

А.Г. ТАМРАЗЯН<sup>1</sup>, Т.А. МАЦЕЕВИЧ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ С КОРРОДИРОВАННОЙ АРМАТУРОЙ

**Аннотация.** На надежность расчетных характеристик любой конструкции влияет как эксплуатационная нагрузка, так и износ самого материала из-за воздействия окружающей среды. В данной статье проведена вероятностная оценка железобетонных элементов, подверженных проникновению хлора. Для исследования была использована свободно опертая железобетонная плита. В математической модели потери несущей способности арматуры под коррозией были включены известные методики, разработанные многими авторами.

Неопределенность прочности и приложенной нагрузки были полностью учтены с помощью вероятностного метода. Функция предельного состояния несущей способности железобетонной изгибаемой плиты была разработана и оценена с использованием метода надежности первых моментов.

Весь процесс был реализован с помощью разработанной программы MATLAB.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, коррозия, скорость коррозии, проникновение хлора, потеря несущей способности, конструктивная надежность, коэффициент вариации, неопределенность.

A.G. TAMRAZYAN<sup>1</sup>, T.A. MATSEEVICH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia

## RELIABILITY ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH CORRODED REINFORCEMENTS

**Abstract.** The reliability of the design characteristics of any design is influenced by both the operating load and the wear of the material itself due to environmental influences. This article provides a probabilistic assessment of reinforced concrete elements exposed to chlorine penetration. A freely supported reinforced concrete slab was used for the study. Well-known techniques developed by many authors were included in the mathematical model of the loss of the bearing capacity of reinforcement under corrosion.

Uncertainties in strength and applied load were fully accounted for using the probabilistic method. The limit state function of the bearing capacity of a reinforced concrete bending slab was developed and evaluated using the first moment's reliability method.

The whole process was implemented using the developed MATLAB program.

**Keywords:** reinforced concrete structures, corrosion, corrosion rate, chlorine penetration, loss of bearing capacity, structural reliability, coefficient of variation, uncertainty.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Torres-Acosta, A., and Sagues, A. A. (2004). "Concrete cracking by localized steel corrosion-geometric effects". ACI Materials Journal, 101, 501.
2. Tamrazyan A.G., Mineev M.S., Zhukova L.I. Influence of chloride corrosion on probabilistic assessment of bearing capacity of beamless slabs overlap. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. XXVIII R-P-S Seminar 2019. 2019. С. 012052.

