

УДК 624.046.5/624.014

**ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОГО (ЦЕЛЕВОГО) УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ
НА ОСНОВАНИИ ПРЕДЫДУЩЕГО ОПЫТА НОРМИРОВАНИЯ****В.В. НАДОЛЬСКИЙ; канд. техн. наук, проф. Ю.С. МАРТЫНОВ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)**

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. Особое внимание уделено альтернативному варианту определения значения индекса надёжности на основании предыдущего опыта нормирования применительно к условиям Республики Беларусь. Выполнен анализ индекса надёжности, обеспечиваемого отечественной системой нормативных документов по проектированию стальных 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 конструкций из других материалов.

Введение. Статистика аварий строительных конструкций не является настолько массовой, чтобы можно было получить на ее основе вероятностные параметры надёжности конструкций. В связи с этим широкое применение получил подход, когда на основании статистических исследований базисных переменных составляются вероятностные условия безотказной работы конструкций, из анализа которых получают оценки надёжности, такие как вероятность отказа или индекс надёжности.

Вероятность отказа не является фактическим показателем частоты наступления аварий строительных конструкций, но широко используется для сопоставления расчетных положений при рассмотрении разных комбинации нагрузок, различных материалов, различных видов отказов, типов конструкций и, в конечном счете, для относительного сравнения надёжности конструктивных решений. Эта величина связана с теоретической моделью, принятыми предпосылками (например, о типах распределений базисных переменных) и не может быть отделена от них. Вероятности отказа могут быть сопоставимы между собой только в том случае, если они найдены для моделей со сравнимыми предпосылками.

В нормах СССР не регламентировалась величина вероятности отказа. Поэтому при использовании в расчетах частных коэффициентов, полученных исходя только из установленной обеспеченности расчетного значения базисной переменной, конструкции имели разный уровень надёжности. В связи с этим профессор В.Д. Райзер, один из основных разработчиков ГОСТ 27751 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету», отмечает: «Невозможно найти сколь-нибудь разумного объяснения тому, что надёжность сооружений одного и того же назначения, выполненных из различных материалов, запроектированных по действующим нормам, оказывается различной» [1, с. 27]. Следует отметить, что советскими учеными были выполнены значительные исследования по проблеме надёжности в строительстве, в том числе были получены численные значения 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) принимались значения вероятности отказа $10^{-4} \dots 10^{-2}$, однако при этом, как правило, не уточнялся базовый период рассмотрения [2; 3].

Согласно концепции надёжности строительных конструкций, сформулированной в международных и европейских нормах СТБ ISO 2394 [4], ТКП EN 1990 [5], введенных в действие на территории Республики Беларусь, проектирование конструктивных элементов следует выполнять на основе нормируемых целевых показателей надёжности, выраженных в значениях допустимых вероятностей отказа p_f или индексов надёжности β . Такой подход обеспечивает равнонадежность строительных конструкций. В ТКП EN 1990 [5] представлены целевые значения индекса надёжности для различных классов надёжности зданий и видов предельных состояний. Так, при расчетах по предельным состояниям несущей способности требуемое значения индекса надёжности принято равным 4,7 для периода эксплуатации 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. Это требование распространяется на конструктивные элементы среднего класса надёжности (жилые, офисные здания) для всех стран Европы, в которых проектирование конструкций осуществляется на основе Еврокодов. Однако индексы надёжности не относятся к параметрам, устанавливаемым на национальном уровне (NDP).

Технико-экономический анализ проектных решений, реализованных на основе ТНПА Республики Беларусь и Еврокодов прямого введения, свидетельствует о существенном повышении материалоемко-

сти стальных конструкции при использовании указанных индексов надежности. По мнению многих специалистов, они носят завышенный характер по сравнению с существующими в настоящее время в ряде стран Европы, США, Канаде. В связи с этим представляется целесообразным исследовать и уточнить их значения с учетом экономических и социальных особенностей, опыта проектирования, изготовления, возведения и эксплуатации зданий и сооружений в Беларуси.

Существует большое количество предложений по оценке требуемого (достаточного¹) 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. Ниже рассмотрены основные способы получения целевых значений индекса надежности. Особое внимание уделено альтернативному варианту определения значения индекса надежности на основании предыдущего опыта нормирования применительно к условиям Республики Беларусь.

