

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КЛАССА ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗА МОСТОВ

Стаття присвячена проблемі управління надійністю мостів протягом життєвого циклу. В якості інструменту управління безпекою виступає класифікація споруд за прогнозом збитку, викликаного можливим руйнуванням споруди.

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

The paper deals with the problem of reliability management of bridges over the life cycle. As a tool for security management acts classification structures as predicted by the damage caused by possible destruction facilities

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. Вроувенвельдер (T. Vrouwenvelder), – были авторами фундаментального теоретического исследования, названного «Типовая вероятностная модель» (Probabilistic Model Code, 1996) [20], которое стало базисом для разработки европейского стандарта ISO 2394-1998 «Общие принципы оценки надежности строительных конструкций» [17], стандарта ISO 13822 «Основы проектирования конструкций – Техническая оценка эксплуатируемых конструкций» 2003 [16].

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 [2, 7].

Украиной подобный национальный нормативный документ управления надежностью ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» [1] был принят в 2009 г.

Классификация классов последствий

Понятие «класс последствий» (англ.: «consequences classes») получило свою нынешнюю трактовку в европейском стандарте ISO 2394 [17] и в заглавном документе Еврокода – EN 1990, 2002 [7] (гармонизированный документ – ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN) [2]. 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 [7] как описание уровней потерь и ущерба (табл. 1).

Таблица 1

Классификация классов последствий отказа строительных объектов

Класс последствий	Описание
СС3	Значительные последствия – потери человеческой жизни, или экономические, социальные последствия или последствия для окружающей среды являются очень большими
СС2	Средние последствия – потери человеческой жизни, или экономические, социальные последствия или последствия для окружающей среды являются значительными
СС1	Незначительные последствия – потери человеческой жизни, или экономические, социальные последствия или последствия для окружающей среды являются малыми или незначительными

Подобным образом классифицируются последствия отказа строительных объектов и в национальных нормах ДБН В.1.2-14-2009 [1].

Каждому классу последствий (СС) соответствует класс надежности сооружений (Reliability Classes – RC). Процедура определения класса надежности проектируемых сооружений в рамках нормативного

документа именуется европейским стандартом ISO 2394 [17] как *дифференциация надежности*.

В других терминах [7] «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 [7] представлены в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендованные минимальные значения характеристики безопасности по несущей способности

Класс надежности (класс последствий)	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

Мосты. Определение класса последствий.

Класс последствий отказа проектируемых мостов будем определять, следуя оценкам таких факторов риска, как: опасности здоровью и жизни людей; уровня материальных, социальных потерь, связанных с прекращением эксплуатации сооружения. Сегодня это общепринятая практика в странах Европы [17, 7] и в национальных нормах [1]. Рассмотрим определение класса последствий в функции названных факторов.

Опасность для здоровья и жизни людей.

В нормах ДБН В.1.2-14-2009 [1] по опасности для здоровья и жизни людей, которые периодически пребывают на сооружении, классифицируются как CC2 при 50-1000 человек и более 1000 как CC3. Теоретически можно представить ситуацию, при которой в момент разрушения одного или нескольких пролетов, на мосту пребывает более 1000 человек. Однако в 100-летней истории аварий мостов в мире, пострадавшими в которой стали более 400 человек не было [3]. Таким образом, классификация мостов как CC3 по фактору опасности здоровью и жизни людей [1] исключается.

Для систематизации последствий класса CC2 прибегнем к данным зарегистрированных в мире (без постсоветских стран) аварий мостов за последние 15 лет [3]. Всего описано 37 аварий, в них *среднее количество*

пострадавших составило 49 чел. (погибших и раненых), два случая максимального количества пострадавших 355 и 306, два случая пострадавших более 100 – 139 и 114 человек. Эти данные с одинаковой достоверностью позволяют утверждать, что по фактору опасности здоровью и жизни людей не следует причислять мосты к классу СС2 или наоборот – полагать, что по этому фактору мосты принадлежат классу последствий СС2. Впрочем, в рамках нашего исследования, достаточно вывода о том, что по фактору опасности здоровью и жизни людей мосты не принадлежат к классу СС3 и дальнейшее исследование выполнить, следуя модели возможных материальных и социальных потерь.

