

## БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТИРУЕМЫХ МОСТОВ

Статья посвящена проблеме управления надежностью мостов в течение жизненного цикла. Рассматривается аппарат, принятый в Еврокоде. В качестве инструмента управления безопасностью выступает классификация сооружений по прогнозу ущерба, вызванного возможным разрушением сооружения.

The article deals with the problem of reliability management of bridges over the life cycle. We consider the unit adopted in the Eurocode. As a tool for security management, you are stepping classification structures as predicted by the damage caused by possible destruction facilities.

**Ключевые слова:** надежность, класс последствий, мост, характеристика безопасности

**С**татья посвящена анализу системы управления надежностью проектируемых мостов в рамках Еврокода, признанного в Украине как параллельная ветвь национальных норм [4, 11]. Концепция надежности Еврокода, основанная на новейших достижениях в теории сооружений европейских ученых, принятая как практический инструмент управления надежностью и ресурсом мостов всеми странами Европы, несколько отличается от нашего традиционного подхода. 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 важнейшему базису Еврокода: не только безопасность и минимизация отказов в эксплуатации, но и техническое совершенство конструкции, качественное строительство объекта базируются на принципах надежности.

Побуждающим мотивом к написанию статьи является некоторое разночтение в моделях надежности мостов, принятых в Еврокоде и в национальных нормах [2, 3].

**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 Объединённого 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,



**А.И. Лантух-Лященко**  
профессор Национального  
транспортного университета (НТУ),  
д.т.н.

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) [19, 20, 21], которое стало базисом для разработки европейского стандарта ISO 2394–1998 «Общие принципы оценки надежности строительных конструкций» [18], стандарта ISO 13822 «Основы проектирования конструкций – Техническая оценка эксплуатируемых конструкций» 2003 [17].

Эти документы, излагающие теоретические подходы оценки надежности строительных конструкций, стали в 80–90-х годах платформой управления надежностью в нормах строительного проектирования в странах Европы и в пакете Еврокода [11].

**Классификация классов последствий.** Аппаратом управления безопасностью мостов в рамках Еврокода является дифференциация надежности элементов, основанная на классификации классов последствий, введенной в стандарте ISO 2394-1998 [18]. В качестве факторов, параметров управления надежностью принято следующее:

- регламентация минимального проектного уровня надежности элементов;
- рекомендованная процедура контроля надежности элементов в процессе проектирования;
- регламентация организационных уровней контроля качества проектных решений, обеспечивающих надежность конструкции;

- рекомендации, направленные на снижение человеческих ошибок при проектировании и строительстве;
- рекомендации по классификации надзора за строительством, соответствующие принимаемому уровню надежности элементов.

Предметом анализа в этой статье есть первые два фактора.

Понятие «класс последствий» получило свою нынешнюю трактовку в европейском стандарте ISO 2394 [18] и в заглавном документе Еврокода – EN 1990, 2002 [11] (гармонизированный документ – ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN [4])). Этот термин служит критерием дифференциации надежности 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 Еврокода 1990 [4, 11] как описание уровня потерь и ущерба (табл. 1).

Таблица 1

Классификация классов последствий отказа строительных объектов [11]

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

Обратим внимание, что для класса последствий СС3 рассматриваются потери человеческой жизни либо экономические, социальные или ущерб для окружающей среды, тогда как для класса СС1 рассматриваются все вероятные потери одновременно.

Численных критериев категорий потерь «очень большие», «значительные», «малые» Еврокод 1990 [11] не устанавливает. Нет таких критериев и в международном стандарте ISO 2394-1998 [18]. Вероятностные потери классифицируются здесь следуя чисто лингвистическим определениям.

Понятие категорий потерь было предметом обширных научных исследований и дискуссий в 80–90-х годах. Некоторые аспекты этих исследований, относящихся к мостам, приводятся ниже.

Сегодня в практике управления надежностью проектируемых сооружений всех стран Европы класс последствий устанавливается по аналогии с примерами, приведенными в таблицах классификации классов последствий в ISO 2394-1998 [18] или в Еврокоде 1990 [11].

Каждому классу последствий (СС) соответствует класс надежности сооружений RC (Reliability Classes). Процедура определения класса надежности проектируемых сооружений в рамках нормативного документа именуется европейским стандартом ISO 2394 [18] как «дифференциация надежности».

