

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21-027.45/.049.5

А. И. ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО*

* Кафедра «Мосты и туннели», Национальный транспортный университет, ул. Суворова, 1, Киев, Украина, 01010, тел/факс +38 (044) 280 79 78, эл. почта albert.lantoukh@gmail.com, ORCID 0000-0002-6642-2359

ПРОБЛЕМА НОРМАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ МОСТОВ

Цель. Глобальная цель работы заключается в анализе требований надежности элементов мостов, проектируемых в соответствии с национальными нормами. **Методика.** Теоретическое исследование. **Результаты.** Выполнен анализ регламентаций норм. **Научная новизна.** Сделаны важные обобщения и получены количественные оценки расхода материалов при повышении уровня надежности. **Практическая значимость.** Формируется практический аппарат управления безопасностью в процессе проектирования.

Ключевые слова: класс надежности; класс последствий; коэффициент надежности; характеристика безопасности

Введение

Статья посвящена анализу системы управления безопасностью проектируемых мостов в соответствии с национальными нормами [3]. Концепция надежности этого документа, основанная на новейших достижениях в теории сооружений европейских ученых, принятая для управления безопасностью и ресурсом всех сооружений, в том числе – мостов. В качестве инструмента управления безопасностью выступает классификация сооружений по прогнозу ущерба, вызванного возможным разрушением сооружения – *классы последствий*.

Цель этой публикации – привлечь внимание проектировщиков, строителей, инженеров системы эксплуатации мостов к некоторым различиям в моделях надежности мостов, принятых в Европе и в национальных нормах [3, 4, 5], вызывающих справедливые нарекания среди проектировщиков [7].

Ретроспектива

Понятие класса последствий вызванного возможным разрушением сооружения – весьма новое в теории сооружений, появившееся в национальных нормативных документах 5-6 лет тому назад. Авторами термина «класс последствий» (англ.: «Consequence Class» – CC) были ученые работавшие под эгидой Объеди-

нённого комитета безопасности конструкций – JCSS (Joint Committee on Structural Safety).

Комитет, созданный в 1971 г. по инициативе международных научно – исследовательских организаций в сфере строительства, сегодня объединяет ученых 67 стран мира. Ученые возглавлявшие комитет в разное время Дж. Д. Соренсен, М. Х. Фабер, Й. Ферри-Боржес, Й. Шнейдер, Р. Раквитц, Т. Вроувенвельдер были авторами фундаментального теоретического исследования, названного «Типовая вероятностная модель» (Probabilistic Model Code, 1996) [21, 22, 23], которое стало базисом для разработки европейского стандарта ISO 2394-1998 «Общие принципы оценки надежности строительных конструкций» [20], стандарта ISO 13822 «Основы проектирования конструкций – Техническая оценка эксплуатируемых конструкций» 2003 [19].

Эти документы, излагающие теоретические подходы оценки надежности строительных конструкций, стали в 80-90 гг. платформой управления безопасностью в нормах строительного проектирования в странах Европы и в пакете Еврокода [10, 4].

Классификация классов последствий

Аппаратом управления безопасностью мостов является дифференциация надежности элементов, основанная на классификации классов

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

последствий, введённой в стандарте ISO 2394-1998 [20]. В качестве факторов, параметров управления надёжностью принято следующее:

- регламентация минимального проектного уровня надёжности элементов;
- рекомендованная процедура контроля надёжности элементов в процессе проектирования;
- регламентация организационных уровней контроля качества проектных решений, обеспечивающих надёжность конструкции;
- рекомендации, направленные на снижение человеческих ошибок при проектировании и строительстве;
- рекомендации по классификации надзора за строительством соответствующих принимаемому уровню надёжности элементов.

Предметом анализа в этой статье есть первые два фактора.

Понятие «класс последствий» получило свою нынешнюю трактовку в европейском стандарте ISO 2394-1998 [20] и в заглавном документе Еврокода – EN 1990, 2002 [13] (гармонизированный документ – ДСТУ-Н Б.В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN [4]). Это понятие, термин служит критерием дифференциации надёжности и риска строительных объектов. Классы последствий описываются потерей человеческих жизней, экономическими и социальными потерями, ущербом нанесенным окружающей среде вызванным возможным разрушением сооружения.

Приведем определение термина в формулировке стандарте ISO 2394-1998 [20] как описание уровней потерь и ущерба (табл. 1).

Обратим внимание, что для класса последствий СС3 рассматриваются потери человеческой жизни либо экономические, социальные или ущерба для окружающей среды, тогда как для класса СС1 рассматриваются все вероятностные потери одновременно (союз «и» в табл. 1).