Способы оценки (определения) требуемого уровня надежности

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. Довольно обширные данные по частотам наступления несчастных случаев представлены в литературе (например, в [6; 7]).

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). Наглядным примером использования данного метода являются работы А.Я. Дривинга, который в 70-е годы разработал вероятностно-экономический метод расчета строительных конструкций с чисто экономическими последствиями отказа [8; 9]. Метод, предложенный А.Я. Дривингом, прошел первую апробацию в нормах проектирования тепличного строительства [8], допущен к применению в ряде случаев при проектировании стальных конструкций [10]. 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. Наиболее прогрессивные положения данного способа отражены в работах J.S. Nathwani, N.C. Lind, R. Rackwitz, M.D. Pandey [11–13].

На основании результатов, полученных с помощью экономической оптимизации затрат, сделан важный вывод о том, что: «...при увеличении вероятности отказа по сравнению с оптимальным значением полные ожидаемые затраты растут гораздо быстрее, чем при уменьшении этой величины, т.е. избыток надежности стоит меньше недостатка надежности» [14, с. 48].

На основании анализа экономических показателей Республики Беларусь профессором В.В. Туром подтверждена возможность использования параметров надежности, регламентированных в Еврокоде [15].

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 надежности. Частые отказы, причины которых не были связаны с нарушением нормативных требований к проектированию, изготовлению и эксплуатации, свидетельствовали о недостаточной надежности.

Профессор В.Д. Райзер, основываясь на высказываниях Б.В. Гнеденко, Б.А. Козлова и И.А. Ушакова, отмечает: «... при определении расчетных параметров несущих конструкций наряду с применением методов теории надежности ... решение принимается на основании интуиции специалистов, подкрепленной анализом существующего уровня качественных характеристик изделия. Конечно, здесь имеют место постоянные ошибки, однако в общем процессе развития техники происходит такой «естественный отбор», в результате которого слишком неправильно запроектированные изделия «вымирают». Таким образом осуществляется формулирование целесообразных норм многих характеристик, в том числе и характеристик надежности» [16, с. 3].

¹ 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.

Аналогичные суждения высказаны А.Я. Дривигом: «...нормативные значения нагрузок, свойств материала и система частных коэффициентов надежности обеспечивает определенный уровень надежности конструкций, достаточность которого подтверждается практикой проектирования и строительства» [8, с. 8].

Таким образом, оценка уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования и проектирования является альтернативным вариантом оценки целевого значения вероятности отказа (индекса надежности). По такому пути пошли многие страны в процессе нормирования параметров надежности, в том числе и страны Евросоюза (например, Нидерланды [17], Дания [18], Великобритания [19]). В процессе составления Еврокодов была принята предпосылка о том, чтобы индекс надежности не отличался существенно от значений, обеспечиваемых действующими в то время национальными нормами. С этой целью рабочая группа Международной ассоциации по проектированию мостов и конструкций (IABSE – International Association for Bridge and Structural Engineering) определила индексы надежности исходя из предыдущего опыта нормирования ряда стран. Обобщенные результаты этого исследования представлены в статье Т. Vrouwenvelder [20] (табл. 1).

Таблица 1

Значения вероятности отказа,
обеспечиваемые национальными и международными нормами ряда стран [20]

Страны	Вероятность в год
Аргентина	$1,4 \cdot 10^{-3} \dots 1,0 \cdot 10^{-7}$
Канада	$1,4 \cdot 10^{-3} \dots 5,4 \cdot 10^{-6}$
Китай	$1,4 \cdot 10^{-3} \dots 3,2 \cdot 10^{-5}$
Дания	$1,6 \cdot 10^{-4} \dots 2,1 \cdot 10^{-6}$
Эстония	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Германия	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Голландия	$2,3 \cdot 10^{-4} \dots 3,2 \cdot 10^{-5}$
Южная Африка	$4,8 \cdot 10^{-4} \dots 7,9 \cdot 10^{-7}$
Испания	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Швеция	$1,6 \cdot 10^{-4} \dots 1,3 \cdot 10^{-6}$
Великобритания	$7,9 \cdot 10^{-7}$
США	$2,3 \cdot 10^{-4} \dots 4,8 \cdot 10^{-5}$

При разработке Еврокода EN 1990 [5] имели место острые дискуссии о возможности принятия уровней надежности (значений индексов надежности, вероятности отказа) каждой страной самостоятельно, т.е. о придании индексу надежности статуса «национально устанавливаемый параметр» (NDP). В принятой редакции Еврокода установлены единые уровни надежности для всех стран-членов Евросоюза.

