

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 624.21-027.45/.049.5

А. И. ЛАНТУХ-ЛЯЩЕНКО

Кафедра «Мосты и тоннели», Национальный транспортный университет, ул. Суворова 1, Киев, Украина, 01010, тел. +38 095 274 80 25, ел. почта albert.lantoukh@gmail.com, ORCID 0000-0002-6642-2359

ЕВРОПЕЙСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОЕКТИРУЕМЫХ МОСТОВ

Цель. 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. **Методика.** Теоретическое исследование. **Результаты.** Выполненный в рамках этого исследования анализ аппарата управления надежностью мостов дает основание предлагать принять концепцию Еврокода для управления надежностью мостов Украины. **Научная новизна** Концепция надежности Еврокода основана на новейших достижениях в теории сооружений европейских ученых. **Практическая значимость.** Рассматриваемый аппарат принят как практический инструмент управления надежностью и ресурсом мостов всеми странами Европы.

Ключевые слова: надежность; класс последствий; характеристика безопасности

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 (J. D. Sørensen), М. Х. Фабер (M. H. Faber), Й. Ферри-Боржес (J. Ferry-Borges), Й. Шнейдер (J. Schneider), Р. Раквитц (R. Rackwitz), Т. Вроуенвельдер (T. Vrouwenvelder) были авторами фундаментального теоретического исследования, названного «Типовая вероятностная модель» (Probabilistic Model Code, 1996) [24]. Которое стало базисом для разработки европейского стандарта ISO 2394-1998 «Общие принципы оценки надежности строительных конструкций» [21], стандарта ISO 13822 «Основы проектирования конструкций – Техническая оценка эксплуатируемых конструкций», 2003 [20].

Эти документы, излагающие теоретические подходы оценки надежности строительных конструкций стали в 80-90 гг. 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 [21]. 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 соответствующих принимаемому уровню надежности элементов.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Предметом анализа в этой статье есть первые два фактора.

Понятие «класс последствий» (англ.: «consequences classes») получило свою нынешнюю трактовку в европейском стандарте ISO 2394 [21] и в заглавном документе Еврокода – EN 1990, 2002 [11] (гармонизированный документ – ДСТУ-Н Б.В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN)). Это понятие, 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 [11] как описание уровней потерь и ущерба (табл. 1).

Таблица 1

Классификация классов последствий отказа строительных объектов [11]

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

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 (см. союз **и** в табл. 1)

Численных критериев категорий потерь «очень большие», «значительные», «малые» Еврокод 1990 [11] не устанавливает. Нет таких критериев и в международном стандарте ISO 2394-1998 [21].

Вероятностные потери классифицируются здесь, следуя чисто лингвистическим определениям.

Понятия категорий потерь были предметом обширных научных исследований и дискуссий в 80-90 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 [21] 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 [21] как дифференциация надежности.

В других терминах [11], «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 табл. 2

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

Примечание. 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 – характеристика безопасности для базового периода.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

Мосты. 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 [21, 8, 9, 11], США [7], Южной Кореи [25], Гонконга [30].

В начале этого столетия в мире было опубликовано тысячи исследований, посвященных определению класса последствий автодорожных и железнодорожных мостов. Ниже приведен анализ 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 стало принятым 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, мостов с пролетами более 150 м и других 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 150m) 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 [1], 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 чело-

век. 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».

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 СС3. В соответствии с европейскими нормативными документами [11, 20, 21] к классу СС3 относятся мосты риск материальных и социальных потерь или угроза для окружающей среды являются **очень большим** (economic, social or environmental consequences **very great** [11, 21], см. табл. 1). Многочисленные исследования, выполненные в последние 15-20 лет [15, 25, 27, 28, 29, 31, 32] показывают, что по фактору материальных, социальных и экологических потерь к классу СС3 относятся уникальные мосты, такие, например, как вантовые больших пролетов, подвесные мосты, 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 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**»).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

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 Белт Восточный (Great Belt East Bridge) общей длиной 6,8 км имеет центральный пролет в 1624 м (рис. 1). Стоимость сооружения моста 4,8 миллиардов евро в ценах 2002 г. (115 миллиардов грн. в ценах 2015 г.).



Рис. 1. Главный пролет моста Большой Белт Восточный

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 [25]. 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.

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, 3, 4]. Вкратце рекомендованный алгоритм состоит в следующем.

Таблица 3

Классы последствий сооружений [25]

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	Выдающиеся мосты подвесных систем	$4,00 P_F = 3,16 \cdot 10^{-5}$	Средне-геометрическое между СС2 и СС3

Заданный уровень надежности обеспечивается соблюдением неравенства

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

где β – значение характеристики безопасности вычисленное относительно проектируемого элемента; $\beta_{\text{ном}}$ – минимальное значение характеристики безопасности соответствующее уровню надежности RC2.

Характеристика безопасности вычисляется по формуле

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

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

где μ_G и σ_G – первые моменты распределения (математическое ожидание и стандарт) функции граничного состояния; μ_R – среднее значение обобщенного сопротивления элемента; μ_E – среднее значение обобщенной нагрузки элемента сооружения; σ_R – среднее квадратичное отклонение (стандарт) обобщенного сопротивления элемента сооружения; σ_E – среднее квадратичное отклонение обобщенной нагрузки элемента сооружения.