Численных критериев категорий потерь «очень большие», «значительные», «малые» ни стандарт ISO 2394-1998 [20] ни Еврокод 1990 [13] не устанавливают. Вероятностные потери классифицируются здесь, следуя чисто лингвистическим определениям.

Понятие категорий потерь были предметом обширных научных исследований и дискуссий в

80-90 годах. Некоторые аспекты этих исследований, относящихся к мостам, приводятся ниже.

Таблица 1

Классификация классов последствий отказа строительных объектов [20]

Класс последствий	Описание
СС3	Значительные последствия – потери человеческой жизни, либо экономические, социальные или ущерб для окружающей среды являются очень большими
СС2	Средние последствия – потери человеческой жизни, экономические, социальные или ущерб для окружающей среды являются значительными
СС1	Незначительные последствия – потери человеческой жизни и экономические, социальные последствия или последствия для окружающей среды являются малыми или не принимаемыми в расчет

Сегодня в практике управления надёжностью проектируемых сооружений всех стран Европы класс последствий устанавливается по аналогии с примерами, приведенными в таблицах классификация классов последствий в ISO 2394-1998 [20] или в Еврокоде 1990 [13].

Каждому классу последствий (СС) соответствует класс надёжности сооружений RC (Reliability Classes). Процедура определения класса надёжности проектируемых сооружений в рамках нормативного документа именуется европейским стандартом ISO 2394-1998 [20] как «дифференциация надёжности».

В других терминах [13, 20], «дифференциация надёжности» трактуется как меры, направленные на социально-экономическую оптимизацию ресурсов в строительстве, минимизирующие ожидаемые последствия разрушения и стоимость строительных работ.

Классы надёжности, соответствующие классам последствий, и рекомендуемые минимальные значения характеристики безопасности по несущей способности зданий и сооружений [13] представлены в табл. 2.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Таблица 2

Рекомендованные минимальные значения характеристики безопасности по несущей способности

Класс надежности	Минимальные значения характеристики безопасности, β	
	Базовый период в 1 год	*Базовый период в 50 лет
RC3 (CC3)	5,2	4,3
RC2 (CC2)	4,7	3,8
RC1 (CC1)	4,2	3,3

* Вычисление характеристики безопасности для периода отличного от базового выполняется по формуле $\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n$, где Φ – функция нормального распределения; β_1 – характеристики безопасности для базового периода

Мосты. Определение класса последствий

Класс последствий отказа проектируемых мостов по Еврокоду определяется как CC2 и, следовательно, принимается надежность класса RC2. Сегодня это общепринятая практика в странах Европы [10, 11, 12, 17], США [9], Южной Кореи [24], Гонконга [29].

В начале этого столетия в мире было опубликовано тысячи исследований, посвященных определению класса последствий автодорожных и железнодорожных мостов. Ниже мы приводим выдержки из некоторых публикаций, обосновывающих тот факт, что в рамках Еврокода и нормах многих стран мира, рассматриваются мосты *только класса последствий CC2*.

Центральной научной идеей исследований был тезис о том, что мосты класса последствий CC3 составляют категорию уникальных сооружений, к которым предъявляются требования надежности класса RC3 и должны проектироваться по специальным техническим условиям.

Это положение сегодня стало принятым, например, в стандарте Великобритании BS EN 1990:2002+A1: 2005. National annex for EN 1990 (Национальное приложение к EN 1990) [11] находим: «для уникальных мостов (таких как подвесные, вантовые, мостов с пролетами более 150 м) и других уникальных сооружений

класса надежности RC3 необходимые проектные решения, обеспечивающие такой уровень надежности, должны определяться специальными техническими условиями». (For special bridges (such as suspension bridges, cable stayed bridges, and bridges with span exceeding 150 m) and landmark structures in RC3, the required measures to achieve this reliability level shall be determined on a project-specific basis.)

Для систематизации последствий по фактору опасности здоровью и жизни людей обратимся к истории аварий мостов в мире. Так, в работе [18] показано, что в 27 авариях фиксируется один случай 225, три случая 69...91; остальные меньше 50 пострадавших.

В современной истории, за последние 15 лет зарегистрировано в мире (без постсоветских стран) 37 аварий мостов [6], в них среднее количество пострадавших (погибших и раненых), составило 49 чел., два случая максимального количества пострадавших 355 и 306 и два случая пострадавших более 100...139 и 114 человек. Эти данные позволяют утверждать, что по фактору опасности здоровью и жизни людей не следует причислять мосты ни к классу последствий CC2 ни CC3 тем более. В других терминах – мосты относятся к категории сооружений с «экономической ответственностью».

