

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№ 1 (117) 2025

Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of
engineering

Безопасность зданий
и сооружений

Building and

Архитектура
и градостроительство

Architecture
and urban

Строительные материалы
и технологии

Building
materials



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

Главный редактор:

Колчунов В.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Заместители главного редактора:

Гордон В.А., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Коробко В.И., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Савин С.Ю., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*

Финадеева Е.А., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*

Редколлегия:

Акимов П.А., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Бакаева Н.В., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Бок Т., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*

Булгаков А.Г., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*

Ерофеев В.Т., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Есаулов Г.В., *акад. РААСН, д-р арх., проф. (Россия)*

Карпенко Н.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Колесникова Т.Н., *д-р арх., проф. (Россия)*

Колчунов В.И., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Коробко А.В., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Король Е.А., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Кривошапко С.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Кудряшов Н.Н., *канд. арх., проф. (Россия)*

Лефай З., *д-р техн. наук, проф. (Франция)*

Мелькумов В.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Орлович Р.Б., *д-р техн. наук, проф. (Польша)*

Птичникова Г.А., *д-р арх., проф. (Россия)*

Реболл Д., *д-р техн. наук, проф. (Словения)*

Римшин В.И., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Тамразян А.Г., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Травуш В.И., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Трещев А.А., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Тур В.В., *д-р техн. наук, проф. (Белоруссия)*

Федоров В.С., *акад. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Федорова Н.В., *советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Россия)*

Шах Р., *д-р техн. наук, проф. (Германия)*

Исполнительный редактор:

Амелина М.А., *(Россия)*

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,
ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169
от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединённому каталогу «Пресса России»
на сайтах www.pressa-rf.ru и www.ake.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2025

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Кривошапко С.Н.** Торсовые поверхности на прямоугольном плане с двумя плоскими кривыми на противоположных торцах..... 3
- Люблинский В.А., Стручков В.С.** Экспериментальные исследования прочности и деформативности сварных соединений панельных зданий в условиях действия сдвига и кручения 16
- Сунь Г., Миронова Л.И., Лю Ч.** Изгибная жесткость болтовых фланцевых соединений балки с колонной..... 26
- Тамразян А.Г., Баряк Д.С.** Сцепление коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при огневом воздействии..... 40
- Чепизубов И.Г., Сафонов А.А., Моисеенко Г.А.** Совместная работа резьбовых механических соединений арматуры с бетоном..... 48

Безопасность зданий и сооружений

- Соловьев С.А., Шевцов Л.С., Соловьева А.А.** Вероятностный анализ надежности армированных балок из древесно-цементного композита..... 60
- Тур А.В.** Дифференциация мер надёжности при проверках живучести конструктивных систем в особых расчётных ситуациях..... 72

Архитектура и градостроительство

- Енин А.Е, Перова Н.В.** Архитектурное наследие государственных конных заводов России Беловодской группы XVIII - начала XX вв..... 91

Строительные материалы и технологии

- Логина С.А., Разговоров П.Б., Гоглев И.Н.** Поведение экспериментальных преобразователей коррозии металлов при пониженных температурах..... 104
- Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Шусев Г.А., Шейн А.Л.** Улучшение гидрофизических показателей модифицированного тяжелого бетона, работающего в суровых условиях эксплуатации..... 112

Editor-in-Chief

Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Editor-in-Chief Assistants:

Gordon V.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korobko V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Savin S.Yu., candidate sc. tech., docent
(Russia)

Finadeeva E.A., candidate sc. tech., docent
(Russia)

Editorial Board

Akimov P.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Bakaeva N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Bock T., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Bulgakov A.G., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Erofeev V.T., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Esaurov G.V., doc. arc., prof. (Russia)

Karpenko N.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Kolesnikova T.N., doc. arc., prof. (Russia)

Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korobko A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korol E.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Krivoshapko S.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Kudryashov N.N., candidate arc., prof.
(Russia)

Lafhaj Z., doc. sc. tech., prof. (France)

Melkumov V.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Orlovic R.B., doc. sc. tech., prof. (Poland)

Ptichnikova G.A., doc. arc., prof. (Russia)

Rebolj D., doc. sc. tech., prof. (Slovenia)

Rimshin V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Tamrazyan A.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Travush V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Treschev A.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Tur V.V., doc. sc. tech., prof. (Belorussia)

Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Iakovenko I.A., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Managing Editor:

Amelina M.A., (Russia)

The edition address:

302030, Oryol region., Oryol,

Moskovskaya Street, 77

+79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for
monitoring communications, information
technology and mass communications

The certificate of registration:

ПИ №ФС 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»

86294 on the websites www.ppressa-rf.ru and

www.akc.ru

© Orel State University, 2025

Contents

Theory of engineering structures. Building units

Krivoshapko S.N. Torse surfaces on a rectangular plan with two plane curves on the opposite ends.....	3
Lyublinskiy V.A., Struchkov V.S. Experimental study of strength and deformability welded joints panel buildings under conditions of shear and torsion.....	16
Sun G., Mironova L.I., Liu C. Bending rigidity of bolt end-plate connections of joint beam to column.....	26
Tamrazyan A.G., Baryak D.S. Bonding of corrosion-damaged reinforced concrete elements in case of fire impact.....	40
Chepizubov I.G., Safonov A.A., Moiseenko G.A. Joint operation of threaded mechanical connections of reinforcement with concrete.....	48

Building and structure safety

Solovev S.A., Shevcov L.S., Soloveva A.A. Probabilistic reliability analysis of reinforced wood-cement composite beams	60
Tur A.V. Differentiation of the target reliability measurements for structural systems robustness checking in accidental design situations.....	72

Architecture and urban planning

Enin A.E., Perova N.V. Architectural heritage of the state stud farms of Russia of the Belovodsk group of the XVIII – early XX centuries.....	91
--	----

Construction materials and technologies

Loginova S.A., Razgovorov P.B., Goglev I.N. Behavior of experimental metal corrosion converters at low temperatures.....	104
Tkach E.V., Filimonova Yu.S., Shusev G.A., Shein A.L. Improvement of hydrophysical properties of modified heavy-duty concrete working in severe operating conditions.....	112

С.Н. КРИВОШАПКО¹

¹ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва

ТОРСОВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ПЛАНЕ С ДВУМЯ ПЛОСКИМИ КРИВЫМИ НА ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ ТОРЦАХ

Аннотация. Исследования геометрических проблем торсовых поверхностей с ребром возврата, начало которым положил Г. Монж, не прекращаются до настоящего времени. Намного меньше работ посвящено изучению напряженно-деформированного состояния, устойчивости и колебаниям тонких торсовых оболочек. Видимо это связано с отсутствием реальных проектов сооружений в форме торсов, за исключением изделий в форме разворачивающихся геликоидов и объектов малой архитектуры. Предлагаемая статья посвящена реализации методики проектирования формы торсовой поверхности с двумя заданными направляющими плоскими кривыми на противоположных сторонах прямоугольного плана и прямыми образующими совпадающими с двумя другими сторонами прямоугольного плана. Теоретические построения проиллюстрированы и визуализированы с помощью компьютерной графики на пяти торсовых поверхностях с заданными условиями на краях прямоугольного плана. В качестве направляющих кривых выбраны алгебраические кривые второго порядка, суперэллипсы и биквадратная парабола. Перечень используемых плоских кривых можно без труда расширить, если кривые допускают задание в явном, параметрическом или векторном виде.

Ключевые слова: плоская кривая, алгебраическая кривая, суперэллипс, торсовая поверхность, неортогональные криволинейные координаты, торс с двумя плоскими кривыми, архитектура оболочек, судостроение.

S.N. KRIVOSHAPKO ¹

¹«The Peoples' Friendship University of Russia», Moscow

TORSE SURFACES ON A RECTANGULAR PLAN WITH TWO PLANE CURVES ON THE OPPOSITE ENDS

Abstract. Research of geometrical problems of torse surfaces with cuspidal edge, the outset of which was put by G. Monge, are not stopped till present time. Much less of works were devoted to study of stress-strain state, stability, and to vibration of thin torse shells. Apparently, this is connected with absence of real projects of structures in the form of torses, with the exception of products in the form of developable helicoids and objects of garden architecture. The offered paper is devoted to the realization of the methodic of design of form of torse surface with two directrix plane curves given in advance. This surface is placed on the rectangular plan and has the straight generatrices coinciding with two sides of this rectangular plan. Theoretical constructions were illustrated and visualized with the help computer graphics. Five torse surfaces with geometrical condition given in advance were constructed. Algebraical curves of the second order, superellipses, and biquadratic parabola were chosen as directrix curves. One can increase a list of used plane curves if curves can be defined in explicit, parametrical, or in vector form.

Key words: plane curve, algebraical curve, superellipse, torse surface, nonorthogonal curvilinear coordinates, torse with two plane curves, architecture of shells, shipbuilding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошапко С.Н., Барамзин А.Д. О применении торсовых оболочек// Военно-строительный бюллетень. 1979. №2. С.15-16.
2. Bhattacharya B. Theory of a new class of shells// Symposium on Industrialized Spatial and Shell Structures. Poland, 1973. P. 115-124.
3. Amol Bhanage. An overview of flat pattern development (FPD) methodologies used in blank development of sheet metal components of aircraft // Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. (IJMERR). April 2014. Vol. 3. No. 2. Pp. 33-43. ISSN 2278 – 0149 www.ijmerr.com
4. Hayakawa, K., Ohsaki, M. Form generation of discrete piecewise developable surface and its interior boundaries using local gauss map// Summaries of Technical Papers of Annual Meeting. Architectural Institute of Japan. 2023. Structures-1. 997–998. (in Japanese)
5. Кривошапко С.Н. Торсовые поверхности для перекрытия заданного прямоугольного плана// Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования. Спец. выпуск». 2002. №1. С. 47–51. ISSN 0869–8732
6. Пищулина И. Я., Кукушкина Е. В. Поверхности второго порядка. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 166 с. ISBN 978-5-321-02192-7
7. Кривошапко С.Н. Модельные поверхности соединительных участков двух трубопроводов// Монтажные и специальные работы в строительстве. 2005. № 10. С. 25–29. EDN: VYOTKL
8. Todd G. Nelson, Trent K. Zimmerman, Spencer P. Magleby, Robert J. Lang, and Larry L. Howell. Developable mechanisms on developable surfaces. *Science Robotics*. 13 Feb 2019. Vol. 4. Issue 27. eaau5171 [DOI: 10.1126/scirobotics.aau5171].
9. Булгаков В.Я. Конструирование поверхностей оболочек из отсеков торсов 4-го порядка// Прикладная геометрия и инженерная графика. Киев. 1976. Вып. 21. С. 134–137.
10. Krivoschapko S.N. Static analysis of shells with developable middle surfaces// Applied Mechanics Reviews. Vol. 51. No12. Part 1. December 1998. P. 731-746 [DOI: 10.1115/1.3098985 EID: 2-s2.0-0008891169].
11. Bhattacharya B. Membrane theory of new class of developable shells// Journal of Structural Engineering. 1983. Vol. 10, N. 3. P. 81–88.
12. Алёшина О.О., Иванов В.Н., Гринько Е.А. Исследование напряженного состояния торсовой оболочки одинакового ската аналитическим и численными методами // Строительная механика и расчет сооружений. 2020. № 6 (293). С. 2–13. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2020.6.2.13>
13. Weisstein, Eric W. Lamé Curve. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <https://mathworld.wolfram.com/LameCurve.html>
14. Павленко Г.Е. Об упрощенных формах судов. М.: Изд-во МРФ СССР, 1948. 28 с.
15. Polanski Stanislaw, Pianowski Leslaw. Rozwinięcia powierzchni w technice. Konstrukcje wspomaganie komputerowo. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe, PWN, 2001. 412 p.
16. Горбатович, Ж. Н. Конструирование торсовых поверхностей по двум плоским сечениям // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 5. Физико-математические науки. 1995. Вып. 2. С. 33-36. <https://elibrary.by/handle/123456789/65082>
17. Krivoschapko S.N., Shambina S.L. Design of developable surfaces and the application of thin-walled developable structures// Serbian Architectural Journal (SAJ). 2012. Vol. 4. № 3. P.298-317. DOI:10.5937/SAJ1203298K
18. Matvejevs Aleksandrs, Dzenite Ilona. New practical methods of analysis of second order curves on a plane // Proc.: 18th Conference of Applied Mathematics APLIMAT 2019. February 2019. Pp. 803-816.
19. Абрамович, Н.А., Нестерович Н.Д. Суперэллипс в экосистеме APPLE // Материалы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: в 2 т. УО "ВГТУ". Витебск, 2021. Том 2. С. 102–104 [URI: <http://rep.vstu.by/handle/123456789/14813>].
20. Баджория Г.Ч. Об одном методе построения развертки торсовой поверхности// Судостроение. 1984. № 9. С. 37–38.
21. Chalfant Julie Steele. Analysis and Design of Developable Surfaces for Shipbuilding. Dissertation: Naval Postgraduate School, California, USA, 1997. 109 p. <http://hdl.handle.net/10945/7877>
22. Ito Miori, Imaoka Haruki. A method of predicting sewn shapes and a possibility of sewing by the theory of developable surfaces// Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. Vol. 48. No 1. 2007. P. 42–51.
23. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. М.: ГТТИ, 1953. 544 с.
24. Абрамов Н. И., Александров В.Т. Об использовании математических методов оптимизации в проектировании // Строительная механика и расчет сооружений. 1989. № 4. С.40-41.
25. Francisco Perez-Arribas, Leonardo Fernandez-Jambrina. Computer-aided design of developable surfaces: designing with developable surfaces // Journal of Computers. October 2018. Vol. 13. Nu 10. Pp. 1171-1176. doi: 10.17706/jcp.13.10.1171-1176