При определении уровня надежности на основании сложившейся практики проектирования и нормирования следует учитывать следующую особенность. На фактическую надежность кроме регламентированного уровня надежности (уровень надежности, который можно предполагать теоретически обеспеченным системой нормативных документов) влияют и традиции проектирования. Анализ отечественного и зарубежного опыта проектирования показывает, что помимо различий в расчетных положениях (которые, как показывает анализ, являются в большинстве случаев незначительными) наблюдаются отличия в традиционно используемых видах конструкций, особенностях конструирования элементов, соединений и принимаемых идеализаций работы строительных конструкций под нагрузкой. Данные особенности зачастую скрывают значительные непроектные (не учитываемые при проектировании) резервы несущей способности, которые на данный момент трудно или практически невозможно оценить.

Особенно резко это проявляется при проектировании узлов сопряжения. В отечественной практике проектирования многие виды отказов исключались или ограничивались конструктивными мерами, что существенно упрощало их расчет. Еврокоды предусматривают возможность выполнить более точные расчеты, учитывающие напряженно-деформированное состояние каждого компонента узлового сопряжения. Данная ситуация обуславливает использование решений, не характерных отечественной практике. Заимствование таких конструктивных решений без должного расчетного обоснования может привести к отказам.

Описанная ситуация свидетельствует о том, что 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 ре-

зультаты, полученные из анализа уровней надежности на основании предыдущего опыта нормирования, должны рассматриваться в совокупности с оценками, полученными другими способами.

Анализ уровня надежности на основании предыдущего опыта нормирования при проектировании стальных конструкций на территории Республики Беларусь

Большинство нормативных документов преследуют цель – «достижение приемлемой вероятности отказа конструкций» при их проектировании. В общем случае данное условие можно записать в виде

$$P_f = P(g(\mathbf{X}) < 0) \leq p_b \quad (1)$$

где P_f – вероятность наступления предельного состояния; $g(\mathbf{X})$ – функция состояния, показывающая, что для конкретных реализаций значений вектора базисных переменных $\mathbf{X}$ конструктивный элемент пребывает в работоспособном состоянии при $g(x) \geq 0$ либо в состоянии отказа при $g(x) < 0$; p_b – целевое значение максимально допустимой вероятности отказа.

Функция состояния для предельного состояния несущей способности представлена в следующем виде:

$$g(\mathbf{X}) = K_R Z R_y - K_E [G + C_{0,Q1} Q_1(t) + C_{0,Q2} Q_2(t)]. \quad (2)$$

Здесь K_R – случайная переменная, характеризующая погрешность расчетной модели сопротивления; Z – геометрическая характеристика поперечного сечения элемента (площадь, момент сопротивления); R_y – случайная переменная, характеризующая прочность материала (предел текучести стали); K_E – случайная переменная, характеризующая погрешность расчетной модели эффекта воздействия; G – случайная переменная, характеризующая усилие от постоянного воздействия; $C_{0,Qi}$ – не зависящая от времени переменная, характеризующая погрешность модели i -го воздействия; $Q_i(t)$ – случайная переменная, характеризующая усилие от i -го переменного воздействия.

При наличии вероятностных моделей случайных переменных можно определить вероятность отказа за базовый период времени. По своей сути информация о базисных переменных представляет собой исходные данные для вероятностного расчета [6]. Следовательно, точность и адекватность вероятностной модели базисной переменной оказывает существенное влияние на результаты расчетов. Это требует, прежде всего, точного и достоверного определения статистических параметров распределения базисных переменных. В качестве первого приближения вероятностные модели базисных переменных для условий Беларуси приняты в соответствии с рекомендациями JCSS [21]. Вероятностные модели ветровой и снеговой нагрузок представлены с учетом актуальных исследований для территории Республики Беларусь [22–24]. Значения статистических параметров нагрузок существенно зависят от территориальных особенностей конкретного региона страны, например коэффициент вариации годовых максимумов снеговой нагрузки изменяется в пределах от 0,44 (для Витебска) до 0,72 (для Пинска) для всей территории Республики Беларусь [22]. Поэтому они представлены в интервальных значениях, а остальные параметры приняты усредненными. Статистические параметры функций распределения базисных переменных выражены через их нормативные значения, определенные согласно СНиП [25]. Все вероятностные модели, используемые для расчетов, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вероятностные модели базисных переменных