Мосты. Материальные и социальные потери

Прямые материальные потери складываются из балансовой стоимости разрушенного сооружения, затрат на реконструкцию/восстановление, затрат на очистку территории от разрушенных элементов, затрат на ввод нового сооружения в эксплуатацию.

Социальные потери включают страховые расходы, потери, связанные со снижением функциональности транспортной сети, затраты, вызванные удлинением маршрута и задержками транспорта, дополнительными расходами на управление движением, потери бизнеса и, наконец, потери репутации маршрута.

Класс последствий CC3. В соответствии с европейскими нормативными документами [13, 20] к классу CC3 относятся мосты риск материальных и социальных потерь или угроза для окружающей среды являются очень большим (economic, social or environmental consequences very great [11, 18], таб. 1). Многочисленные исследования, выполненные в последние

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

15-20 лет, показывают, что по фактору материальных, социальных и экологических потерь к классу СС3 относятся уникальные мосты, такие, например, как вантовые больших пролетов, подвесные, большие мосты на безальтернативных путях сообщения [1, 15, 16, 17, 24, 25, 26, 27, 28, 29]. Начальная средняя стоимость мостов класса СС3 на порядок или два выше мостов класса СС2.

В обширном отчете, выполненном группой исследователей США под эгидой Федеральной администрации автомобильных дорог (Federal Highway Administration – FHWA) [9] посвященном анализу проектируемых и существующих мостов в Европе, подчеркивается «Подавляющее большинство мостов относятся к классу СС2 и относить к классу СС3 возможно только выдающиеся мосты, разрушение которых может привести к очень тяжелым последствиям (*«possibility only for bridges with very high consequences of failure»*).

Заметим, что речь идет о тяжелых последствиях, сопоставимых с аварией атомной электростанции. Именно атомная электростанция приводится как пример сооружения класса СС3 в европейских стандартах [13].

В работе [12] приводится пример моста класса СС3 в Европе. Это транспортный переход в Дании через пролив, соединяющий острова Фюн и Зеландия, состоящий из двух мостов и тоннеля. Один из мостов - Большой Белт Восточный (Great Belt East Bridge) общей длиной 6,8 км имеет центральный пролет в 1624 м. Стоимость сооружения моста 4,8 миллиардов евро в ценах 2002 г. (115 миллиардов грн. в ценах 2015 г.)

Еще один показательный пример определения класса последствий приведем из исследования профессора Сеульского Национального университета С. Х. Ли (Lee, Seung Han; Seoul National University) и коллег посвященного дифференциации надежности в проектировании мостов больших пролетов подвесных систем [24]. Требования минимальной надежности для мостов подвесных систем из этой работы приводятся ниже в табл. 3.

Таким образом, приведенный краткий анализ публикаций демонстрирует обоснование того, что в рамках Еврокода рассматриваются мосты только класса последствий СС2 как проектируемые, так и находящиеся в эксплуатации.

Таблица 3

Классы последствий сооружений [20]

Уровень последствий	Примеры зданий и сооружений	Надежность, β (граничное состояние по прочности)	Класс последствий (по EN 1990)
Высокий	Гражданские здания. Типовые мосты, мосты подвесных систем	3,72 ($P_F = 10^{-4}$)	СС2
Очень высокий	Уникальные мосты подвесных систем	4,00 ($P_F = 3,16 \cdot 10^{-5}$)	Средне-геометрическое между СС2 и СС3

Процедура контроля надежности элементов в процессе проектирования

Для контроля надежности Еврокодом [13] рекомендуется простой и прозрачный алгоритм, известный нашему инженеру с курса строительной механики (см., например, А. Р. Ржаницын «Строительная механика» [8]) и приведенный в национальных нормативных документах пакета «Мосты и трубы» [2]. Вкратце, рекомендованный алгоритм состоит в следующем.

Заданный уровень надежности обеспечивается соблюдением неравенства

$$\beta \geq \beta_{nom}, \quad (1)$$

где β – значение характеристики безопасности вычисленное относительно проектируемого элемента; β_{nom} – минимальное значение характеристики безопасности, соответствующее уровню надежности RC2.

Характеристика безопасности вычисляется по формуле:

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}, \quad (2)$$

где μ_G и σ_G – первые моменты распределения (математическое ожидание и стандарт) функции граничного состояния; μ_G – среднее зна-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

чение обобщенного сопротивления элемента; μ_E – среднее значение обобщенной нагрузки элемента сооружения; σ_G – среднее квадратичное отклонение (стандарт) обобщенного сопротивления элемента сооружения; σ_E – среднее квадратичное отклонение обобщенной нагрузки элемента сооружения.