26. Lawrence Snežana. Developable surfaces: their history and application. *Nexus Network Journal*. 2011. 13 (3): 701–714. DOI:10.1007/s00004-011-0087-z
27. Glaeser Georg; Gruber Franz. Developable surfaces in contemporary architecture // *Journal of Mathematics and the Arts*, 2007. Vol. 1. Issue 1. March 2007. pp. 59-71. DOI:10.1080/17513470701230004
28. Chao Yuan, Nan Cao, and Yang Shi. A survey of developable surfaces: from shape modeling to manufacturing. arXiv: 2304.09587v2 [cs. GR] 14 June 2023, 20 p. Дата обращения 6 декабря 2024.
29. Бхаттачария Биноянанда. Расчет оболочек в виде торсовых поверхностей с двумя произвольными плоскими направляющими кривыми. УДН: Дис. к.физ.-мат. наук. 1970. 177 с. <https://repository.rudn.ru/ru/records/dissertation/record/49668/>
30. Кривошапко С.Н. Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек: Монография. М.: Изд-во РУДН. 2009. 357 с. ISBN 978-5-209-03087-4

REFERENCES

1. Krivoschapko S.N., Baramzin A.D. On application of torse shells. *Voenna-Stroitelnyy Bulletin [Military-and-Building Bulletin]*. 1979. №2. Pp.15-16.
2. Bhattacharya B. Theory of a new class of shells. Symposium on Industrialized Spatial and Shell Structures. Poland, 1973. P. 115-124.
3. Amol Bhanage. An overview of flat pattern development (FPD) methodologies used in blank development of sheet metal components of aircraft. *Int. J. Mech. Eng. & Rob. Res. (IJMERR)*. April 2014. Vol. 3. No. 2. Pp. 33-43. ISSN 2278 – 0149 www.ijmerr.com
4. Hayakawa, K. and Ohsaki, M. Form generation of discrete piecewise developable surface and its interior boundaries using local gauss map. Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, 2023, Structures-1. 997–998. (in Japanese)
5. Krivoschapko S.N. Developable surfaces for covering of the rectangular plan. *Vestnik Rossiiskogo Universiteta Druzhby Narodov [RUDN Journal of Engineering Research]*. Special Issue». 2002. No1. Pp. 47–51. ISSN 0869–8732
6. Pischulina I.Ya., Kukushkina E.V. The Second Order Surfaces. Ekaterinburg: UrFU, 2012. 166 p. ISBN 978-5-321-02192-7
7. Krivoschapko S.N. Model surfaces of connecting sites of two pipelines. *Montazhnye i Spetsial'nye Raboty v Stroitel'stve*. 2005. (10). Pp. 25–28. EDN: VYOTKL
8. Todd G. Nelson, Trent K. Zimmerman, Spencer P. Magleby, Robert J. Lang, and Larry L. Howell. Developable mechanisms on developable surfaces. *Science Robotics*. 13 Feb 2019. Vol. 4. Issue 27. eaau5171 [DOI: 10.1126/scirobotics.aau5171].
9. Bulgakov V.Ya. Design of shell surfaces from fragments of the fourth order torse. *Prikladnaya Geometriya i Inzhenernaya Graphika [Applied Geometry and Engineering Graphics]*. Kiev. 1976. Iss. 21. Pp. 134–137.
10. Krivoschapko S.N. Static analysis of shells with developable middle surfaces. *Applied Mechanics Reviews*. Vol. 51. No12, Part 1. December 1998. P. 731-746 [DOI: 10.1115/1.3098985 EID: 2-s2.0-0008891169].
11. Bhattacharya B. Membrane theory of new class of developable shells. *Journal of Structural Engineering*. 1983. Vol. 10, N. 3. P. 81–88.
12. Aleshina O.O., Ivanov V.N., Grinko E.A. Investigation of stress state of the equal slope torse shell by analytical and numerical methods. *Structural Mechanics and Analysis of Constructions*. 2020. № 6 (293). Pp. 2–13. <https://doi.org/10.37538/0039-2383.2020.6.2.13>
13. Weisstein, Eric W. Lamé Curve. From MathWorld--A Wolfram Web Resource. <https://mathworld.wolfram.com/LameCurve.html>
14. Pavlenko G.E. Simplified Shapes of Ships, M.: MRF SSSR, 1948. 28 p.
15. Polanski Stanislaw, Pianowski Leslaw. Rozwinięcia powierzchni w technice. Konstrukcje wspomagane komputerowo. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe, PWN. 2001. 412 p.
16. Gorbatovich Zh.N. Design of torse surfaces with two plane section. *Trudy Belorusskogo Gos. Tehnologicheskogo Univ. Ser. 5. Physic-and-Mathematic Sciences*. 1995. Iss. 2. Pp. 33–36. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/65082> (in Russian)
17. Krivoschapko S.N., Shambina S.L. Design of developable surfaces and the application of thin-walled developable structures. *Serbian Architectural Journal (SAJ)*. 2012. Vol. 4. № 3. P.298-317. DOI:10.5937/SAJ1203298K
18. Matvejevs Aleksandrs, Dzenite Ilona. New practical methods of analysis of second order curves on a plane. Proc.: 18th Conference of Applied Mathematics APLIMAT 2019. February 2019. Pp. 803-816.
19. Abramovich N.A., Nesterovich N.D. Superellipse in the ecosystem APPLE. Materialy Dokladov 54-oi Mezhdunarodnoy Nauchno-Tekhnicheskoy Konferentsii Prepodavateley i Studentov: Two volumes, UO “VGTU”. Vitebsk, 2021. Vol. 2. Pp. 102–104 [URI: <http://rep.vstu.by/handle/123456789/14813>].
20. Bajoria G.Ch. On one method of design of development of torse surface. *Sudostroeniye [Shipbuilding]*, 1984. No 9. Pp. 37-38.

21. Chalfant Julie Steele. Analysis and Design of Developable Surfaces for Shipbuilding. Dissertation: Naval Postgraduate School, California, USA, 1997. 109 p. <http://hdl.handle.net/10945/7877>
22. Ito Miori, Imaoka Haruki. A method of predicting sewn shapes and a possibility of sewing by the theory of developable surfaces. *Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses*. Vol. 48. No 1. 2007. P. 42-51.
23. Goldenveizer A.L. Theory of Elastic Thin Shells. Published by Pergamon Press. New York. 1961. 544 p.
24. Abramov N. I., Aleksandrov V. T. Ob ispolzovanii matematicheskikh osnov optimizatsii v proektirovanii [On using mathematical methods of optimization in designing]. *Stroit. Meh. i Raschet Soor.* 1989. № 4. Pp. 40–41.
25. Francisco Perez-Arribas, Leonardo Fernandez-Jambrina. Computer-aided design of developable surfaces: designing with developable surfaces. *Journal of Computers*. October 2018. Vol. 13. Nu 10. Pp. 1171-1176. doi: 10.17706/jcp.13.10.1171-1176
26. Lawrence Snežana. Developable surfaces: their history and application. *Nexus Network Journal*. 2011. 13 (3): 701–714. DOI:10.1007/s00004-011-0087-z
27. Glaeser, Georg; Gruber, Franz. Developable surfaces in contemporary architecture. *Journal of Mathematics and the Arts*. 2007. Vol. 1. Issue 1. March 2007. Pp. 59-71. DOI:10.1080/17513470701230004
28. Chao Yuan, Nan Cao, and Yang Shi. A survey of developable surfaces: from shape modeling to manufacturing. arXiv: 2304.09587v2 [cs. GR] 14 June 2023, 20 p. [The data of access: December 6, 2024].
29. Bhattacharya B. Analysis of Shells in the Form of Torse Surfaces with Two Arbitrary Plane Directrix Curves. UDN: Diss. kand. phiz.-mat. nauk, 1970. 177 p. <https://repository.rudn.ru/ru/records/dissertation/record/49668/>
30. Krivoshapko, S.N. Geometry of ruled surfaces with cuspidal edge and linear theory of developable surfaces' analysis: Monograph, Moscow: 2009, RUDN, 358 p. (in Russian).

Информация об авторе

Кривошанко Сергей Николаевич

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия, доктор технических наук, профессор. Профессор-консультант

E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

Information about author

Krivoshapko Sergey Nikolaevich

The Engineering Academy of the Peoples' Friendship University, Moscow, Russia, Doctor of Tech. Sc., Professor

E-mail: sn_krivoshapko@mail.ru

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹, В.С. СТРУЧКОВ²¹Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СДВИГА И КРУЧЕНИЯ

Аннотация. Прочность и податливость соединений несущих конструкций в многоэтажных панельных зданиях определяется разными параметрами и значительно влияет на усилия и напряжения, возникающие в элементах таких конструктивных схем. Горизонтальное воздействие на конструктивную систему, состоящую из сборных стеновых панелей, при определенных условиях может привести к возникновению значительных крутящих моментов. Ключевыми условиями возникновения кручения, которые отмечаются в большинстве исследований по данной тематике, будут являться горизонтальная и вертикальная несимметричность здания и значительные горизонтальные нагрузки. В настоящей экспериментальной работе были испытаны фрагменты стеновых соединений в условиях действия сдвигающих и крутящих нагрузок. Фрагменты железобетонных панелей были соединены с использованием металлического стыкового соединения на сварке. В роли соединительного элемента выступала металлическая пластина. По результатам эксперимента получено напряженно-деформированное состояние натурных фрагментов панельных зданий. Установлен характер разрушения, максимальные сдвигающие и крутящие нагрузки. Построены диаграммы деформирования связи для всех испытываемых образцов.

Ключевые слова: Связи сдвига, панельные здания, податливость, кручение, несущая способность.

V.A. LYUBLINSKIY¹, V.S. STRUCHKOV²¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia

EXPERIMENTAL STUDY OF STRENGTH AND DEFORMABILITY WELDED JOINTS PANEL BUILDINGS UNDER CONDITIONS OF SHEAR AND TORSION

Abstract. The strength and compliance of the joints of load-bearing structures in multistorey panel buildings is determined by different parameters and significantly affects the forces and stresses that occur in the elements of such structural system. Horizontal action on a structural system consisting of prefabricated wall panels, under certain conditions, can lead to a situation where torsional mode will prevail. The key conditions for the occurrence of torsion, which are noted in most studies on this topic, will be the horizontal and vertical asymmetry of the building and significant horizontal loads. In this experimental work, fragments of wall joints were tested under the action of shear and torsional loads. The fragments of reinforced concrete panels were joined using a metal butt joint during welding. A metal plate acted as a connecting element. According to the results of the experiment, the stress-strain state of full-scale fragments of panel buildings was obtained. The nature of the destruction, maximum shear and torsional loads have been established. Joint deformation diagrams are constructed for all test samples.

Keywords: Shear connections, panel buildings, compliance, torsion, load capacity.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Munteanu R. I. et al. A new perspective into torsional inelastic response of actively controlled irregular multistorey buildings // *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 71. Pp. 691-706.
2. Gu A. et al. Torsional Response of a Two-Storey Low-Damage Concrete Wall Test Building // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2025.
3. Rawat D., Mishra N. B. Seismic Torsion Behaviour and Rigidity Analysis of Multistorey Plan Asymmetric RC Building // *Advances in Geotechnics and Structural Engineering: Select Proceedings of TRACE 2020*. 2021. Pp. 501-518.
4. Колчунов В.И., Демьянов А. И., Протченко М.В. Моменты в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением // *Строительство и реконструкция*. 2021. №3. С. 27-46.
5. Карпенко Н., Колчунов Вл., Колчунов В., Травуш В. Расчетная модель сложноподвинутого железобетонного элемента при кручении с изгибом // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. №17 (1). С. 34–47.
6. Колчунов В. И., Демьянов А. И., Печенев И. В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного сечения при кручении с изгибом // *Строительство и реконструкция*. 2020. №5. С. 3-12.
7. Колчунов Вл. И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. №8. С. 16–23.
8. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов Вл. И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // *Строительство и реконструкция*. 2017. №4 (72). С. 17–26.
9. Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Колчунов Вл. И., Травуш В.И., Демьянов А.И. Деформирование железобетонных конструкций при изгибе с кручением // *Строительные материалы*. 2021. №6. С. 47-56.
10. Тамразян А. Г., Дехтерев Д. С., Черник В. И. Расчет параметров надежности стыковых соединений сборных железобетонных конструкций с использованием метода конечных элементов // *Инновации и инвестиции*. 2020. №7. С. 148-152.
11. Малахова А. Н., Маринина Д. А. Податливость вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 6. С. 10-18.
12. Shuvalov A. et al. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // *MATEC Web of Conferences*. – EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819602049>
13. Люблинский В. А., Томина М. В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // *Системы. Методы. Технологии*. 2018. № 3. С. 154-158.
14. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings // *Proceedings of FORM 2022*. LNCE, Springer. 2023. Vol. 282. Pp. 407-415.
15. Люблинский В. А. К вопросу о перераспределении напряжений в вертикальных несущих железобетонных конструкциях многоэтажных зданий // *Строительство и реконструкция*. 2021. №. 2. С. 39-45.
16. Shen S. D. et al. Test and analysis of reinforced concrete (RC) precast shear wall assembled using steel shear key (SSK) // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2019. Vol. 48. №. 14. Pp. 1595-1612.
17. Karyakin A. A., Derbentsev I. S., Tarasov M. V. Experimental and numerical research on tensile performance of inter-panel fastener joints of large-panel buildings // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2017. Т. 262. №. 1. Pp. 012046.
18. Yang J. et al. Seismic behaviors of prefabricated reinforced concrete shear walls assembled with a cast-in-place vertical joint // *Buildings*. 2023. Vol. 13. Pp. 3013.
19. Sritharan S. et al. Precast concrete wall with end columns (PreWEC) for earthquake resistant design // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2015. Vol. 44. Pp. 2075-2092.
20. Singhal S. et al. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review // *Structural Concrete*. 2019. Vol. 20. №3. Pp. 886-898.
21. De Stefano M., Pintucchi B. A review of research on seismic behaviour of irregular building structures since 2002 // *Bulletin of earthquake Engineering*. 2008. Vol. 6. Pp. 285-308.
22. Naresh kumar B. G., Punith N., Bhyrav R.B., Arpitha T. P. Assessment of Location of Centre of Mass and Centre of Rigidity for Different Setback Buildings // *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2017. Vol. 6. Issue 5. Pp. 801-804.
23. Botis M. F., Cerbu C. A method for reducing of the overall torsion for reinforced concrete multi-storey irregular structures // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. №. 16. Pp. 5555.
24. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings // *Civil Eng*. 2021. Vol. 2. №. 2. Pp. 290-308.
25. Lim H., Kang J. W., Pak H., Chi H., Lee Y. and Kim J. Seismic response of a three-dimensional asymmetric multi-storey reinforced concrete structure // *Applied Sciences*. 2018. Vol. 8. №. 4. Pp. 479.