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 и национальными нормами [1, 7, 16, 17] 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* [7, 17], табл. 1). Многочисленные исследования, выполненные в последние 15-20 лет [22, 23, 24, 25, 26, 11, 21], 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) [5], 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 ССЗ в европейских стандартах [7].

В работе [6] приводится пример моста класса ССЗ в Европе. Это транспортный переход в Дании через одноимённый пролив, он соединяет 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.).

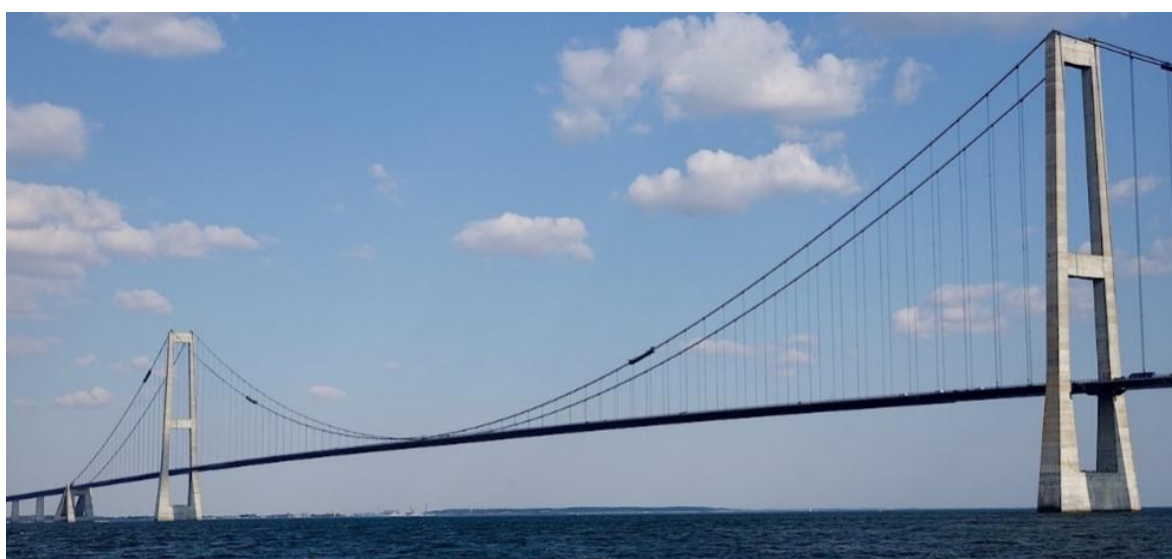


Рис. 1. Главный пролет моста Большой Белт Восточный

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 [21]. Требования минимальной надежности для мостов подвесных систем из этой работы приводятся ниже в табл.3.

Наконец отметим, что класс последствий мостов, проектируемых по Еврокоду [7], определяется как СС2.

Таким образом, изложенное дает основания полагать, что мосты Украины, как проектируемые, так и находящиеся в эксплуатации, к классу последствий ССЗ не относятся.

Таблица 3.

Классы последствий сооружений [21]

Уровень последствий	Примеры зданий и сооружений	Надежность, β (граничное состояние по прочности)	Класс последствий (по EN 1990)
Высокий	Гражданские здания. Широко распространенные мосты, <u>мосты подвесных систем</u>	3,72 ($P_F = 10^{-4}$)	СС2
Очень высокий	<u>Выдающиеся мосты подвесных систем</u>	4,00 ($P_F = 3,16 \cdot 10^{-5}$)	Среднегеометрическое между СС2 и СС3

Выводы 1. Класс последствий отказа мостов как инструмент дифференциации надежности сооружения устанавливается в рамках нормативного документа, регламентирующего общие требования проектирования. В других терминах, процедура определения минимального уровня надежности не является прерогативой проектировщика и устанавливается нормами проектирования.