В практических расчетах Еврокод [1, 13] рекомендует воспользоваться зависимостью эквивалентной вероятности отказа, записанной через параметры нормального (или логнормального) закона распределения:

$$\mu_E - \alpha_E \beta \sigma_E \leq \mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R, \quad (3)$$

где коэффициенты чувствительности α_E и α_R вычисляются через стандарты σ_E и σ_R . Что касается коэффициентов надежности, зависящих от уровней контроля качества проектных решений и человеческих ошибок при проектировании и строительстве, то они для класса надежности RC2, принимаются равными 1,0.

Оценка материальных затрат

Здесь выполним грубую оценку роста материальных затрат исходя из анализа коэффициентов надежности модели сопротивления и модели нагрузки, соответствующие двум классам ответственности: CC2 и CC3.

Определим коэффициенты надежности, соответствующие двум уровням надежности – RC2 (класс ответственности: CC2) и RC3 (класс ответственности: CC3). По определению, коэффициент надежности модели сопротивления вычисляется как отношение характеристического значения переменной к расчетному:

$$\gamma_R = R_k / R_d, \quad (4)$$

где R_k – характеристическое значение обобщенного сопротивления элемента и R_d – расчетное значение обобщенного сопротивления элемента, γ_R – коэффициент надежности элемента.

Характеристическое значение R_k и расчетное значение R_d в случае логнормального распределения [4, 13, 20] определяются следующим образом:

$$R_k = \mu_R \cdot \exp(-1,645 \cdot V_R); \quad (5)$$

$$R_d = \mu_R \cdot \exp(-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R), \quad (5a)$$

где μ_R – среднее значение переменной сопротивления R , V_R – коэффициент вариации элемента, α_R – коэффициент чувствительности (направляющий косинус), $\alpha_R = 0,8$.

Внесем (5) и (5a) в соотношение (4) получим:

$$\begin{aligned} \gamma_R &= \exp(-1,645 \cdot V_R) / \exp(-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R) = \\ &= \exp(\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R - 1,645 \cdot V_R). \end{aligned} \quad (6)$$

Для определенности будем рассматривать изгибаемые железобетонные элементы. Статистическая модель переменных сопротивления представлена в табл. 4.

Таблица 4

Статистическая модель переменных сопротивления

Переменная	Распределение	Коэффициенты вариации
Арматура преднапряженная	Логнормальное	0,07; 0,09; 0,11
Сжатый бетон в условиях природного твердения	Логнормальное	0,066; 0,082; 0,105;

Коэффициент вариации элемента в формулах (5) и (5a) вычисляется по общему правилу математической статистики:

$$V_R = (V_C^2 + V_S^2 + V_C^2 V_S^2)^{0,5}, \quad (7)$$

где V_C – коэффициент вариации бетона; V_S – коэффициент вариации арматуры.

Вычисленные по формуле (4) коэффициенты надежности, соответствующие минимальным и максимальным значениям коэффициентов вариации, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Коэффициенты надежности модели сопротивления

Класс надежности	Минимальные значения, γ_R	Максимальные значения, γ_R
RC2	1,144	1,189
RC3	1,237	1,315

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Коэффициенты надежности модели нагрузки

Формула определения коэффициентов надежности модели сопротивления (4) применяется для модели нагрузки как обратная:

$$\gamma_{Ei} = E_d / E_k, \quad (4a)$$

где γ_{Ei} – коэффициент надежности по нагрузке.

Распределение внешней нагрузки принимается нормальным для постоянной нагрузки и Гумбеля для подвижной нагрузки.

Постоянная нагрузка

Характеристическое значение нагрузки E_k и расчетное E_d в этом случае определяются зависимостями:

$$E_d = \mu_{Ei}(1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_{Ei}); \quad (8)$$

$$E_k = \mu_{Ei}, \quad (8a)$$

где μ_{Ei} – среднее значение i -й переменной нагрузки R , V_R – коэффициент вариации элемента, α_E – коэффициент чувствительности (направляющий косинус), $\alpha_E = -0,7$.

$$\gamma_{Ei} = (1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_{Ei}) \quad (9)$$

Подвижная нагрузка

Характеристическое значение подвижной нагрузки E_k и расчетное E_d определяются зависимостями:

$$E_k = \mu_{Ei}(1 - V_{Ei}(0,45 + 0,78 \ln(-\ln(0,98))))), \quad (10)$$

$$E_d = \mu_{Ei}(1 - V_{Ei}(0,45 + 0,78 \ln(-\ln(\Phi^{-1}(\alpha_E \beta))))), \quad (11)$$

где Φ – стандартная функция нормального распределения. Статистическая модель переменных нагрузки представлена в табл. 6.