26. Shuvalov A., Gorbunov I., Kovalev M., Faizova A. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049.
27. Sharma J., Singh A., Sehgal R. Torsional Reduction Techniques in High Rise Structures // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 3. Issue 10.
28. Benavent-Climent A., Morillas L., Escolano-Margarit D. Inelastic torsional seismic response of nominally symmetric reinforced concrete frame structures: Shaking table tests // Engineering structures. 2014. Vol. 80. Pp. 109-117.
29. Дроздов П. Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов // М.: Стройиздат., 1977. С. 3-20.
30. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл. И., Каприелов С.С., Демьянов А. И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. №6. С. 32-43.
31. Булкин С.А. Кручение с изгибом сталефиброжелезобетонной балки прямоугольного сечения // Строительство и реконструкция. 2021. № 2. С. 3-13.

REFERENCES

1. Munteanu R. I. et al. A new perspective into torsional inelastic response of actively controlled irregular multistorey buildings // Alexandria Engineering Journal. 2023. Vol. 71. Pp. 691-706.
2. Gu A. et al. Torsional Response of a Two-Storey Low-Damage Concrete Wall Test Building // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2025.
3. Rawat D., Mishra N. B. Seismic Torsion Behaviour and Rigidity Analysis of Multistorey Plan Asymmetric RC Building // Advances in Geotechnics and Structural Engineering: Select Proceedings of TRACE 2020. 2021. Pp. 501-518.
4. Kolchunov Vl. I., Demyanov A. I., Protchenko M. V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. No. 3. S. 27-46.
5. Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation Model of a Complex Stress Reinforced Concrete Element During Torsion with Bending // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. No. 17 (1). S. 34-47.
6. Kolchunov Vl. I., Demyanov A. I., Pechenev I. V. Results of experimental studies of reinforced concrete structures with square cross sections in torsion with bending // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2020. No. 5. S. 3-12.
7. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structures // Industrial and civil engineering. 2020. No. 8. S. 16-23.
8. Demyanov A.I., Salnikov A.S., Kolchunov V.I. Experimental studies of reinforced concrete structures in torsion with bending and analysis of their results // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2017. No. 4 (72). S. 17-26.
9. Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Kolchunov V.I., Travush V.I., Demyanov A. I. Deformation of reinforced concrete structures during bending with torsion // Building materials. 2021. No. 6. S. 47-56.
10. Tamrazyan A. G., Dekhterev D. S., Chernik V. I., Calculation of reliability parameters of butt joints of precast reinforced concrete structures using the finite element method // Innovations and Investments. 2020. No. 7. S. 148-152.
11. Malakhova A. N., Marinina D. A. The compliance of vertical joints of large-panel buildings made on embedded parts // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 6. S. 10-18.
12. Shuvalov A. et al. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819602049>
13. Lyublinskiy V.A., Tomina M.V. Experimental study of the strength and suppleness of a vertical welded joint // Syst. Meth. Techn. 2018. Vol. 3(39), Pp. 154-158.
14. Lyublinskiy V., Struchkov V. Resistance of Vertical Joints During Torsion of Multistorey Buildings // Proceedings of FORM 2022. LNCE, Springer. 2023. Vol. 282. Pp. 407-415.
15. Lyublinskiy V. A. To the question of redistribution of stress in vertical bearing RC structures multi-story buildings // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. №. 2. Pp. 39-45.
16. Shen S. D. et al. Test and analysis of reinforced concrete (RC) precast shear wall assembled using steel shear key (SSK) // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2019. Vol. 48. №. 14. Pp. 1595-1612.
17. Karyakin A. A., Derbentsev I. S., Tarasov M. V. Experimental and numerical research on tensile performance of inter-panel fastener joints of large-panel buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. T. 262. №. 1. Pp. 012046.
18. Yang J. et al. Seismic behaviors of prefabricated reinforced concrete shear walls assembled with a cast-in-place vertical joint // Buildings. 2023. Vol. 13. Pp. 3013.
19. Sritharan S. et al. Precast concrete wall with end columns (PreWEC) for earthquake resistant design // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 2015. Vol. 44. Pp. 2075-2092.

20. Singhal S. et al. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review //Structural Concrete. 2019. Vol. 20. №3. Pp. 886-898.
21. De Stefano M., Pintucchi B. A review of research on seismic behaviour of irregular building structures since 2002 //Bulletin of earthquake Engineering. 2008. Vol. 6. Pp. 285-308.
22. Naresh kumar B. G., Punith N., Bhyrav R.B., Arpitha T. P. Assessment of Location of Centre of Mass and Centre of Rigidity for Different Setback Buildings // International Journal of Engineering Research & Technology. 2017. Vol. 6. Issue 5. Pp. 801-804.
23. Botis M. F., Cerbu C. A method for reducing of the overall torsion for reinforced concrete multi-storey irregular structures //Applied Sciences. 2020. Vol. 10. №. 16. Pp. 5555.
24. Khatiwada P., Lumantarna E. Simplified Method of Determining Torsional Stability of the Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings // CivilEng. 2021. Vol. 2. №. 2. Pp. 290-308.
25. Lim H., Kang J. W., Pak H., Chi H., Lee Y. and Kim J. Seismic response of a three-dimensional asymmetric multi-storey reinforced concrete structure //Applied Sciences. 2018. Vol. 8. №. 4. Pp. 479.
26. Shuvalov A., Gorbunov I., Kovalev M., Faizova A. Experimental studies of compliance of vertical joints used in construction of high-rise panel buildings // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2018. Vol. 196. Pp. 02049.
27. Sharma J., Singh A., Sehgal R. Torsional Reduction Techniques in High Rise Structures // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2015. Vol. 3. Issue 10.
28. Benavent-Climent A., Morillas L., Escolano-Margarit D. Inelastic torsional seismic response of nominally symmetric reinforced concrete frame structures: Shaking table tests // Engineering structures. 2014. Vol. 80. Pp. 109-117.
29. Drozdov P. F. Design and calculation of load-bearing systems of multi-storey buildings and their elements // Moscow: Stroyizdat., 1977. S. 3-20.
30. Travush V.I., Karpenko N. I., Kolchunov Vl. I., Kaprielov S. S., Demyanov A. I., Konorev A. V. The results of experimental studies of structures square and box sections in torsion with bending // Building and Reconstruction. 2018. Vol. 6. Pp. 32-43
31. Bulkin S.A., Torsion with bending of rectangular steel fiber reinforced concrete beam // Building and Reconstruction. 2021. Vol. 2. Pp. 3-13

Информация об авторах

Люблинский Валерий Аркадьевич

Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: LyublinskiyVA@mgsu.ru

Стручков Владислав Сергеевич

Национально исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: struchkov2018@gmail.com

Information about authors

Lyublinskiy Valery A.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, candidate of technical science, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: LyublinskiyVA@mgsu.ru

Struchkov Vladislav S.

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow, Russia, postgraduate of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: struchkov2018@gmail.co

Г. СУНЬ¹, Л.И. МИРОНОВА¹, Ч. ЛЮ¹¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

ИЗГИБНАЯ ЖЕСТКОСТЬ БОЛТОВЫХ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ БАЛКИ С КОЛОННОЙ

Аннотация. Болтовые фланцевые соединения чаще используются в качестве соединения балки с колонной и балок друг с другом, которые воспринимают момент. Учет разницы прочности фланца и прочности высокопрочных болтов, которая приведет к трем разным типам разрушенных механизма, следует изучать прочность и жесткость таких соединений компонентным методом. Наиболее важными параметрами в этом методе являются расчетная ширина несущих элементов на изгиб и коэффициент жесткости. Определение отношения прочности элементов соединения к механизму разрушения и расчет коэффициента жесткости, вычисленной на основе Т-образного элемента, представляют собой важную задачу. По этой причине целью данной статьи является разработка метода расчета изгибной жесткости и прочности болтовых фланцевых соединений в условиях монотонных нагрузок. Предложенный метод расчета основан на компонентный метод, строительную механику и сопротивление материалов. Верификация выполнена на сведения выполненных экспериментов, для которых можно получить практические зависимости между моментом и углом поворота. Практическая реализация предложенного метода продемонстрирована на расчет несущей способности и жесткости образца выполненных экспериментов. В качестве результатов выполненного исследования можно выделить собственно метод расчета жесткости болтовых фланцевых соединений балки с колонной, влияние прочности разных элементов таких соединений на механизм разрушения и рекомендацию по проектированию соединений в условиях монотонных нагрузок. С использованием разработанного метода можно точно оценить несущую способность и жесткости соединения, оформление диаграммы зависимости между моментом и углом поворота.

Ключевые слова: стальные конструкции, болтовые фланцевые соединения, жесткость, пластический шарнир, механизм разрушений.

G. SUN¹, L.I. MIRONOVA L.I.,¹ C. LIU¹¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltzin, city Yekaterinburg, Russia

BENDING RIGIDITY OF BOLT END-PLATE CONNECTIONS OF JOINT BEAM TO COLUMN

Abstract. The end-plate connections are most often used as a connection of beam to column and between beams that perceive a moment. Taking into account the difference in the strength of the end plate and the strength of high-strength bolts, which will lead to three different types of failure mechanisms, it is necessary to study the strength and stiffness of such joints using the component method. The most important parameters in this method are the calculated width of the bearing elements for bending and the stiffness coefficient. Determining the ratio of the strength of the connection elements to the failure mechanism and calculating the stiffness coefficient calculated on the basis of the T-shaped element is an important task. For this reason, the objective of this paper is to develop a method for calculating the bending stiffness and strength of the end-plate connections joints under monotonic loads. The proposed calculation method is based on the component method, structural mechanics and strength of materials. Verification is performed on the basis of the experiments performed, for which practical dependencies between the moment and the angle of rotation can be obtained. The practical implementation of the proposed method is demonstrated by calculating the bearing capacity and rigidity of the sample of the experiments performed.

© Сунь Г., Миронова Л.И., Лю Ч., 2025

As results of the study, it is possible to highlight the method for calculating the rigidity of the end-plate connections of beam to column, the influence of the strength of different elements of such

connections on the mechanism of destruction and a recommendation for designing connections under monotonous loads. Using the developed method, it is possible to accurately estimate the bearing capacity and rigidity of the connection, design a diagram of the relationship between the moment and the angle of rotation.

