Czech Republic. – 2002. –a 4(42). – P. 27-34
23. Kala, Z. Influence of partial safety factors on design reliability of steel structures – probability and fuzzy probability assessments [Text] /Z. Kala// Journal of civil engineering and management. –2007. –№ 4(XIII). –P.291–296
24. Holicky, M. Safety design of lightweight roofs exposed to snow loads [Text] / M.Holicky // Engineering Sciences. –2007. –№58. –P. 51–57

25. Sýkora, M. Reliability-based design of roofs exposed to a snow load [Text] / M. Sýkora, M. Holický // 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.
26. Beck, A.T. A first attempt towards reliability-based calibration of Brazilian Structural Design codes [Text] / A.T. Beck, Jr. Souza // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. –2010. –№2(XXXII). –P. 119-127
27. Honfi, D. Reliability of beams according to Eurocodes in serviceability limit state [Text] / D. Honfi, A. Mårtensson, S. Thelandersson // Engineering Structures. – 2012. –Vol.35. –P.48-54
28. Nadolski, V. Uncertainty in Resistance Models for Steel Members [Text] / V. Nadolski, M. Sýkora // In: Transactions of the VSB - Technical University of Ostrava. Construction Series. –2014. – Vol.14 –P. 26–37.
29. Holický, M. Calibration of Reliability Elements for a Column [Text] / M. Holický, J. Marková // 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.icss.ethz.ch/events/WS_2002-03/WS_2002-03.html. –Date of access : 08.07.2011.
30. 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
31. Gulvanessian H. and Holický M.. Eurocodes: using reliability analysis to combine action effects. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings Vol. 158, No. August 2005, Issue SB4, Pages 243–252.
32. Tur, V.V. Kalibrovka znacheniy koefitsiyentov sochetaniy dlya vozdevstviy pri raschetakh zhelezobetonnykh konstruksiy v postovannykh i osobnykh raschetnykh situatsiyakh [Tekst] / V.V. Tur, D.M. Markovskiy // Stroitel'naya nauka i tekhnika. –2009. –№ 2 (23). –S. 32–48.
33. Markovskiy, D.M. Kalibrovka znacheniy parametrov bezopasnosti zhelezobetonnykh konstruksiy s uchotom zdannykh pokazateley nadozhnosti [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / D.M. Markovskiy; Brestskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. – Brest, 2009. – 24s.
34. Gordeyev, V.N. Nagruzki i vozdevstviya na zdaniya i sooruzheniya [Tekst] / V.N. Gordeyev [i dr.] ; pod obshch. red. A.V. Perel'mutera. – Moskva : Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2007. –482 s.
35. Ravzer, V.D. Metody teorii nadezhnosti v zadachakh normirovaniya raschetnykh parametrov stroitel'nykh konstruksiy [Tekst]. – M.: Stroyizdat, 1986. –192s.
36. Bulychev, A.P. Vremennyye nagruzki na nesushchiye konstruksii zdaniy torgovli [Tekst] / A.P. Bulychev [i dr.] // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. – 1989. – № 3. – S. 57-59.
37. Avramenko P.V. Vremennyye nagruzki na perekrytiya mnogoetazhnykh administrativnykh zdaniy [Tekst] / P.V. Avramenko // Stroitel'mekhanika i raschet sooruzheniy. – 1980. №1. – S. 67-71.
38. Holický, M. & Sýkora, M. Conventional probabilistic models for calibration of codes. In M.H. Faber, J. Köhler & K. Nishijima (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. 969-976.
39. Tur, V.V. Normirovaniye snegovykh nagruzok dlya territorii Respubliki Belarus' [Tekst] / V.V. Tur, V.Ye. Valuyev, S.S. Derechennik, O.P. Meshik, I.S. Voskobonnikov // Stroitel'naya nauka i tekhnika. – 2008. – № 2. – S. 27–45.
40. Králik, J. Comparison of Probabilistic Methods to Solve the Reliability of Structures in ANSYS [Text] / J. Králik // In Proceedings of conference ANSYS. pp 63-70 (8 p). TechSoft Engineering & SVSFEM, Pilsner, Czech Republic, September 23 - 25, 2009. ISBN 978-80-254-5437-4
41. Chernoiyan, A.V. Normirovaniye vetrovov nagruzki na zdaniya i sooruzheniya dlya klimaticheskikh usloviy Respubliki Belarus' [Tekst]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / A.V. Chernoiyan; Brestskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. – Brest, 2012. – 24s.
42. 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.
43. Marková, J. Calibration of partial factors for design of concrete structures [Text] / J. Marková, M. Holický // 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.

V. Tur

Brest State Technical University, Republic of Belarus, Brest

Doctor of Tech. Sciences, professor, Head of the Department "Technology of concrete and building materials"

E-mail: vytur@bstu.by.

V. Nadolski

Belarusian National Technical University (BNTU), Republic of Belarus, Minsk

Candidate of Tech. Sciences, associated professor, Department of "Metal and Timber Structures"

E-mail: Nadolskiyv@mail.ru