Вычисляется два коэффициента надежности модели нагрузки: γ_{E1} – временной подвижной нагрузки и γ_{E2} – постоянных нагрузок. Соответствующие коэффициенты вариации вычисляются по формулам (9) и (10):

$$V_{E1} = (V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + V_1^2 V_2^2 + V_1^2 V_3^2 + V_2^2 V_3^2)^{0,5}, \quad (12)$$

$$V_{E2} = (V_4^2 + V_5^2 + V_4^2 V_5^2)^{0,5}. \quad (13)$$

Обозначения коэффициентов вариации приведены в табл. 6. Полученные коэффициенты вариации приведены в табл. 7.

Таблица 6

Статистическая модель переменных нагрузки

Переменная	Распределение	Коэффициенты вариации	
		Обозначение	Значение
Подвижная нагрузка АК полосовая	Гумбеля	V_1	0,24
Тандем нагрузки АК	Гумбеля	V_2	0,07
Толпа на тротуаре	Гумбеля	V_3	0,14
Постоянная нагрузка проезжей части и тротуаров	Нормальное	V_4	0,17
Собственный вес железобетонной конструкции	Нормальное	V_5	0,033

Таблица 7

Коэффициенты вариации модели нагрузки

Временная подвижная нагрузка	Постоянная нагрузка
$V_{E1} = 0,289$	$V_{E2} = 0,173$

Вычисленные по формулам (4a), (10), (11) коэффициенты надежности нагрузки, соответствующие коэффициентам вариации (см. табл. 6), представлены в табл. 8.

Таблица 8

Коэффициенты надежности модели нагрузки

β	γ_1	γ_2	γ_3
3,80	1,46	1,22	1,35
4,30	1,52	1,36	1,50

Здесь γ_1 – коэффициент надежности постоянной нагрузки; γ_2 – коэффициент надежности временной подвижной нагрузки (АК); γ_3 – коэффициент надежности временной нагрузки от толпы.

Обобщенный коэффициент надежности нагрузки получим как среднегеометрическое трех коэффициентов – постоянной нагрузки, временной подвижной нагрузки и временной нагрузки от толпы:

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

$$\gamma_E = (\gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3)^{1/3}. \quad (14)$$

Вычисленные по формуле (11) значения обобщенного коэффициента надежности нагрузки, соответствующие классам надежности RC2 и RC3 приведены в табл. 9.

Таблица 9

Коэффициенты надежности				
	β	γ_R	γ_E	Π
RC2	3,8	1,19	1,34	1,60
RC3	4,3	1,32	1,44	1,90

Нижнюю относительную оценку материальных затрат получим из уравнений граничного состояния *постоянной высоты* сечения по моменту:

$$\Pi_2 \cdot M_{cr} = M_{r2}; \quad (15)$$

$$\Pi_3 \cdot M_{cr} = M_{r3}, \quad (15a)$$

где M_{cr} – характеристический момент в сечении от всех нагрузок; M_{r2} , M_{r3} – граничные моменты (несущая способность) сечений, соответствующих классам надежности RC2 и RC3; Π_2 , Π_3 – произведения двух коэффициентов табл. 9 соответствующих классам надежности RC2 и RC3.

Из зависимостей (15 и 15a) относительный рост материальных затрат (по арматуре):

$$\xi = M_{r3}/M_{r2} = \Pi_3/\Pi_2 = 1,90/1,60 = 1,19. \quad (16)$$

Таким образом, в случае применения европейских норм, минимальная нижняя оценка роста материальных затрат (по арматуре) для изгибаемых железобетонных элементов мостов составляет 19 %. С учетом необходимого увеличения объема железобетона общие минимальные затраты возрастают до 35...38 %.

Национальные нормы управления безопасностью сооружений [3] требуют дополнительно введения, так называемых, «коэффициентов ответственности» В табл. 10 приведены коэффициенты надежности, соответствующие классам RC2 и RC3 (табл. 9) дополненные коэффициентами ответственности украинских норм [3] – γ_0 .

Тогда нижняя оценка роста материальных затрат (по арматуре) составит:

$$\xi = \Pi_3/\Pi_2 = 2,28/1,68 = 1,36,$$

и, с учетом необходимого увеличения объема железобетона, общие минимальные затраты возрастают до 50...55 %.