Keywords: steel structures, end-plate connections, stiffness, plastic hinge, failure mechanisms.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов А.Н. Развитие отрасли стального строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2021. №10. С.4-8.
2. Сон М.П., Землянухин А.Д. Моделирование фланцевого соединения в расчетном комплексе Ansys // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. №1(2). С. 73-79.
3. Jayarajan P. Characterization of connections in the seismic assessment of steel moment resisting frames // Journal of Structural Engineering. 2022. №4 (49). С. 306-317.
4. Qin J., Pan J., Wang Z., Wang P., Chen S. Initial rotational stiffness of end-plate connections based on the theory of plates and shells // Journal of Building Engineering. 2021. (41). С. 1-11.
5. Zhang W., Huang Z., Lai C., Lin H. Calculation of Initial Rotational Stiffness for Stiffened Extended End Plate Connection of Portal Frame // Journal of Architecture and Civil Engineering. 2011. №3 (28). С. 113-118.
6. Lu S., Wang Z., Pan J., Wang P. The Seismic Performance Analysis of Semi-rigid Spatial Steel Frames Based on Moment-Rotation Curves of End-plate Connection // Structures. 2022. (36). С. 1032-1049.
7. Перельмутер А.В., Крикунов Э.З., Юриченко В.В. Проектирование болтовых фланцевых соединений согласно Eurocode и украинским нормам: согласованность и противоречия // Металлические конструкции. 2010. №2(16). С.93-104.
8. Shi Y., Shi G., Wang Y. A simplified calculation method for moment-rotation curve of semi-rigid end-plate connections // China Civil Engineering Journal. 2006. №3(39). С. 19-23.
9. Сон. М.П. Фланцевые соединения в строительных конструкциях // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. №1 (29). С. 125-136.
10. Ozkılıç Y.O., Topkaya C. Extended end-plate connections for replaceable shear links // Engineering Structures. 2021. (240). С. 1-19.
11. Ozkılıç Y.O. Cyclic and monotonic performance of stiffened extended end-plate connections with large-sized bolts and thin end-plates // Bulletin of Earthquake Engineering. 2022. (20). С. 7441-7475.
12. Forfria J.J.J.C., Amador A.M.G., Gonzalez A.Q., Fernandez L.P. Investigating the T-stub connection with different web-to-flange joint configurations // Engineering Structures. 2023. (294). С. 1-17.
13. Francavilla A.B., Latour M., Tan P.J., Rizzano G. Ultimate behaviour of bolted beam-to-column connections in large rotations // Proceedings in civil engineering. 2023. (208). С. 2201-2205.
14. Семенов А.А., Маляренко А.А., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н. Напряженно-деформированное состояние высокопрочных болтов фланцевых соединений в крупнопанельных стыках стропильных ферм // Инженерно-строительный журнал. 2014. №5. С. 54-62.
15. Шафрай К.А., Шафрай С.Д. Прочность сварных швов фланцевых соединений стальных конструкций // Известия вузов. Строительство. 2018. №8. С. 36-47.
16. Шафрай К.А., Шафрай С.Д. Особенность работы фланцевых соединений строительных конструкций. Контактные напряжения и рычажные силы // Известия вузов. Строительство. 2013. №11. С. 89-96.
17. Ozkılıç Y.O., Topkaya C. The plastic and the ultimate resistance of four-bolt extended end-plate connections // Journal of Constructional Steel Research. 2021. (181). С. 1-19.
18. Hu J.W., Leon R.T., Park T., Mechanical modeling of bolted T-stub connections under cyclic loads Part I: Stiffness modeling // Journal of Constructional Steel Research. 2011. (67). С. 1710-1718.
19. Luo L., Du M., Yuan J., Shi J., Yu S., Zhang Y. Parametric analysis and stiffness investigation of extended end-plate connection // Materials. 2020. №13 (22). С. 1-30.
20. EN 1993-1-8(2005): Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints.
21. AISC Manual of steel construction: Load & Resistance Factor Design, Second Edition, LRFD, 2 nd Edition (Volume 2: Connections).
22. ANSI/AISC 358-16. Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications.
23. СП 294.1325800.2017 Стальные конструкции. Правила проектирования.
24. СТО АРСС 11251254.001-021.01 Руководство по проектированию стальных конструкций многоэтажных зданий (Часть 2. Узлы) (в развитие СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»).
25. GB 51022-2015 Technical code for steel structure of light-weight building with gabled frames.
26. JGJ 82-2011 Technical specification for high strength bolt connections of steel structures.
27. Liu X., Zeng M., Wang Y. Research on design methods of high strength bolt T-stub tensile connections // Progress in Steel Building Structures. – 2023. – № 2(25). – С. 23-31.

28. Zhang S., Chai C. Discussion on Calculation of Tensile Bearing Capacity and Prying Force in End Plate Joints // *Steel Structures*. – 2022. – № 5(37). – С. 44-50.
29. Shi G., Shi Y., Wang Y. Calculation method on moment-rotation curves of beam-to-column semirigid end-plate connections // *Engineering Mechanics*. – 2006. – № 5(23). – С. 67-73.
30. AISC. *Steel Construction Manual*. 16th Ed.
31. Серия 2.440-2 Узлы стальных конструкций зданий промышленных предприятий. Выпуск 7 Болтовые фланцевые рамные соединения балок с колоннами стальных каркасов зданий и сооружений.
32. Guo B., Gu Q., Liu F. и Zhao K. Experimental Research on Hysteretic Behavior of End-plate Beam-column connections // *Journal of Building Structures*. – 2002. – № 3(22). – С. 8-13.
33. Guo B., Wang L., Wang Y., Shi Y., Tian H. Experimental study on rotational stiffness of steel frame beam-column connections // *Journal of Building Structures*. – 2011. – № 10(32). – С. 82-89.
34. Shi G., Shi Y., Wang Y., Li S., Chen H. Experimental study of semirigid end-plate connections in multi-story steel frames // *Journal Tsinghua University (Sci & Tech)*. – 2004. – № 3(44). – С. 391-394.
35. Qin J., Pan J., Wang Z., Wang P., Chen S. Initial rotational stiffness of end-plate connections based on the theory of plates and shells // *Journal of Building Engineering*. – 2021. – (41). – С. 1-11.
36. Abidelah A., Bouchair A., Kerdal D.E. Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2012. – (76). – С. 13-27.

REFERENCES

1. Danilov A.N. Steel construction development // *Industrial and Civil engineering*. 2021. No.10. Pp.4-8. (rus)
2. Son M.P., Zemlyanukhin A.D. Modeling of the flange connection in the settlement complex Ansys // *Modern Technologies in construction. Theory and Practice*. 2018. Vol. 2. No. 1. Pp.73-79. (rus)
3. Jayarajan P. Characterization of connections in the seismic assessment of steel moment resisting frames // *Journal of Structural Engineering*. 2022. Vol. 49. No. 4. Pp. 306-317.
4. Qin J., Pan J., Wang Z., Wang P., Chen S. Initial rotational stiffness of end-plate connections based on the theory of plates and shells // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 41. Pp. 1-11.
5. Zhang W., Huang Z., Lai C., Lin H. Calculation of Initial Rotational Stiffness for Stiffened Extended End Plate Connection of Portal Frame // *Journal of Architecture and Civil Engineering*. 2011. Vol. 28. No. 3. Pp. 113-118.
6. Lu S., Wang Z., Pan J., Wang P. The Seismic Performance Analysis of Semi-rigid Spatial Steel Frames Based on Moment-Rotation Curves of End-plate Connection // *Structures*. 2022. Vol. 36. Pp. 1032-1049.
7. Perel'muter A.V., Kriskunov E.Z., Yurchenko V.V. Design of flange bolt connections according to the Eurocode and Ukrainian codes: coordination and contradictions // *Metal Constructions*. 2010. Vol. 16. No.2. Pp.93-104. (rus)
8. Shi Y., Shi G., Wang Y. A simplified calculation method for moment-rotation curve of semi-rigid end-plate connections // *China Civil Engineering Journal*. 2006. Vol. 39. No. 3. Pp. 19-23.
9. Son M.P. Flange connections in building constructions // *PNRPU. Applied ecology. Urban development*. 2018. Vol. 29. No. 1. Pp. 125-136. (rus)
10. Ozkılıç Y.O., Topkaya C. Extended end-plate connections for replaceable shear links // *Engineering Structures*. 2021. Vol. 240. Pp. 1-19.
11. Ozkılıç Y.O. Cyclic and monotonic performance of stiffened extended end-plate connections with large-sized bolts and thin end-plates // *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2022. Vol. 20. Pp. 7441-7475.
12. Forfria J.J.J.C., Amador A.M.G., Gonzalez A.Q., Fernandez L.P. Investigating the T-stub connection with different web-to-flange joint configurations // *Engineering Structures*. 2023. Vol. 294. Pp. 1-17.
13. Francavilla A.B., Latour M., Tan P.J., Rizzano G. Ultimate behaviour of bolted beam-to-column connections in large rotations // *Proceedings in civil engineering*. 2023. Vol. 208. Pp. 2201-2205.
14. Semenov A.A., Malyarenko A.A., Porivaev I.A., Safiullin M.N. Stress-strain behavior investigation of friction grip bolts in flange joints of trusses // *Magazine of Civil Engineering*. 2014. No. 5. Pp. 54-62. (rus)
15. Shafaray K.A., Shafaray S.D. Strength of welds flanges steel structures // *News of higher educational institutions. Construction*. 2018. No. 8. Pp. 36-47. (rus)
16. Shafaray K.A., Shafaray S.D. Features the work of flanged connections for building structures. Contact pressures and prying forces // *News of higher educational institutions. Construction*. 2013. No. 11. Pp. 89-96. (rus)
17. Ozkılıç Y.O., Topkaya C. The plastic and the ultimate resistance of four-bolt extended end-plate connections // *Journal of Constructional Steel Research*. 2021. Vol. 181. Pp. 1-19.
18. Hu J.W., Leon R.T., Park T., Mechanical modeling of bolted T-stub connections under cyclic loads Part I: Stiffness modeling // *Journal of Constructional Steel Research*. 2011. Vol. 67. Pp. 1710-1718.
19. Luo L., Du M., Yuan J., Shi J., Yu S., Zhang Y. Parametric analysis and stiffness investigation of extended end-plate connection // *Materials*. 2020. Vol. 22. No. 13. Pp. 1-30.
20. EN 1993-1-8(2005): Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints.
21. AISC Manual of steel construction: Load & Resistance Factor Design, Second Edition, LRFD, 2 nd Edition (Volume 2: Connections).
22. ANSI/AISC 358-16. Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications.

23. SP 294.1325800.2017 Steel structures. Design rules.
24. STO ARSS 11251254.001-021.01 Guide to designing steel structures of multi-storey buildings (Part 2. Nodes) (in development of SP 16.13330.2017 "Steel structures").
25. GB 51022-2015 Technical code for steel structure of light-weight building with gabled frames.
26. JGJ 82-2011 Technical specification for high strength bolt connections of steel structures.
27. Liu X., Zeng M., Wang Y. Research on design methods of high strength bolt T-stub tensile connections // Progress in Steel Building Structures. – 2023. – Vol. 25. No. 2. Pp. 23-31.
28. Zhang S., Chai C. Discussion on Calculation of Tensile Bearing Capacity and Prying Force in End Plate Joints // Steel Structures. – 2022. – Vol. 37. No. 5. Pp. 44-50.
29. Shi G., Shi Y., Wang Y. Calculation method on moment-rotation curves of beam-to-column semirigid end-plate connections // Engineering Mechanics. – 2006. – Vol. 23. No. 5. Pp. 67-73.
30. AISC. Steel Construction Manual. 16th Ed.
31. Series 2.440-2 Joints of steel structures of industrial buildings. Issue 7 Bolted flanged frame connections of beams with columns of steel frames of buildings and structures.
32. Guo B., Gu Q., Liu F. и Zhao K. Experimental Research on Hysteretic Behavior of End-plate Beam-column connections // Journal of Building Structures. – 2002. – Vol. 22. No. 3. – Pp. 8-13.
33. Guo B., Wang L., Wang Y., Shi Y., Tian H. Experimental study on rotational stiffness of steel frame beam-column connections // Journal of Building Structures. – 2011. – Vol. 32. No. 10. – Pp. 82-89.
34. Shi G., Shi Y., Wang Y., Li S., Chen H. Experimental study of semirigid end-plate connections in multi-story steel frames // Journal Tsinghua University (Sci & Tech). – 2004. – Vol. 44. No. 3. – Pp. 391-394.
35. Qin J., Pan J., Wang Z., Wang P., Chen S. Initial rotational stiffness of end-plate connections based on the theory of plates and shells // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 41. – Pp. 1-11.
36. Abidelah A., Bouchair A., Kerdal D.E. Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners // Journal of Constructional Steel Research. – 2012. – Vol. 76. – Pp. 13-27.

Информация об авторах

Сунь Гофэн

ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,
аспирант кафедры строительных конструкций и механики грунтов,
E-mail: gofen.sun@urfu.ru

Миронова Людмила Ивановна

ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,
д-р пед. наук, канд. техн. наук, проф. кафедры строительных конструкций и механики грунтов,
E-mail: mironovali@urfu.ru

Лю Чун

ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия,
аспирант кафедры технологии и организации строительства,
E-mail: lc996463232@163.com

Information about authors

Sun Guofeng

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltzin, Yekaterinburg, Russia,
graduate student of the dep. of civil engineering and soil mechanics
E-mail: gofen.sun@urfu.ru

Mironova Lyudmila I.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltzin, Yekaterinburg, Russia,
doctor in ped. sc., candidate in tech. sc., prof. of the dep. of civil engineering and soil mechanics
E-mail: mironovali@urfu.ru

Liu Chong

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltzin, Yekaterinburg, Russia,
graduate student at the department of construction technology and organization
E-mail: lc996463232@163.com

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, Д.С. БАРЯК¹¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

СЦЕПЛЕНИЕ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОГНЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Аннотация. Рассматривается изменение сцепления арматуры с бетоном в железобетонных конструкциях при одновременном воздействии коррозии и высоких температур. Анализ выполнен с использованием аналитических моделей и данных нормативной литературы для оценки изменений прочностных характеристик арматуры и бетона в условиях повышенной температуры и коррозионных повреждений. Учтены термические и коррозионные воздействия, влияющие на снижение сцепления арматуры, прочности материалов, а также на внутренние напряжения, возникающие из-за различий в коэффициентах теплового расширения, стали и бетона. Показано, что при значительных температурах и высоком уровне коррозии сцепление арматуры с бетоном существенно снижается. Приведенные модели и расчетные зависимости позволяют выполнять предварительную оценку надежности железобетонных конструкций и их огнестойкости в условиях коррозионного воздействия.