В других терминах [11, 18] «дифференциация надежности» трактуется как меры, направленные на социально-экономическую оптимизацию ресурсов в строительстве, минимизирующие ожидаемые последствия разрушения и стоимость строительных работ.

Классы надежности, соответствующие классам последствий, и рекомендуемые минимальные значения характеристики безопасности по несущей способности зданий и сооружений [11], представлены в таблице 2.

Таблица 2

Рекомендованные минимальные значения характеристики безопасности по несущей способности

Класс надежности	Минимальные значения характеристики безопасности, $\beta$	
	Базовый период в 1 год	*Базовый период в 50 лет
RC3 (СС3)	5,2	4,3
RC2 (СС2)	4,7	3,8
RC1 (СС1)	4,2	3,3

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

**Определение класса последствий.** Класс последствий отказа проектируемых мостов по Еврокоду определяется как СС2 и, следовательно, принимается надежность класса RC2. Сегодня это общепринятая практика в странах Европы [8, 9, 11, 18], США [7], Южной Кореи [22], Гонконге [27].

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 рассматриваются мосты только класса последствий СС2.

Центральной научной идеей исследований был тезис о том, что мосты класса последствий СС3 составляют категорию уникальных сооружений, к которым предъявляются требования надежности класса RC3, и должны проектироваться по специальным техническим условиям. Это положение сегодня принято не только в Еврокоде, но и в нормах многих стран. Так, например, в стандарте Великобритании BS EN 1990:2002+A1:2005. National annex for EN 1990 (Национальное приложение к EN 1990) [9] находим: *«для уникальных мостов (таких как подвесные, вантовые, мосты с пролетами более 150 м и другие уникальные сооружения 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 для здоровья и жизни людей обратимся к истории аварий мостов в мире. Так в работе [16] показано, что в 27 авариях фиксируется один случай с 225 пострадавшими, три случая – 69–91; остальные меньше 50 пострадавших.

За последние 15 лет в мире зарегистрировано (без постсоветских стран) 37 аварий мостов [5], в них среднее количество пострадавших составило 49 чел., в двух случаях пострадавших 355 и 306 и еще в двух случаях 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 СС2 ни СС3 тем более. В других терминах – мосты относятся к категории сооружений с «экономической ответственностью».

**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 СС3.** В соответствии с европейскими нормативными документами [11, 18] к классу СС3 относятся мосты, риск материальных и социальных потерь или угроза для окружающей среды которых являются очень большим (economic, social or environmental consequences very great [11, 18], табл. 1). Многочисленные исследования, выполненные в последние 15–20 лет [1, 13, 14, 15, 22, 23, 24, 25, 26, 29], 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. 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) [8], посвященном анализу проектируемых и существующих мостов в Европе, подчеркивается *«Подавляющее большинство мостов относятся к классу СС2 и относятся 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 [11].

В работе [10] 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 Бельт Восточный (Great Belt East Bridge) общей длиной 6,8 км имеет центральный пролет в 1624 м.



Главный пролет моста Большой Бельт Восточный

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 др., посвященного дифференциации надежности в проектировании мостов больших пролетов с подвесными системами [22]. Требования минимальной надежности для мостов подвесных систем из этой работы приведены в таблице 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.

**Процедура контроля надежности элементов в процессе проектирования.** Для контроля надежности Еврокодом [11] рекомендуется простой и прозрачный алгоритм, известный нашему инженеру с курса строительной механики (см., например, А.Р. Ржаницын «Строительная механика» [6]) 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  $\beta$  – значение характеристики безопасности, вычисленное относительно проектируемого элемента;  $\beta_{nom}$  – 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  $\mu_G$  и  $\sigma_G$  – первые моменты распределения (математическое ожидание и стандарт) функции граничного состояния;  $\mu_R$  – среднее значение обобщенного сопротивления элемента;  $\mu_E$  – среднее значение обобщенной нагрузки элемента сооружения;  $\sigma_R$  – среднее квадратичное отклонение (стандарт) обобщенного сопротивления элемента сооружения;  $\sigma_E$  – среднее квадратичное отклонение обобщенной нагрузки элемента сооружения.

В практических расчетах Еврокод [4, 11] рекомендует воспользоваться зависимостью эквивалентной вероятности отказа, записанной через параметры нормального (или логнормального) закона распределения:

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

Здесь коэффициенты чувствительности  $\alpha_E$  и  $\alpha_R$  вычисляются через стандарты  $\sigma_E$  и  $\sigma_R$ .