Таблица 10

Свод коэффициентов надежности

	β	γ_R	γ_E	γ_0	Π_i
RC2	3,8	1,19	1,34	1,05	1,68
RC3	4,3	1,32	1,44	1,20	2,28

Заканчивая этот анализ, подчеркнем, что установление минимального уровня надежности не является самоцелью – это, прежде всего, базис инструмента для определения коэффициентов надежности нагрузочных эффектов и материалов в рамках соответствующих разделов норм. А с другой стороны – сами коэффициенты надежности выполняют в проектировании не только функции оценки безопасности сооружения, но выступают мерилем материальных затрат.

Выводы

1. Европейская система управления надежностью проектируемых строительных объектов основана на положениях международного стандарта ISO 2394-1998 «Общие принципы оценки надежности строительных конструкций» [20]. Центральным местом стандарта есть аппарат дифференциации надежности, определяющий минимальный уровень надежности проектируемых конструкций с помощью понятия «класс последствий» (CC). Каждому классу последствий соответствует класс надежности сооружений (RC).

Концепция надежности в Еврокоде целиком и полностью совпадает с требованиями стандарта ISO 2394-1998.

2. Мосты, проектируемые в рамках Еврокода, относятся к классу последствий CC2 и, следовательно, минимальная проектная надежность принимается класса RC2.

3. Уникальные мосты больших пролетов, мосты на безальтернативных путях сообщения могут проектироваться в соответствии с уровнем надежности класса RC3. Для этого заказчиком должны быть составлены специальные технические условия.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

4. Обращает на себя внимание тот факт, что в Европейской системе надежностью определены классы последствий проектируемых мостов не является прерогативой проектировщика и устанавливается нормами проектирования.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гульванесян, Х. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990 : Основы проектирования сооружений [Текст] : пер. с англ. В. Д. Райзер, Н. А. Попов / Х. Гульванесян, Ж.-А. Калгаро, М. Голицки. // Мин-во образования и науки Росс. Федерации. ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». Серия «Издано в МГСУ: Еврокод» – Москва : МГСУ, 2011. – 258 с.
2. ДБН В.1.3-22:2009 Споруди транспорту. Мости і труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
3. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]. – Надано чинності 2009-12-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 36 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN). Система надійності та безпеки у будівництві. Настанова. Основи проектування конструкцій. [Текст]. – Надано чинності 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 80 с.
5. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва [Текст]. – Надано чинності 2013-09-01. – Київ : Мінірегіонбуд України, 2013. – 49 с.
6. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures
7. Пшінько, П. О. Аналіз сучасного порядку розробки, узгодження проектної документації, отримання дозволу на будівельні роботи та задачі в експлуатацію лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури залізничного транспорту України [Текст] / П. О. Пшінько, В. В. Марочка, В. В. Ковальчук, І. В. Калашніков, А. В. Гуменюк // Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2014. – Вип. 6. – С. 109-118.
8. Ржаницын, А. Р. Строительная механика [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Р. Ржаницын. – Москва : Высш. школа, 1982. – 400 с.
9. AASHTO Manual for Bridge Evaluation. 2008.
10. Assuring Bridge Safety and Serviceability in Europe. International Technology Scanning Program, 2010. Available at: <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl10014/pl10014.pdf>.
11. BS EN 1990:2002+A1:2005. National annex for EN 1990.
12. Diamantidis, D. Probabilistic Assessment of Existing Structures. Joint Committee on Structural Safety, RILEM Publications S.A.R.L., 2001.
13. EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. European Committee for Standardization. Brussels: 2003.
14. Faber M., Khbler O, Fontana M., Knobloch M. Failure Consequences and Reliability Acceptance Criteria for Exceptional Building Structures. July 2004. Zurich: Institute of Structural Engineering, Swiss Federal Institute of Technology.
15. Federal Emergency Management Agency (FEMA), HAZUS-MH MR3 Technical Manual, Washington D.C. (accessed on April 30, 2011). Available at: <http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/>
16. Ferry-Borges J., Castanheta M. Structural Safety. Laqboratorio Nacional de Engenharia Civil. Lisbon, 1971.
17. Gulvanessian H., Calgaro J.A, Holicky M. Designer's Guide to EN 1990, Eurocode : Basis of structural Design. Thomas Telford, London, 2002, ISBN: 07277 3011 8
18. Imam B., Chryssanthopoulos M. Bridge Failure Consequences. Robustness of Structures : Final Conference, COST Action TU0601 (Prague, 30-31 May, 2011).
19. ISO 13822-2010. Bases for design of structures – Assessment of existing structures. Geneve, Switzerland, 2010.
20. ISO 2394. General principles on reliability for structures. 2nd edn. Geneve, Switzerland, 1998.
21. JCSS. Probabilistic Model Code. Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001.
22. JCSS. Background documentation, Part 1 of EC 1 Basis of design, 1996.
23. JCSS. Probabilistic model code. (2001). JCSS working materials. Available at: <http://www.jcss.ethz.ch/>
24. Lee Seung Han et al. Differentiation of Target Reliability and Design Life in Design of Long-span Cable-supported Bridges. 37th Madrid IABSE Symposium, 2014.
25. Reference Guide for Applying Risk and Reliability – Based Approaches for Bridge Scour Prediction, 2012.
26. Schneider J. Introduction to Safety and Reliability of Structures. IABSE. Zurich, 1997.
27. Sørensen J. D. Reliability Based Optimization of Structural Systems. Proceedings of the 13th IFIP conference, 1987, vol. 113.
28. Sørensen J. D., Kroon I. B., Faber M. H. Optimal Reliability-Based Code Calibration. Structural Safety, 1994, vol. 14, pp. 197-208.
29. Structures design manual for highways and railways. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. Hong Kong, 2013.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