Ключевые слова: арматура, коррозия, железобетонные конструкции, сцепление, огнестойкость, высокая температура, прочность бетона.

A.G. TAMRAZYAN¹, D.S. BARYAK¹¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

BONDING OF CORROSION-DAMAGED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS IN CASE OF FIRE IMPACT

Abstract. This paper examines the bond strength between reinforcement and concrete in reinforced concrete structures under combined effects of corrosion and high temperatures. The analysis employs analytical models and regulatory data to evaluate changes in the strength characteristics of reinforcement and concrete under elevated temperatures and corrosion damage. Thermal and corrosion effects influencing bond strength reduction, material strength degradation, and internal stresses due to differences in thermal expansion coefficients of steel and concrete were taken into account. Results indicate that under high temperatures and significant corrosion levels, bond strength between reinforcement and concrete decreases considerably. The presented models and calculation dependencies allow for a preliminary assessment of the reliability and fire resistance of reinforced concrete structures under corrosion conditions.

Keywords: reinforcement, corrosion, reinforced concrete structures, bond strength, fire resistance, high temperature, concrete strength.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г., Лушникова В.Ю. Влияние коррозии арматуры на сцепление между арматурой и бетоном // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Вып. 4(80). С. 203–212.
2. Минеев М.С. Исследование параметров сцепления арматуры в бетоне для его оценки при коррозии // *Научный журнал НИУ МГСУ*. 2018. № 3. С. 45–52.
3. Бенин А.В., Семенов А.С., Семенов С.Г., Мельников Б.Е. Математическое моделирование процесса разрушения сцепления арматуры с бетоном. Часть 1. Модели с учетом несплошности соединения // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2014. № 1. С. 20–28.
4. Ma Q., Guo R., Zhao Z., Lin Z., He K. Mechanical properties of concrete at high temperature—A review // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 93. Pp. 371–383.
5. Окольников Г.Э., Тихонов Г.И. Сцепление с бетоном новых видов арматурного проката для строительства // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Инженерные исследования, Вып. 21, №2, 2020, С. 144–152.
6. Andrade C., Alonso C. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method // *Materials and Structures*. 2004. Vol. 37. Pp. 623–633.
7. Bertolini L., Elsener B., Pedersen P., Redaelli E., Polder R.B. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair. Wiley, 2013. 434 p.
8. Saad M., Abo-El-Enin S.A., Hanna G.B., Kotkata M.F. Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume // *Cement and Concrete Research*. 1996. Vol. 26, No. 5. Pp. 669–675.
9. Bertolini L. Steel corrosion and service life of reinforced concrete structures // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2008. Vol. 4, No. 2. Pp. 123–137.
10. Lin W.M., Lin T.D., Powers-Couche L.J. Microstructures of fire-damaged concrete // *ACI Materials Journal*. 1996. Vol. 93, No. 3. Pp. 199–205.
11. Ozawa M., Uchida S., Kamada T., Morimoto H. Study of mechanisms of explosive spalling in high-strength concrete at high temperatures using acoustic emission // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37. Pp. 621–628.
12. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. Pearson, 2011. 846 p.
13. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2013. 704 p.
14. Tuutti K. Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. 468 p.
15. Angst U., Elsener B., Larsen C.K., Vennesland Ø. Critical chloride content in reinforced concrete – A review // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39, No. 12. Pp. 1122–1138.
16. Consolazio G.R., McVay M.C., Rish J.W. III. Measurement and prediction of pore pressures in saturated cement mortar subjected to radiant heating // *ACI Materials Journal*. 1998. Vol. 95, No. 5. Pp. 525–536.
17. ACI Committee 222. Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. ACI 222R-01. American Concrete Institute, 2001. 41 p.
18. Попов А.М., Самошкин А.С., Тихомиров В.М. Методы исследования взаимодействия арматуры с бетоном часть 1. Экспериментальные и аналитические методы // *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*, № 2 (57), 2021, С. 53–60.
19. Angst U., Polder R., Bertolini L. Corrosion in reinforced concrete structures: Mechanisms and strategies. CRC Press, 2017. 375 p.
20. Тамразян А.Г. Несущая способность коррозионно-поврежденных изгибаемых железобетонных элементов, подвергнутых огневому воздействию. *Academia. Архитектура и строительство*. 2022. № 4. С. 130–137.
21. Тамразян А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий. *Жилищное строительство*. 2005. № 1. С. 7. 43
22. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость.
23. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: *MATEC Web of Conferences*. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029
24. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures. В сборнике: *XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”*. Sep. "Procedia Engineering" 2016. С. 721–725.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Lushnikova V.Yu. Vliyanie korrozii armatury na stseplenie mezhdru armaturoy i betonom [Influence of corrosion on the bond strength between reinforcement and concrete]. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 4(80). Pp. 203–212. (rus)

2. Mineev M.S. Issledovanie parametrov stsepleniya armatury v betone dlya ego otsenki pri korrozii [Study of parameters of reinforcement-to-concrete bond strength for its assessment under corrosion]. *Nauchnyy zhurnal NIU MGSU*. 2018. No. 3. Pp. 45–52. (rus).
3. Benin A.V., Semyonov A.S., Semyonov S.G., Melnikov B.E. Matematicheskoe modelirovanie protsessa razrusheniya stsepleniya armatury s betonom. Chast' 1. Modeli s uchetom nesploshnosti soedineniya [Mathematical modeling of the process of reinforcement-to-concrete bond failure. Part 1. Models considering discontinuity of the joint]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2014. No. 1. Pp. 20–28. (rus).
4. Ma Q., Guo R., Zhao Z., Lin Z., He K. Mechanical properties of concrete at high temperature—A review // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 93. Pp. 371–383.
5. Okolnikova G.E., Tikhonov G.I. Stseplenie s betonom novykh vidov armaturnogo prokata dlya stroitel'stva [Bond strength with concrete of new types of reinforcing steel for construction] // *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya, Vyp. 21, №2, 2020, S. 144-152* (rus).
6. Andrade C., Alonso C. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method // *Materials and Structures*. 2004. Vol. 37. Pp. 623–633.
7. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Redaelli E., Polder R.B. Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair. Wiley, 2013. 434 p.
8. Saad M., Abo-El-Enein S.A., Hanna G.B., Kotkata M.F. Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume // *Cement and Concrete Research*. 1996. Vol. 26, No. 5. Pp. 669–675.
9. Bertolini L. Steel corrosion and service life of reinforced concrete structures // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2008. Vol. 4, No. 2. Pp. 123–137.
10. Lin W.M., Lin T.D., Powers-Couche L.J. Microstructures of fire-damaged concrete // *ACI Materials Journal*. 1996. Vol. 93, No. 3. Pp. 199–205.
11. Ozawa M., Uchida S., Kamada T., Morimoto H. Study of mechanisms of explosive spalling in high-strength concrete at high temperatures using acoustic emission // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 37. Pp. 621–628.
12. Neville A.M. Properties of Concrete. 5th ed. Pearson, 2011. 846 p.
13. Mehta P.K., Monteiro P.J.M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.
14. Tuutti K. Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. 468 p.
15. Angst U., Elsener B., Larsen C.K., Vennesland Ø. Critical chloride content in reinforced concrete – A review // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39, No. 12. Pp. 1122–1138.
16. Consolazio G.R., McVay M.C., Rish J.W. III. Measurement and prediction of pore pressures in saturated cement mortar subjected to radiant heating // *ACI Materials Journal*. 1998. Vol. 95, No. 5. Pp. 525–536.
17. ACI Committee 222. Protection of Metals in Concrete Against Corrosion. ACI 222R-01. American Concrete Institute, 2001. 41 p.
18. Popov A.M., Samoshkin A.S., Tikhomirov V.M. Metody issledovaniya vzaimodeystviya armatury s betonom chast' 1. Eksperimental'nye i analiticheskie metody [Methods for studying the interaction of reinforcement with concrete chapter 1: Experimental and analytical approaches]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. 2021. № 2 (57). Pp. 53–60. (rus).
19. Angst U., Polder R., Bertolini L. Corrosion in reinforced concrete structures: Mechanisms and strategies. CRC Press, 2017. 375 p.
20. Tamrazyan A.G. Nesushchaya sposobnost korrozionno-povrezhdennykh izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov, podvergnutykh ognevomu vozdeystviyu [Load-bearing capacity of corrosion-damaged flexural reinforced concrete elements exposed to fire]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction]*. 2022. No. 4. Pp. 130–137. (rus)
21. Tamrazyan A.G. Ogneudarostoykost nesushchikh zhelezobetonnykh konstruktsiy vysotnykh zdaniy [Fire impact resistance of load-bearing reinforced concrete structures of high-rise buildings]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2005. No. 1. Pp. 7–43. (rus)
22. GOST 30247.0-94. Konstruktsii stroitel'nye. Metody ispytaniya na ognestoykost' [Building constructions. Methods for testing fire resistance]. (rus)
23. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. In: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. P. 01029.
24. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and theoretical study of reinforced concrete elements under different characteristics of loading at high temperatures. In: XXV Polish – Russian – Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”. Ser. “Procedia Engineering”. 2016. Pp. 721–725.

Информация об авторах

Тамразян Ашот Георгиевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия.
Д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Баряк Дмитрий Сергеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия.
Аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: baryakd@gmail.com

Information about authors

Tamrazyan Ashot Georgievich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia.
Doctor in tech. sc., Prof, Head of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Baryak Dmitry Sergeevich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State University of Civil Engineering" (NRU MGSU), Moscow, Russia.
Postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures,
E-mail: baryakd@gmail.com

И.Г. ЧЕПИЗУБОВ¹, А.А. САФОНОВ², Г.А. МОЙСЕЕНКО¹¹НИИСФ РААСН, г. Москва, Россия²ВНИИЖелезобетон, г. Москва, Россия

СОВМЕСТНАЯ РАБОТА РЕЗЬБОВЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ

Аннотация. При расчете железобетонных конструкций для наиболее точного моделирования их напряженно-деформированного состояния используется диаграммный метод расчета. При расчете по данному методу используются реальные диаграммы деформирования материала под нагрузкой. Использование данного метода для расчета железобетонного элемента в сечениях с механическими стыками арматуры обуславливает необходимость проведения экспериментальных исследований для уточнения особенностей совместной работы бетона с арматурой в местах установки стыков. В частности, необходимо исследовать особенности деформирования механических соединений арматуры совместно с бетоном при циклическом режиме нагружения. Данные вопросы рассматриваются в предлагаемой статье. Приводятся методики и результаты экспериментальных исследований работы арматурного проката класса А500С и механических соединений арматуры на конической резьбе в свободном состоянии и при совместной работе с высокопрочным бетоном класса В60. Исследованы два режима нагружения – статическое растяжение и многоцикловое растяжение. Выявлены особенности работы механических соединений арматуры на резьбе при указанных режимах нагружения с учетом влияния сцепления с бетоном. Полученные результаты экспериментальных исследований являются основой для развития диаграммного метода расчета железобетонных конструкций в сечениях с механическими соединениями арматуры.

Ключевые слова: арматура, бетон, механическое соединение арматуры, циклическое нагружение, диаграммный метод расчета.

I.G. CHEPIZUBOV¹, A.A. SAFONOV², G.A. MOISEENKO¹¹NIISF RAASN, Moscow, Russia²VNIIZhelezobeton, Moscow, Russia

JOINT OPERATION OF THREADED MECHANICAL CONNECTIONS OF REINFORCEMENT WITH CONCRETE

Abstract. The diagrammatic calculation method is used in the calculation of reinforced concrete structures for the most accurate modeling of its stress-strain state. When calculating using this method, real diagrams of material deformation under load are used. The use of this method to calculate a reinforced concrete element in sections with mechanical connections of reinforcement necessitates experimental studies to clarify the features of the joint work of concrete with reinforcement in places where mechanical connections are installed. In particular, it is necessary to study the features of deformation of mechanical connections of reinforcement together with concrete during cyclic loading. These issues are discussed in the proposed article. The methods and results of experimental studies of the operation of rebar rolled products of class A500C and mechanical connections by conical threads in a free state and when working with high-strength concrete of class B60 are presented. Two loading modes have been studied – static stretching and multi-cycle stretching. The peculiarities of the operation of mechanical connections by threads under the specified loading conditions, taking into account the effect of adhesion to concrete, are revealed. The experimental research results obtained are the basis for the development of a diagrammatic calculation method for reinforced concrete structures in sections with mechanical reinforcement connections.

Keywords: reinforcement, concrete, mechanical connection of reinforcement, cyclic loading, diagram calculation method.