© Тамразян А.Г., Мацеевич Т.А., 2022

3. Lushnikova V.Y., Tamrazyan A.G. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete. *Magazine of Civil Engineering*, 2018. № 4 (80). С. 128-137.
4. Neville A. M., and Brooks J.J. (1994). "Concrete technology". Longman Scientific and Technical, England, 1994.
5. Bordallo-Ruiz A., McNally C., Caprani C.C., and O'Brien E.J. (2007). "The structural reliability of bridges subject to time-dependent deterioration". *Proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*.
6. Liu Y., and Weyers, R.E. (1998). "Modelling the time-to corrosion cracking of the cover concrete in chloride contaminated reinforced concrete structures". *ACI Materials Journal*, 95, 675-681.
7. Frangopol D. M., and Moses F. (1994). "Reliability-based structural optimization. Advances in design optimization". H. Adeli, ed., Chapman and Hall, Ltd., London, England, 492-570.
8. Frangopol D. M., and Hendawi, S. (1994). "Incorporation of corrosion effects in reliability-based optimization of composite hybrid plate girders". *Struct. Safety*, 16 (1,2), 145-169.
9. Thoft-Christensen, P. (2002). "Deterioration of concrete structures". *First International Conference on Bridge Safety and Management*. Barcelona 14-15 July, 1-8.
10. Li C. Q. (2005). "Life cycle modeling of corrosion affected concrete structures-initiation". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15 (6), 594-601.
11. Тамразян А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении. *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 2. С. 19-26.
12. Тамразян А.Г. К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение // *Бетон и железобетон*. 2001. №5. С.8-10.
13. Смоляго Г.А. Исследование аспектов хлоридной коррозии железобетонных конструкций / Смоляго Г.А., Крючков А.А., Дрокин С.В., Дронов А.В. // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2014. №2. С.22-24.
14. Меркулов С.И. Исследование работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений /С.И. Меркулов, Е.Г Пахомова, А.В. Гордеев, А.С. Маяков // *Известия Курского государственного технического университета*. 2009. № 4. С. 74-78.
15. Lin K.Y., and Frangopol D.M. (1996). "Reliability based optimum design of reinforced concrete girders". *Struct. Safety*, 18 (213), 239-258.
16. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. *Научное обозрение*. 2015. № 8. С. 87-92.
17. Васильев А.И. Оценка коррозионного износа рабочей арматуры в балках пролетных строений автодорожных мостов /А.И. Васильев // *Бетон и железобетон*. 2000. №2. С. 20-23.
18. Mori Y., and Ellingwood, B.R. (1994). "Maintaining reliability of concrete structures I: Role of inspection/repair". *J. Struct. Engr., ASCE*, 120 (3), 824-845.
19. Melchers R. E. (2001). "Assessment of existing structures – approaches and research needs". *Journal of Structural Engineering*, 127 (4), 406-411.
20. Дудина И.В., Тамразян А.Г. Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. *Жилищное строительство*. 2001. № 3. С. 8-10.
21. Тамразян А.Г. Расчет элементов конструкций при заданной надежности и нормальном распределении нагрузки и несущей способности. *Вестник МГСУ*. 2012. № 10. С. 109-115.
22. Аскадский А.А., Мацевич Т.А. Новейшие разработки моделей и расчётных схем для количественного анализа физических свойств полимеров // *Успехи физической науки* 190 179–210 (2020).
23. Tamrazyan A., Popov D. Reduce of bearing strength of the bent reinforce-concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. В сборнике: *MATEC Web of Conferences*. 2017. С. 00162.
24. Ditlevsen, O., and Madsen, H.O. (2005). "Structural Reliability Methods". Internet Edition.
25. Eurocode 2. (2008). "Design of reinforced concrete structures, part 1-1, general rules and rules for buildings". CEN, Brussels.
26. СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85

## **REFERENCES**

1. Torres-Acosta A., and Sagues A. A. (2004). "Concrete cracking by localized steel corrosion-geometric effects". *ACI Materials Journal*, 101, 501.
2. Tamrazyan A.G., Mineev M.S., Zhukova L.I. Influence of chloride corrosion on probabilistic assessment of bearing capacity of beamless slabs overlap. В сборнике: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. XXVIII R-P-S Seminar 2019. 2019. С. 012052.