Переменная	Распределение	μ_X	V_X
Постоянная нагрузка	Нормальное	$(1,0 \dots 1,05)G_n$	0,07...0,10
Полезная нагрузка (50 лет)	Гумбеля	$(0,5 \dots 0,8)Q_n$	0,35...0,40
Погрешность модели полезной нагрузки	Нормальное	1,00	0,10
Снеговая нагрузка (50 лет)	Гумбеля	$(1,1 \dots 1,4)S_n$	0,19...0,21
Погрешность модели снеговой нагрузки	Нормальное	1,00	0,15
Ветровое воздействие (1 год)	Гумбеля	$(0,8 \dots 0,9)W_n$	0,22...0,27
Ветровое воздействие (50 лет)	Гумбеля	$(1,4 \dots 1,6)W_n$	0,14...0,17
Погрешность модели ветрового воздействия	Нормальное	0,80	0,30
Предел текучести	Логнормальное	$1,18R_{yn}$	0,08
Погрешность модели сопротивления обобщенного стального элемента	Логнормальное	1,10	0,10
Погрешность модели эффекта воздействия	Логнормальное	1,00	0,10

Базовый периода отнесения принят равным 50 лет. Для сочетания переменных нагрузок использовалось правило Turkstra. Учет различных соотношений усилий выполнен посредством безразмерных параметров нагружения χ и α . Параметр нагружения χ представляет собой долю переменных воздействий в полном значении воздействия:

$$\chi = (Q_{n,1} + Q_{n,2}) / (G_n + Q_{n,1} + Q_{n,2}). \quad (3)$$

Параметр нагружения χ может изменяться практически от 0 (подземные конструкции) до 1 (локальные эффекты в подкрановых балках). Анализ реальных объектов показывает, что наиболее вероятный интервал значения параметра нагружения χ составляет 0,3...0,7 для снеговой нагрузки и 0,4...0,9 для полезной нагрузки. Близкие значения данного параметра ($\chi = 0,4...0,8$) приняты для стальных конструкций в работе [26].

Соотношение значений усилий от переменных нагрузок характеризуется параметром нагружения

$$\alpha = Q_{n,2}/Q_{n,1}, \quad (4)$$

где $Q_{n,1}$ – переменная нагрузка, вызывающая большие усилия; $Q_{n,2}$ – переменная нагрузка, вызывающая меньшие усилия.

Указанные параметры положены в основу численных исследований индекса надежности. В таблице 3 представлена взаимосвязь индекса надежности и вероятности отказа.

Таблица 3

Соотношение индекса надежности и вероятности отказа

Индекс надежности	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Вероятность отказа	0,159	0,067	0,023	$6,21 \cdot 10^{-3}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	$2,33 \cdot 10^{-4}$	$3,17 \cdot 10^{-5}$

Частные коэффициенты для детерминированного расчета приняты согласно СНиП 2.01.07 [25] с учетом изменения № 1. Коэффициент надежности γ_G для постоянной нагрузки зависит от составляющих компонентов этой нагрузки. Для большинства металлических конструкций среднее значение данного коэффициента находится в диапазоне 1,15...1,2. Коэффициент надежности для снеговой нагрузки согласно 5.7 [25] равен 1,5, за исключением элементов покрытия, для которых он принимается дифференцированно: $\gamma_S = 1,5$ при $G_n / S_n \geq 0,8$ и $\gamma_S = 1,6$ при $G_n / S_n < 0,8$. Коэффициент надежности для полезной нагрузки согласно [25] принимается равным 1,3 при полном нормативном значении менее 2,0 кПа и 1,2 при полном нормативном значении 2,0 кПа и более. Коэффициент сочетания $\psi_{Q,i} = 0,9$ для кратковременных нагрузок принят согласно [25]. Значение частного коэффициента γ_m зависит от государственного стандарта или технических условий на прокат. Для наиболее распространенного проката по ГОСТ 27772 он равен 1,025. Коэффициент условий работы γ_c учитывает особенности работы стали, элементов конструкций и их соединений, имеющие систематический характер, но не отражаемые непосредственно в расчетах [10]. Для упрощения принят $\gamma_c = 1$.