Национальный документ ДБН В.1.2-14-2008[2] декларирует общие принципы обеспечения безопасности зданий и сооружений, ориентированные на обеспечение унификации подходов к вопросам надежности и безопасности **в нормативных документах**, регламентирующих все этапы жизненного цикла строительного объекта. Эти нормы предназначены для *«использования в качестве руководящего документа при разработке строительных норм, стандартов и других документов по проектированию, строительству, реконструкции и эксплуатации объектов и их составных частей»* [2, п. 1.3].

2. Представленным здесь исследованием доказано, что проектируемые в Украине в ближайшие 30-40 лет мосты относятся к классу СС2. Можно утверждать, что в течение этого периода не возникнет необходимость проектирования мостов класса СС3, а финансирование такого транспортного объекта не представится возможным для экономики страны.

Список использованных источников

1. Гульванесян Х., Калгаро Ж.-А., Голицки М. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1990. – М.: МГСУ, 2011.

2. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009: затв. Мінрегіонбудом України 30.12.2008 [Чинні від 2009-12-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
3. Системи надійності та безпеки у будівництві. Основи проектування конструкцій: ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008 (EN 1990:2002, IDN) [Чинний від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 81 с.
4. Інтернет-ресурс https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures.
5. Assuring Bridge Safety and Serviceability in Europe. International Technology Scanning Program. 2010 (доступно на <http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl10014/pl10014.pdf>)
6. DIAMANTIDIS, D. Probabilistic Assessment of Existing Structures. Joint Committee on Structural Safety, RILEM Publications S.A.R.L., 2001.
7. EN 1990:2002 Eurocode - Basis of structural design. European Committee for Standardization. Brussels: 2003.
8. Enright, M.P. and Frangopol, D.M. «Service-Life Prediction of Deteriorating Concrete Bridges». Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.124, No.3, pp. 309-317,1998
9. Euro-International Concrete Committee. CEB-FIP Model Code 90. CEB Bulletins 203-205. FIB, Lausanne. – 1991.
10. FABER, M.H., KHBLE, O., FONTANA, M. and KNOBLOCH, M., 2004. Failure Consequences and Reliability Acceptance Criteria for Exceptional Building Structures. July 2004. Zurich: Institute of Structural Engineering, Swiss Federal Institute of Technology.
11. 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)
12. Ferry-Borges, J. and Castanheta, M. «Structural Safety». – Laqboratorio Nacional de Engenharia Civil. – Lissabon, 1971
13. Gulvanessian, H. – Calgaro, J.-A. – Holicky, M.: Designer's Guide to EN 1990, Eurocode:
14. GULVANESESIAN, H., CALGARO, J.-A. and HOLOCKY, M., Designers' Guide To EN 1990, Eurocode: Basis of structural Design, Thomas Telford, London, 2002, ISBN: 07277 3011 8
15. Imam B. & Chryssanthopoulos M. Bridge Failure Consequences. Final Conference, COST Action TU0601, Robustness of Structures, 30-31 May 2011, Prague
16. ISO 13822. Bases for design of structures - Assessment of existing structures, 2003. 35 pp.

17. ISO 2394, General principles on reliability for structures. 2nd edn. Geneva, Switzerland, 1998
18. JCSS Probabilistic Model Code. Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001
19. JCSS: Background documentation, Part 1 of EC 1 Basis of design, 1996.
20. JCSS: Probabilistic model code. JCSS working materials, <http://www.jcss.ethz.ch/>, 2001.
21. 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.
22. Schneider, J., Introduction to Safety and Reliability of Structures. IABSE. – Zurich, 1997.
23. Sørensen, J.D. Reliability Based Optimization of Structural Systems. Proceedings of the 13th IFIP conference. V.113: 1987.
24. Sørensen, J.D., I.B. Kroon and M.H. Faber: Optimal Reliability-Based Code Calibration. Structural Safety, Vol. 14, 1994, pp. 197-208
25. 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.
26. 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. ISO 13822, 2010. Bases for design of structures - Assessment of existing structures. Geneva, Switzerland.

Стаття надійшла до редколегії 11.11.2015