3. Lushnikova V.Y., Tamrazyan A.G. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete. Magazine of Civil Engineering, 2018. № 4 (80). С. 128-137.
4. Neville A. M., and Brooks, J.J. (1994). "Concrete technology". Longman Scientific and Technical, England, 1994.
5. Bordallo-Ruiz A., McNally C., Caprani C. C., and O'Brien, E. J. (2007). "The structural reliability of bridges subject to time-dependent deterioration". Proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing.
6. Liu Y., and Weyers R.E. (1998). "Modelling the time-to corrosion cracking of the cover concrete in chloride contaminated reinforced concrete structures". ACI Materials Journal, 95, 675-681.
7. Frangopol D. M., and Moses F. (1994). "Reliability-based structural optimization. Advances in design optimization". H. Adeli, ed., Chapman and Hall, Ltd., London, England, 492-570.
8. Frangopol D. M., and Hendawi S. (1994). "Incorporation of corrosion effects in reliability-based optimization of composite hybrid plate girders". Struct. Safety, 16 (1,2), 145-169.
9. Thoft-Christensen P. (2002). "Deterioration of concrete structures". First International Conference on Bridge Safety and Management. Barcelona 14-15 July, 1-8.
10. Li C. Q. (2005). "Life cycle modeling of corrosion affected concrete structures-initiation". Journal of Materials in Civil Engineering, 15 (6), 594-601.
11. Tamrazyan A.G., Popov D.S. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh elementov pri dinamicheskom nagruzhении. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2019. № 2. S. 19-26.
12. Tamrazyan A.G. K otsenke riska chrezvychaynykh situatsiy po osnovnym priznakam yego proyavleniya na sooruzheniye // Beton i zhelezobeton. 2001. №5. S.8-10.
13. Smolyago G.A. Issledovaniye aspektov khloridnoy korrozii zhelezobetonnykh konstruksiy / Smolyago G.A., Kryuchkov A.A., Drokin S.V., Dronov A.V. // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2014. №2. S.22-24.
14. Merkulov S.I. Issledovaniye rabotosposobnosti izgbayemykh zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom korrozionnykh povrezhdeniy / S.I. Merkulov, Ye.G. Pakhomova, A.V. Gordeyev, A.S. Mayakov // Izvestiya Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2009. № 4 .S.74-78.
15. Lin K.Y., and Frangopol, D.M. (1996). "Reliability based optimum design of reinforced concrete girders". Struct. Safety, 18 (213), 239-258.
16. Tamrazyan A.G., Manayenkov I.K. K raschetu ploskikh zhelezobetonnykh perekrytiy s uchetom fakticheskoy zhestkosti secheniya. Nauchnoye obozreniye. 2015. № 8. S. 87-92.
17. Vasil'yev A.I. Otsenka korrozionnogo iznosa rabochey armatury v balkakh proletnykh stroyeniy avtodorozhnykh mostov /A.I. Vasil'yev // Beton i zhelezobeton. 2000. №2. S.20-23.
18. Mori Y., and Ellingwood B. R. (1994). "Maintaining reliability of concrete structures I: Role of inspection/repair". J. Struct. Engr., ASCE, 120 (3), 824-845.
19. Melchers R. E. (2001). "Assessment of existing structures – approaches and research needs". Journal of Structural Engineering, 127 (4), 406-411.
20. Dudina I.V., Tamrazyan A.G. Obespecheniye kachestva sbornykh zhelezobetonnykh konstruksiy na stadii izgotovleniya. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2001. № 3. S. 8-10.
21. Tamrazyan A.G. Raschet elementov konstruksiy pri zadannoy nadezhnosti i normal'nom raspredelenii nagruzki i nesushchey sposobnosti. Vestnik MGSU. 2012. № 10. S. 109-115.
22. Askadskiy A.A., Matseyevich T.A. Noveyshiye razrabotki modeley i raschetnykh skhem dlya kolichestvennogo analiza fizicheskikh svoystv polimerov // Uspekhi fizicheskoy nauki 190 179–210 (2020).
23. Tamrazyan A., Popov D. Reduce of bearing strength of the bent reinforced concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2017. С. 00162.
24. Ditlevsen O., and Madsen H. O. (2005). "Structural Reliability Methods". Internet Edition.
25. Eurocode 2. (2008). "Design of reinforced concrete structures, part 1-1, general rules and rules for buildings". CEN, Brussels.
26. SP 28.13330.2017 Zashchita stroitel'nykh konstruksiy ot korrozii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 2.03.11-85.

#### **Информация об авторах:**

**Тамразян Ашот Георгиевич**

Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: [tamrazian@mail.ru](mailto:tamrazian@mail.ru)

**Мацевич Татьяна Анатольевна**

Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),  
г. Москва, Россия,  
доктор физико-математических наук, заведующая кафедрой Высшей математики.  
E-mail: [matseevichta@mgsu.ru](mailto:matseevichta@mgsu.ru)

**Information about the authors:**

**Tamrazyan Ashot G.**

Moscow National Research "Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia,  
doctor of technical sciences, professor, Head of the department of Reinforced concrete and masonry structures.  
E-mail: [tamrazian@mail.ru](mailto:tamrazian@mail.ru)

**Matsevich Tatiana An.**

National Research "Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia,  
doctor of physics and mathematics Sciences, Head of the department of Higher Mathematics.  
E-mail: [matseevichta@mgsu.ru](mailto:matseevichta@mgsu.ru)