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: СС2 и СС3.

Таблица 3

Классы последствий сооружений [22]

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

Таблица 5

Коэффициенты надежности модели сопротивления

Класс надежности	Минимальные значения, $\gamma_R$	Максимальные значения, $\gamma_R$
RC2	1,144	1,189
RC3	1,237	1,315

Определим коэффициенты надежности, соответствующие двум уровням надежности – RC2 (класс ответственности СС2) и RC3 (класс ответственности СС3). 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;  $R_d$  – расчетное значение обобщенного сопротивления элемента;  $\gamma_R$  – коэффициент надежности элемента.

Характеристическое значение  $R_k$  и расчетное значение  $R_d$  в случае логнормального распределения [2, 11, 18] определяются следующим образом:

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

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

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

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

$$\gamma_R = \frac{\exp(-1,645V_R)}{\exp(-\alpha_R \beta V_R)} = \exp(\alpha_R \beta V_R - 1,645V_R). \quad (6)$$

Для определенности будем рассматривать изгибаемые железобетонные элементы. Статистическая модель переменных сопротивления представлена в таблице 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:

$$V_R = (V_c^2 + V_s^2 + V_c^2 \cdot V_s^2)^{0,5}, \quad (7)$$

где  $V_c$  – коэффициент вариации бетона;  $V_s$  – коэффициент вариации арматуры.

Вычисленные по формуле (3) коэффициенты надежности, соответствующие минимальным и максимальным значениям коэффициентов вариации, представлены в таблице 5.

**Коэффициенты надежности модели нагрузки.** Формула определения коэффициентов надежности модели сопротивления является фундаментальной и применяется для модели нагрузки как обратная к (4):

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

где  $\gamma_{Ei}$  – 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:

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

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

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

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

**Подвижная нагрузка.** Характеристическое значение подвижной нагрузки  $E_k$  и расчетное  $E_d$  определяются зависимостями:

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

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

Здесь  $\Phi$  – стандартная функция нормального распределения.

Статистическая модель переменных нагрузки представлена в таблице 6.

Вычисляется два коэффициента надежности модели нагрузки:  $\gamma_{E1}$  – временной подвижной нагрузки и  $\gamma_{E2}$  – постоянных нагрузок. Соответствующие коэффициенты вариации вычисляются по формулам (12) и (13):

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

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

Обозначения коэффициентов вариации приведены в таблице 6.

Таблица 6

Статистическая модель переменных нагрузок

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

Полученные коэффициенты вариации показаны в таблице 7.

Таблица 7

Коэффициенты вариации модели нагрузки

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

Вычисленные по формулам (4а), (10), (11) коэффициенты надежности нагрузки, соответствующие коэффициентам вариации, представлены в таблице 8.

Таблица 8

Коэффициенты надежности модели нагрузки

$\beta$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$
3,80	1,46	1,22	1,35
4,30	1,52	1,36	1,50

Здесь  $\gamma_1$  – коэффициент надежности постоянной нагрузки;  $\gamma_2$  – коэффициент надежности временной подвижной нагрузки (АК);  $\gamma_3$  – 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:

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

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

Таблица 9

Свод коэффициентов надежности

Класс надежности	$\beta$	$\gamma_R$	$\gamma_E$	П
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:

$$P_2 \cdot M_{cr} = M_{r2}; \quad (15)$$

$$P_3 \cdot M_{cr} = M_{r3}, \quad (15a)$$

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;

$P_2, P_3$  – произведения двух коэффициентов (табл. 9), соответствующих классам надежности RC2 и RC3.

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

$$\xi = M_{cr} / M_{r3} = P_3 / P_2 = 1,90 / 1,60 = 1,19. \quad (16)$$

Таким образом, 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 %.

Заканчивая этот обзор, 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 и 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». Центральным местом стандарта есть аппарат дифференциации надежности, определяющий мини-

мальний рівень надійності проектуємих конструкцій з допомогою поняття «клас наслідств» (CC). Кожному класу наслідств відповідає клас надійності споруджень (RC). Концепція надійності в Єврокоді цілком і повністю збігається з вимогами стандарту ISO 2394-1998.