30. Sykora M., Holicky M., Markov J. Target reliability levels for assessment of existing structures, In: Proc. ICASP11 (1-4 August, 2011) CRC Press/Balkema, pp. 1048-1056.
31. Vrouwenvelder, A.C.W.M. (2012) Target reliability as a function of the design working life. 6th International Forum on Engineering Decision Making. (January 26-29, 2012). Lake Louise. Canada, 2012.

A. I. ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО*

* Кафедра «Мости та тунелі», Національний транспортний університет, вул. Суворова 1, Київ, Україна, 01010, тел. +38 (095) 274 80 25, ел. пошта albert.lantoukh@gmail.com, ORCID 0000-0002-6642-2359

ПРОБЛЕМА НОРМАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ МОСТІВ

Мета. Глобальна мета роботи полягає в аналізі вимог надійності елементів мостів, що проектуються згідно з національними нормами. **Методика.** Теоретичне дослідження. **Результати.** Виконано аналіз регламентацій норм. **Наукова новизна.** Зроблено важливі узагальнення та отримані кількісні оцінки витрат матеріалів при підвищенні рівня надійності. **Практична значимість.** Формується практичний апарат управління надійністю в процесі проектування.

Ключові слова; клас надійності; клас наслідків; коефіцієнт надійності; характеристика безпеки

A. I. LANTOUKH-LYASHENKO*

* Department of «Bridges and Tunnels», National Transport University, 1 Suvorov, St., Kiev, Ukraine, 01010, tel. +38 (095) 274 80 25, e-mail albert.lantoukh@gmail.com, ORCID 0000-0002-6642-2359

MANAGEMENT SYSTEM DESIGNED BRIDGES

Purpose. The global objective of the work is to analyze the elements of the safety requirements of bridges designed in accordance with national regulations. **Methodology.** Theoretical study. **Findings.** The analysis of regulations standards. **Originality.** Important generalizations and the quantitative assessment of material consumption while increasing reliability were made. **Practical value.** Practical reliability management tool in the design process is formed.

Keywords: safety class; the consequences class; safety coefficient; reliability index

REFERENCES

1. Gulvanesyan Kh., Kalgaro Zh.-A., Golitski M. *Rukovodstvo dlya proektirovshchikov k Yevrokodu 1990: Osnovy proektirovaniya sooruzheniy* [Designers' Guide to Eurocode 1990: Basic of Structural Design]. Izdano v MGSU : Yevrokody – Published in MSUCE : Eurocodes. Moscow, MGSU Publ., 2011. 258 p.
2. *DBN V.2.3-22-2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya* [State Standard V.2.3-22-2009. Transport constructions. Bridges and pipes. Basic design requirements]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2009. 73 p.
3. *DBN V.1.2-14-2009. Systema zabezpechennya nadijnosti ta bezpeky budivelnyx obyektiv. Zagalni pryncypy zabezpechennya nadijnosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel, sporud, budivelnyx konstrukcij ta osnov* [State Standard V.1.2-14-2009 System reliability and safety of construction projects. General principles of reliability and structural safety of buildings, structures and foundations]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2009. 36 p.
4. *DSTU-N B V.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN). Systema nadiinosti ta bezpeky u budivnytstvi. Osnovy proektuvannia konstruktsii* [State Standard B.V.1.2-13:2008. System reliability and safety in construction. Attitude. Basis of structural design]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny, Publ., 2009. 80 p.
5. *DSTU-N B.V.2.3-23-2013. Sporudy transportu. Nastanova z otsinyuvannya i prognozuvannya tehničnogo stanu avtodorozhnih mostiv* [State Standard B.V.2.3-23-2013. Transport constructions. Guidance evaluation and forecasting technical condition of road bridges]. Kyiv, Minrehionbud Ukrayiny Publ., 2013. 49 p.
6. *Vikipediya* [Wikipedia]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures
7. Pshinko P. O., Marochka V. V., Kovalchuk V. V., Kalashnikov I. V., Humeniuk A. V. Analiz suchasnoho poriadku rozrobky, uzgodzhennia proektnoi dokumentatsii, otrymannia dozvolu na budivelni roboty ta zdachi v ekspluatatsiyu liniinykh obyektiv inzhenerno-transportnoi infrastruktury zaliznychnoho transportu Ukrainy [Analysis of the modern sequence of development, coordination of project documentation, obtaining