© Чепизубов И.Г., Сафонов А.А., Моисеенко Г.А., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // *Engineering Structures*. 2017. №150. P. 25-38.
2. Luo X., Tan Z., Chen Y. F., Wang Y. Comparative study on fatigue behavior between unbounded prestressed and ordinary reinforced reactive powder concrete beams // *Materialpruefung. Materials Testing*. 2019. № 4 (61). P. 323-328.
3. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // *Mechanics of Solids*. 2010. № 1(45). P. 133-139.
4. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2019. № 1 (13).
5. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018. № 1.
6. Мирсаяпов Ильшат Т. Усталостное сопротивление изгибаемых элементов действию поперечных сил при средних пролетах среза // *Бетон и железобетон*. 2006. №3. С. 23-25.
7. Мирсаяпов Ильшат Т., Тамразян А. Г. К разработке научных основ теории выносливости железобетонных конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 1. С. 50-56.
8. Mirsayapov Ilshat T. A study of stress concentration zones under cyclic loading by thermal imaging method // *Strength of Materials*. 2009. № 3 (41). P. 339-344.
9. Zhang C., Duan P., Zheng B., Li M. Numerical analysis of diaphragm fatigue of reinforced concrete simply supported T-beams // *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2018. № 5 (11). P. 193-201.
10. Barcley L., Kowalsky M. Critical bending strain of reinforcing steel and the buckled bar tension test // *ACI Materials Journal*. 2019. №3 (116). Pp. 53-61.
11. Мирсаяпов И. Т., Гарифуллин Д. Р. Уравнения выносливости арматуры изгибаемого железобетонного элемента при режимном многократно повторяющемся нагружении // *Известия КГАСУ*, 2020, №1 (51), стр. 93-100.
12. Мирсаяпов Илизар Т. Теоретические основы усталостного разрушения стальной арматуры железобетонных конструкций // *Известия КГАСУ*. 2021. № 4 (58). С. 15–25. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_15
13. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // *Compos. Struct*. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
14. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // *Ultrasonics*. 2018. №88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
15. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed*. 2019. №3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
16. Ерышев В.А., Тошин Д.С. Диаграмма деформирования бетона при многократных повторных нагружениях // *Известия ВУЗов. Строительство и Архитектура*. – 2005. - №10. - С. 109-114.
17. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Латышева Е.В. К построению диаграмм деформирования бетона повторными нагрузками сжатия при постоянных уровнях напряжений // *Строительные материалы*. – 2013. - №6. – С. 48-52.
18. С.Н. Карпенко, И.Г. Чепизубов, К.С. Шифрин. О результатах проверки прочности муфтовых соединений арматуры на резьбе по диаграммной методике // *Промышленное и гражданское строительство*, 2008, №11.
19. С.Н. Карпенко, И.Г. Чепизубов, А.А. Андрианов. Определение деформативности муфтовых соединений арматуры при среднецикловом нагружении (до 100 000 циклов). В сборнике: *Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году. Сборник научных трудов*. Волгоград, 2013. С. 361-363.
20. С.Н. Карпенко, И.Г. Чепизубов. Определение деформативности и прочности муфтовых соединений арматуры при циклическом нагружении. *Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2009. № 3. С. 147-151.
21. Карпенко С.Н., Чепизубов И.Г., Моисеенко Г.А. Изменение модулей деформации муфтовых соединений арматуры при циклическом нагружении // *Строительные материалы*. 2022. № 6. С. 4–7.

REFERENCES

1. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // *Engineering Structures*. 2017. №150. P. 25-38.
2. Luo X., Tan Z., Chen Y. F., Wang Y. Comparative study on fatigue behavior between unbounded prestressed and ordinary reinforced reactive powder concrete beams // *Materialpruefung. Materials Test-ing*. 2019. № 4 (61). P. 323-328.
3. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // *Mechanics of Solids*. 2010. № 1(45). P. 133-139.
4. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2019. № 1 (13).
5. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2018. № 1.

6. Mirsayapov Ilshat T. Fatigue resistance of bent elements to the action of transverse forces at average shear spans // Concrete and reinforced concrete. 2006. No. 3. pp. 23-25.
7. Mirsayapov Ilshat T., Tamrazyan A. G. Towards the development of the scientific foundations of the theory of endurance of reinforced concrete structures // Industrial and civil engineering. 2017. No. 1. pp. 50-56.
8. Mirsayapov Ilshat T. A study of stress concentration zones under cyclic loading by thermal imaging method // Strength of Materials. 2009. № 3 (41). P. 339-344.
9. Zhang C., Duan P., Zheng B., Li M. Numerical analysis of diaphragm fatigue of reinforced concrete simply supported T-beams // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2018. № 5 (11). P. 193-201.
10. Barclay L., Kowalsky M. Critical bending strain of reinforcing steel and the buckled bar tension test // ACI Materials Journal. 2019. №3 (116). Pp. 53-61.
11. Mirsayapov I. T., Garifullin D. R. Equations of endurance of reinforcement of a bent reinforced concrete element under regime repeated loading // Izvestiya KGASU, 2020, No. 1 (51), pp. 93-100.
12. Mirsayapov Ilizar T. Theoretical foundations of fatigue failure of steel reinforcement of reinforced concrete structures // Izvestiya KGASU. 2021. № 4 (58). pp. 15-25. DOI: 10.52409/20731523_2021_4_15
13. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
14. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // Ultrasonics. 2018. №88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
15. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed. 2019. №3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
16. Yeryshev V.A., Toshin D.S. Diagram of concrete deformation under multiple repeated loads // Izvestiya VUZov. Construction and Architecture. 2005. No. 10. pp. 109-114.
17. Karpenko N.I., Yeryshev V.A., Latysheva E.V. On the construction of diagrams of concrete deformation by repeated compression loads at constant stress levels // Construction materials. - 2013. - No. 6. – pp. 48-52.
18. S.N. Karpenko, I.G. Chepizubov, K.S. Shifrin. On the results of testing the strength of armature coupling joints on threads according to the diagrammatic method // Industrial and Civil Engineering, 2008, No. 11.
19. S.N. Karpenko, I.G. Chepizubov, A.A. Andrianov. Determination of deformability of armature coupling joints under medium cycle loading (up to 100,000 cycles). In the collection: Fundamental research of the Russian Academy of Natural Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2012. Collection of scientific papers. Volgograd, 2013. pp. 361-363.
20. S.N. Karpenko, I.G. Chepizubov. Determination of deformability and strength of armature coupling joints under cyclic loading. Bulletin of the Department of Building Sciences of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences. 2009. No. 3. pp. 147-151.
21. Karpenko S.N., Chepizubov I.G., Moiseenko G.A. Changing the deformation modules of the valve coupling joints under cyclic loading // Building materials. 2022. No. 6. pp. 4-7.

Информация об авторах

Чепизубов Игорь Геннадьевич

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), Москва, Россия, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник
E-mail: niisf_lab9n@mail.ru

Сафонов Александр Александрович

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт "ВНИИжелезобетон", Москва, Россия, руководитель Испытательного центра «НИЦстром» ООО «Институт ВНИжелезобетон»
E-mail: A.Safonov@vniizhbeton.ru

Моисеенко Георгий Александрович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), Москва, Россия, канд. техн. наук, научный сотрудник
E-mail: gecklock@yandex.ru

Information about the authors

Chepizubov Igor Gennadievich

Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
E-mail: niisf_lab9n@mail.ru

Safonov, Alexander Alexandrovich

Scientific Research, Design and Technological Institute "Vniizhelezo-beton", Moscow, Russia,
E-mail: A.Safonov@vniizhbeton.ru

Moiseenko Georgy Alexandrovich

Scientific Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia, Candidate of Technical Sciences, Researcher
E-mail: gecklock@yandex.ru

С.А. СОЛОВЬЕВ¹, Л.С. ШЕВЦОВ¹, А.А. СОЛОВЬЕВА¹

¹ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», г. Вологда, Россия

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ АРМИРОВАННЫХ БАЛОК ИЗ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА

Аннотация. В статье представлен алгоритм вероятностного анализа армированных балок из древесно-цементного композита на заданный уровень надежности. В качестве требуемого уровня надежности используются показатели индекса надежности и вероятности безотказной работы. Выполнены экспериментальные исследования балки из древесно-цементного композита со стальной арматурой. Представленный подход позволяет определить наиболее рациональное армирование, исходя из экономических факторов и уровня безопасности объекта. На основе вероятностных алгоритмов можно назначить допуски по размерам сечения балки и по расположению арматуры, исходя из обеспечения требуемого уровня вероятности безотказной работы. Конструкции армированных балок из древесно-цементного композита могут быть использованы в качестве несущих и самонесущих перемычек, обладая более высокой паропроницаемостью и энергоэффективностью по сравнению с перемычками из тяжелого бетона. Допустимый уровень вероятности отказа может быть назначен для группы элементов объекта индивидуально, исходя из критерия допустимого риска.

Ключевые слова: надежность, вероятность отказа, древесно-цементный композит, случайная величина, арматура, легкий бетон, вероятностное проектирование, перемычка

S.A. SOLOVEV¹, L.S. SHEVCOV¹, A.A. SOLOVEVA¹

¹Vologda State University, Vologda, Russia

PROBABILISTIC RELIABILITY ANALYSIS OF REINFORCED WOOD-CEMENT COMPOSITE BEAMS

Abstract. The article describes the algorithm for probabilistic analysis of reinforced concrete beams made of wood-cement composite for a target reliability level. The reliability index and no-failure probability are used as the indicators for required level of reliability. Experimental studies on wood-cement composite beam behavior with steel reinforcement are performed. The presented approach allows to determine the most rational reinforcement based on economic factors and safety level of the object. On the basis of probabilistic algorithms, it is possible to assign tolerances on the dimensions of the beam cross-section and on the location (distance) of reinforcement, based on ensuring the required level of no-failure probability. Reinforced wood-cement composite beam structures can be used as load-bearing and self-supporting lintels, having higher vapor permeability and energy efficiency than heavy concrete lintels. The permissible level of failure probability can be assigned for a group of elements of the objects individually, based on the criterion of acceptable risk.

Keywords: reliability, failure probability, wood-cement composite, random variable, reinforcement, lightweight concrete, probabilistic design, lintel

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долматов С. Н., Колесников П. Г. Исследование влияния стальных теплопроводных включений на теплотехнические свойства ограждающей конструкции из древесно-цементного композита // Хвойные бореальной зоны. 2022. Т. 40. № 1. С. 76-83.
2. Обрезкова, В. А. Исследование изгибаемых предварительно напряженных конструкций из поризованного арболита: специальность. 05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. А. Обрезкова. Самара: СГАСУ, 2005. 20 с.
3. Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G. Wood-Cement Composite and its Reinforcement with Wooden Bars // Key Engineering Materials. 2022. Vol. 910. Pp. 982-987.
4. Егорова Е.М., Липей О.А. Коррозионная стойкость арматуры в поризованном арболите // Бетон и железобетон. № 10. 1988. С. 39-40.
5. Andre N., Cho H. W., Baek S. H., Jeong M. K., Young, T. M. Prediction of internal bond strength in a medium density fiberboard process using multivariate statistical methods and variable selection // Wood Science and Technology. 2008. No. 42. Pp. 521-534.
6. Sanaev V. G., Zaprudnov V. I., Gorbacheva G. A., Oblivin A. N. Factors affecting the quality of wood-cement composites // Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering. 2016. Vol. 9. No.2. Pp. 63-70.
7. Fadiel A.A.M., AbuLebdeh, T., Petrescu, F.I.T. Assessment of Woodcrete Using Destructive and Non-Destructive Test Methods // Materials. 2022. No. 15. Pp. 3066.
8. Korolev A., Koroleva Y., Gusev D. Wood (arbolit) concrete for bearing span structures // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. No. 107. Article No 10705.
9. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Ленинград: Стройиздат, 1990. 415 с.
10. Ягубкин А. Н. Влияние влажности на водостойкость и долговечность арболитовых изделий // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2012. С. 60-63.
11. Jiang C., Lu G. Y., Han X., Liu L. X. A new reliability analysis method for uncertain structures with random and interval variables // International Journal of Mechanics and Materials in Design. 2012. No. 8. Pp. 169-182.
12. Харитонов В. А., Николаев И. Н., Петров И. М. Анализ уровня качества арматурной стали А400С и А500С на основе методов математической статистики // Качество в обработке материалов. 2016. №. 1(5). С. 18-22.
13. Zeng C., Zhu J. H., Xiong C., Li Y., Li D., Walraven J. Analytical model for the prediction of the tensile behaviour of corroded steel bars // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 258. Pp. 120290.
14. Djavanroodi F., Salman A. Variability of mechanical properties and weight for reinforcing bar produced in Saudi Arabia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 230. No. 1. Pp. 012002.
15. Соловьев С. А., Соловьева А.А. Метод вероятностного анализа надежности элементов конструкций на основе граничных функций распределения // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 10. С. 1545-1555.
16. Zhang H., Mullen R. L., Muhanna R. L. Interval Monte Carlo methods for structural reliability // Structural Safety. 2010. Vol. 32. No. 3. Pp. 183-190.
17. Marek P., Brozzetti J., Guštar M. Probabilistic Assessment of Structures Using Monte Carlo Simulation. Czech Republic, Prague: CAS, 2003. 471 p.
18. Solovyev S., Solovyeva A. Structural reliability analysis using evidence theory and fuzzy probability distributions // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 7(107).
19. Yang M., Zhang D., Han X. New efficient and robust method for structural reliability analysis and its application in reliability-based design optimization // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2020. Vol. 366. Pp. 113018.
20. Meng Z., Li G., Wang X., Sait S. M., Yıldız, A. R. A comparative study of metaheuristic algorithms for reliability-based design optimization problems // Archives of Computational Methods in Engineering. 2021. No. 28. Pp. 1853-1869.