2. Мости, проектуємих в межах Єврокода, належать до класу наслідств CC2 і, відповідно, мінімальна проектна надійність приймається класу RC2.

3. Унікальні мости великих пролетів, мости на безальтернативних шляхах зв'язу можуть проектуватися в відповідності з рівнем надійності класу RC3. Для цього замовником повинні бути складені спеціальні технічні умови.

4. Звертає на себе увагу той факт, що в Європейській системі надійності визначення класу наслідств проектуємих мостів не є прерогативою проектувальника і встановлюється нормами проектування.

- [1] Гульванесян Х., Калгаро Ж.-А., Голицки М. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990. М.: МГСУ 2011.
- [2] ДБН В.1.3-22-2009 «Мости і труби. Основні вимоги проектування». – Мінрегіонбуд України, К.: – 2009.
- [3] ДБН В.1.2-14-2008 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ». – Мінрегіонбуд, Укрархбудінформ. – К.: – 2009.
- [4] ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN). – Мінрегіонбуд, Укрархбудінформ. – К.: – 2009.
- [5] Інтернет ресурс [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_bridge\\_failures](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures)
- [6] Ржаницын А.П. Строительная механика. М.: Высш. школа. – 1982.
- [7] AASHTO Manual for Bridge Evaluation. – 2008.
- [8] Assuring Bridge Safety and Serviceability in Europe. International Technology Scanning Program. 2010 (доступно на <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl10014/pl10014.pdf>).
- [9] BS EN 1990:2002+A1:2005. National annex for EN 1990.
- [10] Diamantidis D. Probabilistic Assessment of Existing Structures. Joint Committee on Structural Safety, RILEM Publications S.A.R.L., – 2001.
- [11] EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. European Committee for Standardization. Brussels: – 2003.
- [12] Faber M.H., Khbler O., Fontana M. and Knobloch M., 2004. Failure Consequences and Reliability Acceptance Criteria for Exceptional Building Structures. Оценка July 2004. Zurich: Institute of Structural Engineering, Swiss Federal Institute of Technology.
- [13] Federal Emergency Management Agency (FEMA), HAZUS-MH MR3 Technical Manual, Washington D.C. (доступно на <http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/>, accessed on April 30th, 2011).
- [14] Ferry-Borges J. and Castanheta M. «Structural Safety». – Laboratório Nacional de Engenharia Civil. – Lissabon 1971.
- [15] 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.
- [16] Imam B. & Chryssanthopoulos M. Bridge Failure Consequences. Final Conference, COST Action TU0601, Robustness of Structures, 30–31 May 2011, Prague.
- [17] ISO 13822-2010. Bases for design of structures – Assessment of existing structures. Geneva, Switzerland.
- [18] ISO 2394, General principles on reliability for structures. 2nd edn. Geneva, Switzerland, 1998.
- [19] JCSS Probabilistic Model Code. Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001.
- [20] JCSS: Background documentation, Part 1 of EC 1 Basis of design, 1996.
- [21] JCSS: Probabilistic model code. JCSS working materials, <http://www.jcss.ethz.ch/>, 2001.
- [22] Lee Seung Han and coll. Differentiation of Target Reliability and Design Life in Design of Long-span Cable-supported Bridges. 37th Madrid IABSE Symposium 2014.
- [23] Reference Guide for Applying Risk and Reliability-Based Approaches for Bridge Scour Prediction, 2012.
- [24] Schneider J. Introduction to Safety and Reliability of Structures. IABSE. – Zurich, 1997.
- [25] Sorensen J.D. Reliability Based Optimization of Structural Systems. Proceedings of the 13th IFIP conference. V.113: 1987.
- [26] Sorensen J.D., I.B. Kroon and M.H. Faber: Optimal Reliability-Based Code Calibration. Structural Safety, Vol. 14, 1994, pp. 197–208.
- [27] Structures design manual for highways and railways. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. – Hong Kong: 2013.
- [28] Sykora M., Holicky M. and Markov J., 2011. Target reliability levels for assessment of existing structures, In: Proc. ICASP11, 1–4 August 2011 CRC Press/Balkema, pp. 1048–1056.
- [29] Vrouwenvelder A.C.W.M. (2012) Target reliability as a function of the design working life. International Forum on Engineering Decision Making. 6th IFED Forum. Lake Louise. Canada. January 26–29, 2012.

Надійшла 04.08.2016 р.