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

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

Здесь 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.

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.

Выводы

1. Европейская система управления надежностью проектируемых строительных объектов основана на положениях международного стандарта ISO 2394-1998 «Общие принципы оценки надежности строительных конструкций» [21]. 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. Обращает на себя внимание тот факт, что в Европейской системе надежностью определение класса последствий проектируемых мостов не является прерогативой проектировщика и устанавливается нормами проектирования.

4. 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.

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.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування [Текст]. – Надано чинності 2007-02-01. – Київ : Мін. буд., архіт. та житл.-комун. госп-ва, 2006. – 359 с.
3. ДБН В.2.3-22:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст]. – Надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
4. ДСТУ-Н Б. В.2.3-23:2009 Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002 Мости та труби. Оцінка технічного стану автодорожніх мостів, що експлуатуються ; надано чинності 2009-11-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
5. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures
6. Ржаницын, А. Р. Строительная механика [Текст] / А. Р. Ржаницын. – Москва : Высш. школа, 1982.
7. AASHTO Manual for Bridge Evaluation. 2008.
8. Assuring Bridge Safety and Serviceability in Europe. International Technology Scanning Program, 2010. Available at: <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl10014/pl10014.pdf>.
9. BS EN 1990:2002+A1:2005. National annex for EN 1990.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

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. Enright M. P., Frangopol, D. M. Service-Life Prediction of Deteriorating Concrete Bridges. Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 124, no.3, pp. 309-317, 1998
13. Euro-International Concrete Committee. CEB-FIP Model Code 90. CEB Bulletins 203-205. FIB, Lausanne, 1991.
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. (accessed on 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. 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 at 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.
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.

А. І. 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

ЄВРОПЕЙСЬКА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ МОСТІВ, ЩО ПРОЕКТУЮТЬСЯ

Мета. Стаття присвячена проблемі управління надійністю мостів протягом життєвого циклу. Розглядається апарат, прийнятий у Єврокодi. Як інструмент управління безпекою виступає класифікація споруд за прогнозом збитку, викликаного можливим руйнуванням споруди. **Методика.** Теоретичне дослідження. **Результати.** Виконаний у рамках цього дослідження аналіз апарату управління надійністю мостів дає підстави пропонувати прийняти концепцію Єврокодiв для управління надійністю мостів України. **Наукова новизна.** Концепція надійності Єврокодiв заснована на новiтніх досягненнях в теорiї споруд європейських учених. **Практичне значення.** Розглянутий апарат прийнятий як практичний інструмент управління надійністю і ресурсом мостів усіма країнами Європи.

Ключові слова: надійність; клас наслідків; характеристика безпеки

A. I. LANTOUKH-LYASHENKO

Dep. of «Bridges and Tunnels», National Transport University, 1, Suvorova, Str., Kiev, Ukraine, 01010, tel. +38 095 274 80 25, e-mail albert.lantoukh@gmail.com, ORCID 0000-0002-6642-2359

EUROPEAN SECURITY MANAGEMENT SYSTEM DESIGNED BRIDGES

Purpose. 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. **Methodology.** Theoretical study. **Findings.** Performed as part of this study an analysis of the management provides a reliable bridge Bation offer to accept the concept of Eurocode for reliability management of bridges in Ukraine. **Originality.** of the concept of Eurocode reliability based on the latest achievements in the theory of co-armed European scientists. **Practical value.** The apparatus in question is accepted as practical management tool reliability and service life of bridges by all the countries of Europe.

Keywords: reliability; consequences class; 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.2.3-14-2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannya* [State Standard V.2.3-14-2006. Transport constructions. Bridges and pipes. Design rule]. Kyiv, Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Publ., 2006. 359 p.
3. *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.
4. *DSTU-N B.V.2.3-23-2013. Sporudy transportu. Nastanova z otsinyuvannya i prognozuvannya tehnicnogo stanu avtodorozhnikh 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.
5. *Vikipediya* [Wikipedia]. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures
6. Rzhanytsyn A. R. *Stroitel'naya mekhanika* [Structural mechanics]. Moscow, Vyssh. Shkola Publ., 1982.
7. *AASHTO Manual for Bridge Evaluation*. 2008.
8. Assuring Bridge Safety and Serviceability in Europe. *International Technology Scanning Program*, 2010. Available at: <http://internaional.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. Enright M. P., Frangopol, D. M. Service-Life Prediction of Deteriorating Concrete Bridges. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, vol. 124, no.3, pp. 309-317, 1998
13. Euro-International Concrete Committee. *CEB-FIP Model Code 90. CEB Bulletins 203-205*. FIB, Lausanne, 1991.
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/accessed> on
16. Ferry-Borges J., Castanheta M. Structural Safety. *Laqboratorio Nacional de Engenharia Civil*. Lissabon, 1971.
17. Gulvanessian H., Calgario 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.

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

20. ISO 2394. *General principles on reliability for structures*. 2nd edn. Geneva, 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.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н, проф. В. Д. Петренко (Україна), д.т.н., проф. В. В. Кулябко (Україна).

Надійшла до редколегії 16.09.2015.

Прийнята до друку 28.09.2015.