REFERENCES

1. Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G. Issledovanie vliyaniya stal'nyh teploprovodnyh vkluyucheniij na teplotekhnicheskie svoystva ograzhdayushchej konstrukcii iz drevsesno-cementnogo kompozita [Study of the Influence of Steel Heat-Conducting Inclusions on the Thermal Properties of an Enclosing Structure Made of Wood-Cement Composite]. *Conifers of the Boreal Zone*. 2022. Vol. 40. No. 1. Pp. 76–83. (rus).
2. Obrezkova V. A. Issledovanie izgibaemyh predvaritel'no napryazhennyh konstrukcij iz porizovannogo arbolita [Study of Pre-Stressed Bending Structures Made of Porous Arbolite]: Specialty 05.23.01 PhD Thesis. Samara: SGASU, 2005. 20 p. (rus)
3. Dolmatov S. N., Kolesnikov P. G. Wood-Cement Composite and its Reinforcement with Wooden Bars. *Key Engineering Materials*. 2022. Vol. 910. Pp. 982-987.

4. Egorova E. M., Lipey O. A. Korrozionnaya stojkost' armatury v porizovannom arbolite [Corrosion Resistance of Reinforcement in Porous Arbolite]. *Concrete and Reinforced Concrete*. No. 10. 1988. Pp. 39–40. (rus)
5. Andre N., Cho H. W., Baek S. H., Jeong M. K., Young, T. M. Prediction of internal bond strength in a medium density fiberboard process using multivariate statistical methods and variable selection. *Wood Science and Technology*. 2008. No. 42. Pp. 521-534.
6. Sanaev V. G., Zaprudnov V. I., Gorbacheva G. A., Oblivin A. N. Factors affecting the quality of wood-cement composites. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*. 2016. Vol. 9. No. 2. Pp. 63-70.
7. Fadiel A.A.M., AbuLebdeh, T., Petrescu, F.I.T. Assessment of Woodcrete Using Destructive and Non-Destructive Test Methods. *Materials*. 2022. No. 15. Pp. 3066
8. Korolev A., Koroleva Y., Gusev D. Wood (arbolit) concrete for bearing span structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2023. No. 107. Article No 10705. (rus)
9. Nanazashvili I. H. Stroitel'nye materialy iz drevesno-cementnoj kompozicii [Building Materials Made of Wood-Cement Composite]. Leningrad: Stroyizdat, 1990. 415 p. (rus)
10. Yagubkin A. N. Vliyanie vlazhnosti na vodostojkost' i dolgovechnost' arbolitovyh izdelij [Influence of Moisture on Water Resistance and Durability of Arbolite Products]. *Bulletin of Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Sciences*. 2012. Pp. 60–63. (rus)
11. Jiang C., Lu G. Y., Han X., Liu L. X. A new reliability analysis method for uncertain structures with random and interval variables. *International Journal of Mechanics and Materials in Design*. 2012. No. 8. Pp. 169-182.
12. Kharitonov V. A., Nikolaev I. N., Petrov I. M. Analiz urovnya kachestva armaturnoj stali A400S i A500S na osnove metodov matematicheskoy statistiki [Analysis of the Quality Level of Reinforcing Steel A400C and A500C Based on Methods of Mathematical Statistics]. *Quality in Material Processing*. 2016. No. 1 (5). Pp. 18–22. (rus)
13. Zeng C., Zhu J. H., Xiong C., Li Y., Li D., Walraven J. Analytical model for the prediction of the tensile behaviour of corroded steel bars. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 258. Pp. 120290.
14. Djavanroodi F., Salman A. Variability of mechanical properties and weight for reinforcing bar produced in Saudi Arabia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 230. No. 1. Pp. 012002.
15. Solovyev S. A., Solovyeva A. A. Method of Probabilistic Analysis of Structural Element Reliability Based on Boundary Distribution Functions. *Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering*. 2023. Vol. 18. No. 10. Pp. 1545–1555. (rus)
16. Zhang H., Mullen R. L., Muhanna R. L. Interval Monte Carlo methods for structural reliability. *Structural Safety*. 2010. Vol. 32. No. 3. Pp. 183-190.
17. Marek P., Brozzetti J., Guštar M. Probabilistic Assessment of Structures Using Monte Carlo Simulation. Czech Republic, Prague: CAS, 2003. 471 p.
18. Solovyev S., Solovyeva A. Structural reliability analysis using evidence theory and fuzzy probability distributions. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. No. 7(107)
19. Yang M., Zhang D., Han X. New efficient and robust method for structural reliability analysis and its application in reliability-based design optimization. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2020. Vol. 366. Pp. 113018.
20. Meng Z., Li G., Wang X., Sait S. M., Yıldız, A. R. A comparative study of metaheuristic algorithms for reliability-based design optimization problems. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2021. No. 28. Pp. 1853-1869.

Информация об авторах

Соловьев Сергей Александрович

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия
кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства

E-mail: solvevsa@vogu35.ru

Шевцов Леонид Сергеевич

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия
аспирант, преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства

E-mail: shevcovls@vogu35.ru

Соловьева Анастасия Андреевна

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет» (ВоГУ), г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, Россия
старший преподаватель кафедры промышленного и гражданского строительства

E-mail: solvevaaa@vogu35.ru

Information about the authors

Solovyev Sergey Alexandrovich

Vologda State University, Vologda, Russia

Candidate of tech, sciences, associate professor of the industrial and civil construction department
E-mail: solovevsa@vogu35.ru

Shevcov Leonid Sergeevich

Vologda State University, Vologda, Russia

lecturer, post-graduate student the industrial and civil construction department

E-mail: shevcovls@vogu35.ru

Solovyeva Anastasia Andreevna

Vologda State University, Vologda, Russia

lecturer, post-graduate student the industrial and civil construction department

E-mail: solovevsa@vogu35.ru

А.В. ТУР¹¹ Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МЕР НАДЁЖНОСТИ ПРИ ПРОВЕРКАХ ЖИВУЧЕСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ В ОСОБЫХ РАСЧЁТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация. Научно-обоснованное назначение целевых значений мер надёжности является первым и одним из наиболее важных шагов, как при калибровке системы частных коэффициентов, включенных как в современные предписывающие нормы проектирования конструкций, так и при выполнении проверок предельных состояний на основе прямых вероятностных расчетов и расчётов рисков в рамках новой парадигмы проектирования, основанного на выходном результате или отклике.

В исследованиях в качестве минимальных допустимых мер надёжности приняты пороговые значения вероятностей отказа и соответствующих индексов надёжности, полученные на основе базового требования обеспечения безопасности жизнедеятельности. Данный подход реализован с использованием LQI-критерия, при вычислении константы относительных затрат на спасение жизни, для социально-экономических условий Республики Беларусь. Пороговые значения параметров принятия решения, полученные из условий обеспечения безопасности жизнедеятельности, определяют границу области, в которой следует выполнять экономическую оптимизацию мер надёжности.

Установлены целевые значения параметров надёжности, применяемые при проверках живучести в особых расчётных ситуациях, для социально-экономических условий Республики Беларусь, что позволяет обоснованно выполнить калибровку глобального коэффициента безопасности при выполнении нелинейного анализа поврежденных конструктивных систем. Из сравнения основных индикаторов социально-экономического развития можно заключить, что полученные меры надёжности применимы, с незначительными корректировками, и к условиям Российской Федерации.

Ключевые слова: особая расчётная ситуация, проверки живучести, меры надёжности, конструктивная система.

A.V.TUR¹¹ Brest State Technical University, Brest, Belarus

DIFFERENTIATION OF THE TARGET RELIABILITY MEASUREMENTS FOR STRUCTURAL SYSTEMS ROBUSTNESS CHECKING IN ACCIDENTAL DESIGN SITUATIONS

Abstract. The scientifically based assignment of target values of reliability measures is the first and one of the most important steps, both when calibrating the system of partial coefficients included in modern prescriptive standards for the design of structures, and when performing limit state checks based on direct probabilistic calculations and risk calculations within the framework of a new design paradigm based on the performance-based output result or a response.

In the research, threshold values of failure probabilities and corresponding reliability indices, obtained on the basis of the basic requirement for ensuring life safety, are used as minimum acceptable reliability measures. This approach is implemented using the LQI- criterion, when calculating the constant of the relative cost of saving lives, for the socio-economic conditions of the Republic of Belarus. The threshold values of the decision-making parameters obtained from the conditions for ensuring the safety of life determine the boundary of the area in which the economic optimization of reliability measures should be performed.

The target values of reliability parameters used in survivability checks in special design situations for the socio-economic conditions of the Republic of Belarus have been established, which makes it possible to reasonably calibrate the global safety coefficient when performing a nonlinear analysis of damaged structural systems. From a comparison of the main indicators of socio-economic development, it can be concluded that the reliability measures obtained are applicable, with minor adjustments, to the conditions of the Russian Federation.

Keywords: accidental design situation, robustness checking, reliability measurements, structural system.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СН 2.01.01-2019. Основы проектирования строительных конструкций – Введ. 08.09.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 83 с.
2. Тур, В. В. О назначении требуемых мер надежности при разработке национальных нормативных документов по проектированию строительных конструкций / В. В. Тур, А. В. Тур, С. С. Дереченник, Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 2–15.
3. Шпёте Г. Надёжность несущих строительных конструкций/Пер.с.нем.О.О. Андреева. М: Стройиздат, 1994. – 288 с.: ил.
4. *fib* Model Code for Concrete Structures 2020. Final Draft -May 2023: Federal Institute of Technology, Lausanne-EPEL, 2023-843 p.p.
5. Основы проектирования конструкций. Еврокод: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.12. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2012. – 70 с.
6. Проектирование железобетонных конструкций. Еврокод 2. ТКП-EN 1992-1-1-2009.- Введ.01.07.2010. -Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 207 с.
7. prEN 1990 Basis of Structural and Geotechnical Design- CEN, 2020-476 p.p.
8. Надёжность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2015. – Введ. 01.01.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 69 с
9. JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. –2001. – Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. –Date of access: 15.01.2016
10. Fisher K., Bernardo-Viljoen., Faber M. Deriving target reliabilities from LQI: LQI-Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark, aug.21-21, 2012.-234 p.p.
11. On the assessment of marginal life saving costs for risk acceptance criteria [Electronic resource] / Katharina Fischer, Edgar Virguez, Mauricio Sanches-Silva, Michael H. Faber // Structural Safety. –2013. – Journal homepage. – Mode of access: <http://www.elsevier.com/locate/strusafe>. – Data of access: 27.08.2020.
12. R. Rackwitz. Optimization and risk acceptability based on the life quality index. Structural Safety, 24(2-4):297–332, 2002.
13. Rackwitz, R. (2008). The philosophy behind the Life Quality Index and empirical verifications. JCSS Basic Documents on Risk Assessment in Engineering, www.jcss.byg.dtu.dk.
14. Лапина А.И. Определение оптимальных значений целевых индексов надёжности строительных конструкций для плоских перекрытий каркасных зданий// Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство. - 2019.-№3-С.13-19/ doi.org/10.36773/1818-1212-2021-125-2-13-19.
15. Hingorani R. Acceptable life safety risk associated with the effects of gas explosions on reinforced concrete structures. /Thesis Doctoral, Madrid, UPM,2017.-329 p.p.
16. Тур, В. В. Формат безопасности при выполнении нелинейных расчетов железобетонных конструкций / В. В. Тур, А. В. Тур // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР), сборник статей Международной научно-технической конференции, Брест, март 2017 года / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет; редкол.: С. М. Семенюк [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2017. – С. 243-260.
17. Демографический ежегодник Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. – 442 с.
18. Демографический ежегодник Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. – 440 с.

19. Демографический ежегодник Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2022. – 431 с.
20. Демографический ежегодник Республики Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2023. – 429 с.
21. Беларусь в цифрах: статистический справочник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2019. – 72 с.
22. Беларусь в цифрах: статистический справочник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 72 с.
23. Беларусь – валовой внутренний продукт [Электронный ресурс] // Мировой атлас данных. Беларусь. Экономика. – Режим доступа: <https://knoema.ru/atlas/Беларусь/ВВП>. – Дата доступ: 02.09.2019.
24. Беларусь и Россия 2022: Стат.сб./Росстат, Белстат, -Б43М., Росстат, 2022- 206 с.