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- permission on construction works and commissioning of linear objects of engineering and transport infrastructure of railway transport of Ukraine]. *Mosty ta tuneli: teoriya, doslidzhennja, praktyka – Bridges and tunnels: theory, research, practice*, 2014, issue 6, pp. 109-118.
8. Rzhanytsyn A. R. *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 1982. 400 p.
 9. AASHTO *Manual for Bridge Evaluation*. 2008.
 10. Assuring Bridge Safety and Serviceability in Europe. *International Technology Scanning Program*, 2010. Available at: <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl10014/pl10014.pdf>.
 11. *BS EN 1990:2002+A1:2005. National annex for EN 1990*.
 12. Diamantidis D. *Probabilistic Assessment of Existing Structures*. Joint Committee on Structural Safety, RILEM Publications S.A.R.L., 2001.
 13. *EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design*. European Committee for Standardization. Brussels: 2003.
 14. Faber M., Failure H., Khbler O., Fontana M., Knobloch M. *Failure Consequences and Reliability Acceptance Criteria for Exceptional Building Structures*. (July 2004). Zurich: Institute of Structural Engineering, Swiss Federal Institute of Technology.
 15. Federal Emergency Management Agency (FEMA), *HAZUS-MH MR3 Technical Manual*, Washington D. C. (April 30th, 2011). Available at: <http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/>
 16. Ferry-Borges J., Castanheta M. Structural Safety. *Laqboratorio Nacional de Engenharia Civil*. Lissabon, 1971.
 17. Gulvanessian H., Calgaro J.-A., Holicky M. *Designers Guide to EN 1990. Eurocode : Basis of structural Design*. London, Thomas Telford Publ., 2002, ISBN: 07277 3011 8
 18. Imam B., Chryssanthopoulos M. Bridge Failure Consequences. *Final Conference “Robustness of Structures (Prague, 30-31 May, 2011)”*, COST Action TU0601.
 19. *ISO 13822-2010. Bases for design of structures – Assessment of existing structures*. Geneve, Switzerland, 2010.
 20. *ISO 2394. General principles on reliability for structures*. 2nd edn. Geneve, Switzerland, 1998
 21. *JCSS. Probabilistic Model Code*. Zurich, Joint Committee on Structural Safety Publ., 2001.
 22. *JCSS. Background documentation*. Part 1 of EC 1 Basis of design, 1996.
 23. *JCSS. Probabilistic model code*. (2001). JCSS working materials. Available at: <http://www.jcss.ethz.ch/>
 24. Lee Seung Han et al. Differentiation of Target Reliability and Design Life in Design of Long-span Cable-supported Bridges. *37th Madrid IABSE Symposium, 2014*.
 25. *Reference Guide for Applying Risk and Reliability – Based Approaches for Bridge Scour Prediction*, 2012.
 26. Schneider J. *Introduction to Safety and Reliability of Structures*. IABSE. Zurich, 1997.
 27. Sørensen, J. D. Reliability Based Optimization of Structural Systems. *Proceedings of the 13th IFIP conference*, 1987, vol. 113.
 28. Sørensen J. D., Kroon I. B., Faber M. H. *Optimal Reliability-Based Code Calibration*. Structural Safety Publ., 1994, vol. 14, pp. 197-208.
 29. Structures design manual for highways and railways. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. Hong Kong, 2013.
 30. Sykora M., Holicky M., Markov J. Target reliability levels for assessment of existing structures, *In: Proc. ICASP11 (1-4 August, 2011)* CRC Press, Balkema, pp. 1048-1056.
 31. Vrouwenvelder A.C.W.M. Target reliability as a function of the design working life. *6th International Forum on Engineering Decision Making (January 26-29, 2012)*. Lake Louise, Canada, 2012.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Украина), д.т.н, проф. В. В. Кулябко (Украина).

Поступила в редколлегию 26.10.2016.

Принята к печати 26.12.2016.