Таблица 4

Значения частных коэффициентов согласно СНиП

Параметры	Частные коэффициенты
Постоянная нагрузка	$\gamma_G = 1,15...1,2$
Полезная нагрузка	$\gamma_Q = 1,3$ или $1,2$; $\gamma_Q = 0,9$
Снеговая нагрузка	$\gamma_S = 1,5$ или $1,6$; $\gamma_S = 0,9$
Ветровая нагрузка	$\gamma_W = 1,4$; $\gamma_W = 0,9$
Предел текучести	$\gamma_c = 1$; $\gamma_m = 1,025$
Дифференциация надежности	$\gamma_n = 0,95$

Результаты представлены в виде графиков. По оси ординат отложены значения индекса надежности β , а по оси абсцисс – параметр нагружения χ . На рисунке 1 отображены верхняя и нижняя границы изменения β при одновременном действии постоянной и полезной нагрузок ($\alpha = 0$); на рисунке 2 – границы изменения β при действии постоянной и снеговой нагрузок ($\alpha = 0$). Для снеговой нагрузки частный коэффициент γ_S меняет свое значение приблизительно при $\chi = 0,56$, что соответствует $G_n / S_n = 0,8$.

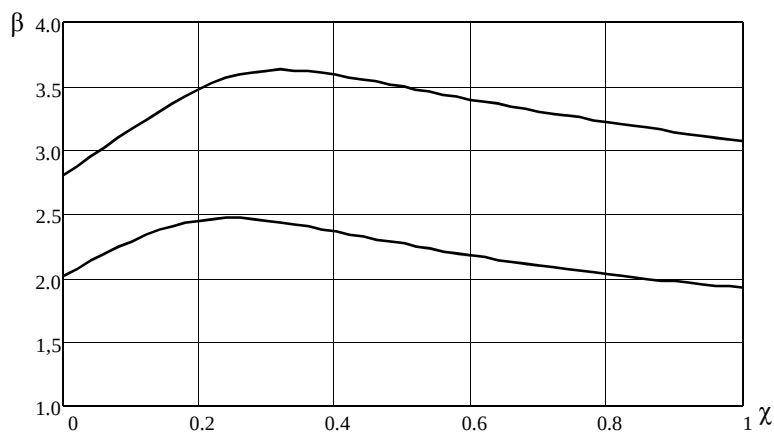


Рис. 1. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной и полезной нагрузки

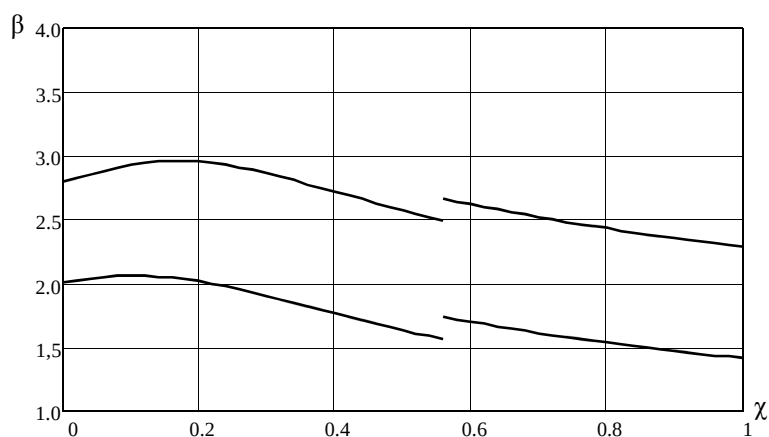


Рис. 2. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной и снеговой нагрузки

На рисунке 3 представлен диапазон изменения β при одновременном действии постоянной, полезной и ветровой нагрузок. Отношение усилия от ветровой нагрузки к усилию от полезной принято 0,3.

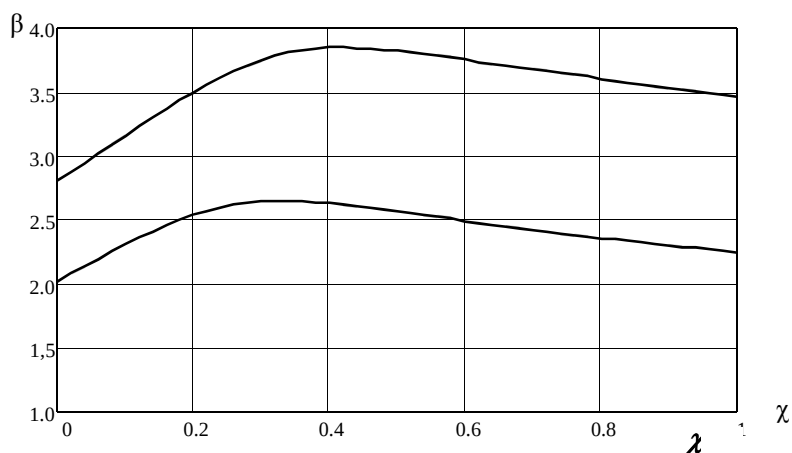


Рис. 3. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной, полезной и ветровой нагрузок

На рисунке 4 представлен диапазон изменения β при действии постоянной, снеговой и ветровой нагрузок. Отношение усилия от ветровой нагрузки к усилию от снеговой принято 0,3. Для снеговой нагрузки частный коэффициент γ_s меняет свое значение приблизительно при $\chi = 0,62$, что соответствует $G_n / S_n = 0,8$.

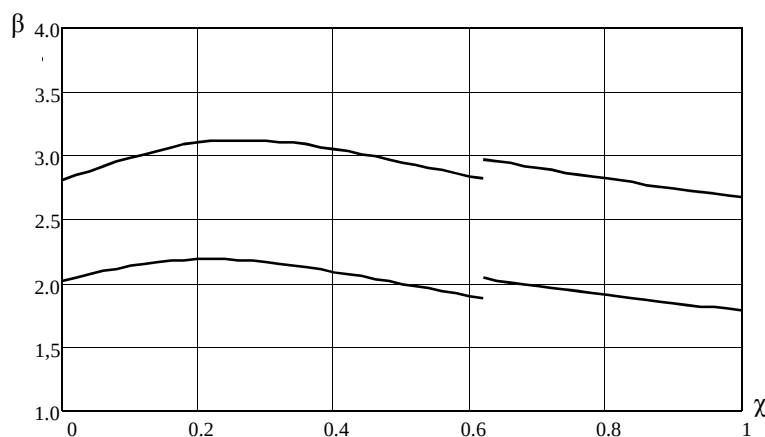


Рис. 4. Зависимость « $\beta - \chi$ »
при одновременном действии постоянной, снеговой и ветровой нагрузок

Заключение. В результате проведенного исследования выполнен предварительный анализ требуемого уровня надежности конструкций на основе опыта предыдущего нормирования и сложившейся практики проектирования для условий Республики Беларусь. Анализ результатов позволил выявить следующие особенности в уровнях надежности по проектированию стальных конструкций:

- вероятность отказа (индекс надежности) для периода отнесения 50 лет при наиболее распространенных условиях применения стальных конструкций изменяется в пределах $1,5 \cdot 10^{-2} \dots 1,1 \cdot 10^{-4}$ (2,1...3,5) при сочетании постоянной и полезной нагрузок и $5,5 \cdot 10^{-2} \dots 2,5 \cdot 10^{-3}$ (1,6...2,8) при сочетании постоянной и снеговой нагрузок;

- при сочетании более двух нагрузок уровень надежности повышается;
- необходимо более детальное исследование вопроса обеспечения надежности стальных конструкций при высокой доле переменных нагрузок, в частности снеговой нагрузки (например, для легких большепролетных металлических конструкций);

- при данных вероятностных моделях базисных переменных и принятой системе частных коэффициентов вероятность отказа (индекс надежности) ниже уровня надежности, регламентируемого в ТКП EN 1990 «Основы проектирования конструкций».

Для более точного и достоверного определения уровня надежности стальных конструкции необходимо уточнить вероятностные модели базисных переменных на основе актуализированных опытных данных, в первую очередь характеризующих прочность сталей. Необходимо выполнить аналогичные исследования для конструкций и из других видов материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании / В.Д. Райзер. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 304 с.
2. Складнев, Н.Н. О методике определения коэффициента надежности по назначению / Н.Н. Складнев, А.А. Федяев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1987. – № 2. – С. 3–6.
3. Беляев, Б.И. О выборе формулы для общего коэффициента надежности при вероятностном методе расчета / Б.И. Беляев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1986. – № 1. – С. 10–13.
4. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. – Введ. 01.07.2008. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2007. – 69 с.
5. Еврокод. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2011. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2012. – 70 с.
6. Шпете, Г. Надежность несущих строительных конструкций / Г. Шпете; пер. с нем. О.О. Андреева. – М.: Стройиздат, 1994. – 288 с. – Переводное изд.: Gerhard Spaethe. – Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen.
7. Faber, M.H. Lecture Notes on Risk and Safety in Civil Engineering / M.H. Faber. – Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zürich), 2009. – 349 p.
8. Дривинг, А.Я. Вероятностно-экономический метод в нормах расчета строительных конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. – 1982. – № 3. – С. 7–11.
9. Дривинг, А.Я. Рекомендации по применению экономико-статистических методов при расчетах сооружений с чисто экономической ответственностью / А.Я. Дривинг. – М.: ЦНИИСК, 1972. – 61 с.

10. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
11. Pandey, M.D. Foundational Principles of Welfare Economics Underlying the Life Quality Index for Efficient Risk Management / M.D. Pandey, J.S. Nathwani // Int. J. Risk Assessment and Management. – 2007. – Vol. 7, 6/7. – P. 862–883.
12. Nathwani, J.S. A standard for determination of optimal safety in engineering practice / J.S. Nathwani, M.D. Pandey, N.C. Lind // Proc. IFIP Conference, May 23–25, Aalborg, Denmark. – 2005. – P.1–8.
13. Rackwitz, R. A new Approach for setting Target Reliabilities / R. Rackwitz // Proc IABSE Conf. Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering, Malta, 2001, IABSE, Zürich, – 2001. – P. 531–536.
14. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: Изд. АСВ, 2007. – 256 с.
15. Тур, В.В. Обеспечение надежности строительных конструкций в свете требований европейских и национальных нормативных документов по проектированию / В.В. Тур // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С. 480–497.
16. Райзер В.Д. Развитие теории надежности и совершенствование норм проектирования / В.Д. Райзер // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – № 5. – С. 1–4.
17. 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.
18. Sorensen, J.D. Calibration of partial safety factors for Danish structural codes / J.D. Sorensen, S.O. Hansen, T. Arnbjerg Nielsen // In: Proc. IABSE Conf. Safety, risk and reliability – trends in engineering, Malta, IABSE, Zurich, 2001. – P. 179–184.
19. Byfield, M.P. Steel design and reliability using Eurocode 3 / M.P. Byfield. PhD thesis, University of Nottingham, 1996.
20. Vrouwenvelder, T. Reliability based code calibration. The use of the JCSS probabilistic model code / T. Vrouwenvelder // 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: 10.05.2011.
21. JCSS Probabilistic Model Code, Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001. <www.jcss.byg.dtu.dk>.
22. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь / В.В. Тур [и др.] // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
23. Марковский, Д.М. Калибровка значений параметров безопасности железобетонных конструкций с учетом заданных показателей надежности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.М. Марковский. – Брест, 2009.
24. 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; Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2012. – 24 с.
25. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
26. Holicky, M. Partial Factors for Light-Weight Roofs Exposed to Snow Load / M. Holicky, M. Sykora // In Bris R., Guedes Soares C., Martorell S. (eds.), Supplement to the Proceedings of the European Safety and Reliability Conference ESREL 2009, Prague, Czech Republic, 7–10 September 2009. – Ostrava: VŠB Technical University of Ostrava, 2009. – P. 23–30.

Поступила 17.05.2014

ESTIMATION OF TARGET LEVEL OF RELIABILITY BASED ON THE PREVIOUS EXPERIENCE STANDARDIZATION

V. NADOLSKI, I. MARTYNOV

The problem of regulation of reliability, expressed in the values of allowable probability of failure or reliability index is considered. The main methods of estimation the target values of reliability indices for building are presented. An alternative method of estimation the value of the reliability index on the basis of previous experience with respect to the conditions of the Republic of Belarus is discussed in more detail. The reliability index provided by the national system of regulations for the design of steel structures is analyzed. The features and quantitative reliability of steel structures are revealed on the received results. The conclusions of the necessity for further research into the improvement of the probabilistic models of basic variables and the necessity to perform a similar study for the construction made from other materials are drawn.