REFERENCES

1. SN 2.01.01-2019. Osnovy proektirovaniya stroitel'nyh konstrukcij [Basics of design of building structures], Minsk, 2020 – 83 p.p. (In Russian)
2. Tur, V. V. O naznachenii trebuyemyh mer nadezhnosti pri razrabotke nacional'nyh norma-tivnyh dokumentov po proektirovaniyu stroitel'nyh konstrukcij [On the appointment of required reliability measures in the development of national regulatory documents on the design of building structures] / V.V. Tur, A.V. Tur, S.S. Derechennik, Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Construction and Architecture]. – 2020. – № 1. – S. 2–15. (In Russian)
3. SHpyote G. Nadyozhnost' nesushchih stroitel'nyh konstrukcij [Reliability of load-bearing building structures]/Per.s.nem.O.O. Andreeva. M: Strojizdat, 1994. – 288 p.p.
4. **fib** Model Code for Concrete Structures2020. Final Draft -May 2023: Federal Institute of Technology, Lausanne-EPEL, 2023-843 p.p.
5. ТКР EN 1990-2011. Osnovy proektirovaniya konstrukcij [Basics of design of building structures]. – Minsk: M-vo arhitektury i str-va Resp. Belarus', 2012. – 70 p.p. (In Russian)
6. ТКР-EN 1992-1-1-2009. Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij [Design of reinforced concrete structures]. - Minsk: M-vo arhi-tektury i str-va Resp. Belarus', 2010. – 207 p.p. (In Russian)
7. prEN 1990 Basis of Structural and Geotechnical Design- CEN, 2020-476 p.p.
8. STB ISO 2394-2015. Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij. Obshchie principy [Reliability of building structures. General principles]. – Minsk: Gosstandart, 2016. – 69 p.p. (In Russian)
9. JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. –2001. – Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. –Date of access: 15.01.2016
10. Fisher K., Bernardo-Viljoen., Faber M. Deriving target reliabilities from LQI: LQI-Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark, aug.21-21, 2012.-234 p.p.
11. On the assessment of marginal life saving costs for risk acceptance criteria [Electronic resource] / Katharina Fischer, Edgar Virguez, Mauricio Sanches-Silva, Michael H. Faber // Structural Safety. –2013. – Journal homepage. – Mode of access: <http://www.elsevier.com/locate/strusafe>. – Data of access: 27.08.2020.
12. R. Rackwitz. Optimization and risk acceptability based on the life quality index. Structural Safety, 24(2-4):297–332, 2002.
13. Rackwitz, R. (2008). The philosophy behind the Life Quality Index and empirical verifications. JCSS Basic Documents on Risk Assessment in Engineering, www.jcss.byg.dtu.dk.
14. Lapina A.I. Opredelenie optimal'nyh znachenij celevyh indeksov nadyozhnosti stroitel'nyh konstrukcij dlya ploskih perekrytij karkasnyh zdaniy [Determination of optimal values of target indexes of reliability of building structures for flat floors of frame buildings] // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo [Bulletin of the Brest State Technical University. Construction]. - 2019.-№3 - p.13-19 / doi.org/10.36773/1818-1212-2021-125-2-13-19.
15. Hingorani R. Acceptable life safety risk associated with the effects of gas explosions on reinforced concrete structures. /Thesis Doctoral, Madrid, UPM,2017.-329 p.p.
16. Tur, V. V. Format bezopasnosti pri vypolnenii nelinejnyh raschetov zhelezobetonnyh konstrukcij [Safety format for performing nonlinear calculations of reinforced concrete structures] / V.V. Tur, A.V. Tur // Teoriya i praktika issledovanij i proektirovaniya v stroitel'stve s primeneniem sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya (SAPR), sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Brest, mart 2017 goda / Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet; redkol. [Theory and practice of research and design in construction using computer-aided design (CAD) systems, collection of articles of the International Scientific and Technical Conference, Brest, March 2017 / Ministry of Education of the Republic of Belarus, Brest State Technical University]: S. M. Semenyuk [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2017. – P. 243-260.

17. Demographic Yearbook of the Republic of Belarus: statistical collection / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; editorial board: I. V. Medvedeva [et al.]. – Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2019. – 442 p.
18. Demographic Yearbook of the Republic of Belarus: statistical collection / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; editor: I. V. Medvedeva [et al.]. – Minsk : National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2021. – 440 p.
19. Demographic Yearbook of the Republic of Belarus: statistical collection / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; editor: I. V. Medvedeva [et al.]. – Minsk : National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2022. – 431 p.
20. Demographic Yearbook of the Republic of Belarus: statistical collection / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; editor: I. V. Medvedeva [et al.]. – Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2023. – 429 p.
21. Belarus in numbers: statistical handbook / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; editor: I. V. Medvedeva [et al.]. – Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2019. – 72 p.
22. Belarus in numbers: statistical handbook / National Statistical Committee of the Republic of Belarus; editor: I. V. Medvedeva [et al.]. – Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2020. – 72 p.
23. Belarus – gross domestic product [Electronic resource] / World Data Atlas. Belarus. Economy. – Access mode: <https://knoema.ru/atlas/Беларусь/ВВП> . – Date of access: 02.09.2019.
24. Belarus and Russia 2022: Stat.sat./Rosstat, Belstat, -B43M., Rosstat, 2022- 206 p.

Информация об авторах:

Тур Андрей Викторович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой архитектуры.

E-mail: aturphd@gmail.com

Information about authors:

Tur Andrei V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Architecture.

E-mail: aturphd@gmail.com

А.Е. ЕНИН¹, Н.В. ПЕРОВА¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» г. Воронеж, Россия

АРХИТЕКТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОННЫХ ЗАВОДОВ РОССИИ БЕЛОВОДСКОЙ ГРУППЫ XVIII - НАЧАЛА XX ВВ.

Аннотация. Рассмотреть проблему сохранения и использования культурного наследия - старинных коннозаводческих комплексов Беловодской группы. На основе архивных документов и исследований, проведенных на месте, для изучения объектов Беловодского района Луганской Народной республики, необходимо выявить утраченные объекты с идентификацией возможного места их расположения. Представить характеристику сохранившихся объектов комплексов, включающих историческую справку, схему генерального плана и обмеры основных сооружений комплекса. Выявлена необходимость в установлении наиболее эффективного подхода в решении проблематики формирования коннозаводческих комплексов, как одного из сложно организованных элементов искусственной среды, образующего единую структуру функционально-планировочного и транспортного каркасов региональной историко-культурной среды. Установлена необходимость в пересмотре моделей и методов управления коннозаводческими предприятиями, концепции их развития. Развитие принципиально нового направления будет способствовать новому витку развития ряда культурных объектов региона и привлечению туристов.

Ключевые слова. Коннозаводческий комплекс, Луганская Народная республика (ЛНР), Беловодская группа, архитектура, ретроспективный анализ, историко-культурное наследие, композиционный анализ, управление.

A.E. ENIN¹, N.V. PEROVA¹

¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

ARCHITECTURAL HERITAGE OF THE STATE STUD FARMS OF RUSSIA OF THE BELOVODSK GROUP OF THE XVIII - EARLY XX CENTURIES

Abstract. To consider the problem of preservation and use of cultural heritage - ancient horse breeding complexes of the Belovodsk group. On the basis of archival documents and research carried out on the spot, in order to study the objects of the Belovodsk district of the Lugansk People's Republic, it is necessary to identify the lost objects with the identification of their possible location. To present the characteristics of the surviving objects of the complexes, including historical reference, a scheme of the master plan and measurements of the main structures of the complex.

The need to establish the most effective approach to solving the problems of the formation of horse-breeding complexes as one of the complexly organized elements of the artificial environment, forming a single structure of the functional-planning and transport frameworks of the regional historical and cultural environment, is revealed. The need to revise the models and methods of management of horse-breeding enterprises, the concept of their development has been established. The development of a fundamentally new direction will contribute to a new round of development of a number of cultural sites in the region and attract tourists.

Keywords. Horse breeding complex, Lugansk People's Republic (LPR), Belovodsk group, architecture, retrospective analysis, historical and cultural heritage, compositional analysis, management.

© Енин А.Е., Перова Н.В., 2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статья 9 "Договор между Российской Федерацией и Луганской Народной Республикой о принятии в Российскую Федерацию Луганской Народной Республики и образовании в составе Российской Федерации нового субъекта" (Подписан в г. Москве 30.09.2022)
2. Федеральный конституционный закон от 04.10.2022 N 6-ФКЗ (ред. от 25.12.2023) "О принятии в Российскую Федерацию Луганской Народной Республики и образовании в составе Российской Федерации нового субъекта – Луганской Народной Республики".
3. Анисимов Евгений Викторович. Императорская Россия. – Санкт-Петербург, Издательство «Питер», 2024. – 640с.: ил.
4. Богданова Татьяна Васильевна. История Российской империи в документах. 1721-1917. По материалам выставки «Быть по сему...». Научно-художественное издание. – Санкт-Петербург, Издательство «Аврора», 2022. – 336с. – 428 илл.
5. Дубенский Дмитрий Николаевич. Конские заводы Европейской России, Кавказа и Тургайской области и исторический очерк их развития: С карт. распределения пород, з-дов и табунов. / Сост. Дм. Дубенский, под ред. И.К. Мердер. – Санкт-Петербург: Воен. тип., 1896. – [2], LIV, 306, [5] с.; 21.
6. Енин Александр Егорович, Щерблыкина-Монастырёва Элеанора Игоревна. Формирование методов благоустройства территории имеющей культурные, археологические и природные охранные регламенты её использования на примере Семилукского городища. Научно-технический журнал «Строительство и реконструкция». Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. №2 (94) 2021. С.63-73
7. Иессен Петр Петрович Замечания профессора Иессена о русских государственных конских заводах/ Иессен Петр Петрович- М.: Книга по Требованию, 2023.-130 с.
8. Кожевников Евгений Валентинович, Гуревич Давид Яковлевич. Отечественное коневодство: история, современность, проблемы. – М.: Агропромиздат, 1990. – 221с.
9. Коптев Василий Иванович. Материалы для истории русского коннозаводства: Статьи Василия Ивановича Коптева 1847-1887 гг./ Коптев Василий Иванович – М.: Книга по требованию, 2022. – 987с.
10. Корнилова А.В. Архитектурный комплекс Санкт-Петербургского управления государственного коннозаводства как памятник периода эклектики. Вестник СПбГУКИ. № 1 (10) март 2012. С.120-125
11. Кригер Лариса Валерьевна. Усадьбы Воронежской области. – Воронеж: Центр духовного возрождения Черноземного края, 2011. – 368с.
12. Мельникова Дарья Андреевна. Хозяйственное и техническое обеспечение государственных конских заводов Российской империи во второй четверти XIX – начале XX в. История повседневности Учредители: Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина. № 1 (9) 2019. С. 66-81
13. Мердер Иван Карлович. Исторический очерк русского коневодства и коннозаводства. Изд. Стереотип. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. – 160с. (Энциклопедия конника.)
14. Озерной Иван Григорьевич. Сказание о стрелецкой породе лошадей. – Луганск: РИО ОАО «Луганская областная типография», 2007. – 387с.
15. Степанов Владимир Николаевич. История Беловодского края: события и лица, факты и версии: Историко – публицистическое издание / В.Н. Степанов. – Луганск: Изд-во «Глобус», 2014. – 384с.
16. Телятников Игорь Сергеевич. Архитектура русских конных заводов, XVIII-XIX вв.: диссертация ... кандидата архитектуры: 18.00.01. – Москва, 1953. – 267 с.: ил.
17. Федоров Александр Борисович. Деркульский государственный конный завод страницы истории. – Киев, Издательство «Глобус», 2021. – 279с.
18. Холодова Елена Васильевна. «Золотого века» в архитектуре усадебных зданий Курской губернии 1-я половина XVIII - 2-я половина XIX вв. Научно-технический журнал «Строительство и реконструкция». Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. №3 (89) 2020. С.82-98
19. Шапиро Белла Львовна. Кавалерия в царствование Александра I: рецепция военного опыта XVIII столетия // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. История. Международные отношения. 2019. Т. 19, вып. 3. С. 272–278. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-4907-2019-19-3-272-278>
20. Шапиро Белла Львовна. Русская строевая лошадь в XVIII столетии («Золотой век» Екатерины II и его предпосылки) // Вестник славянских культур. 2019. Т. 51. С. 36–48.

REFERENCES

1. Article 9 "Treaty between the Russian Federation and the Lugansk People's Republic on the Admission to the Russian Federation of the Lugansk People's Republic and the Formation of a New Subject within the Russian Federation" (Signed in Moscow on September 30, 2022)
2. Federal Constitutional Law of October 4, 2022 N 6-FKZ (as amended on December 25, 2023) "On the Admission to the Russian Federation of the Lugansk People's Republic and the Formation of a New Subject within the Russian Federation - the Lugansk People's Republic".
3. Anisimov Evgeny Viktorovich. Imperial Russia. – St. Petersburg, Peter Publishing House, 2024. - 640s.: ill.
4. Bogdanova Tatiana Vasilyevna. The history of the Russian Empire in documents. 1721-1917. Based on the materials of the exhibition "To be so ...". Scientific and artistic publication. – St. Petersburg, Aurora Publishing House, 2022. – 336с. – 428 ill.
5. Dubensky Dmitry Nikolaevich. Horse factories of European Russia, the Caucasus and the Turgai region and a historical sketch of their development: From maps of the distribution of breeds, herds and herds. / Comp. Dm. Dubensky, edited by I.K. Murder. – Saint Petersburg: Military Type, 1896. –2], LIV, 306, [5] p.; 21.
6. Enin Alexander Egorovich, Shcheblykina-Monastyreva Eleanora Igorevna. Formation of methods of landscaping a territory with cultural, archaeological and natural conservation regulations for its use on the example of the Semiluksky settlement. Scientific and technical journal "Construction and Reconstruction". I.S. Turgenev Oryol State University. No. 2 (94) 2021. pp.63-73
7. Peter Petrovich Jessen, Professor Jessen's Remarks on Russian state horse farms/ Peter Petrovich Jessen, Moscow: Book on Demand, 2023.-130 p.
8. Kozhevnikov Evgeny Valentinovich, Gurevich David Yakovlevich. Domestic horse breeding: history, modernity, problems. Moscow: Agropromizdat, 1990. 221s.
9. Koptev Vasily Ivanovich. Materials for the history of Russian horse breeding: Articles by Vasily Ivanovich Koptev 1847-1887/ Vasily Ivanovich Koptev– Moscow: Book on Demand, 2022– 987с.
10. Kornilova A.V. The architectural complex of the St. Petersburg State Horse Breeding Department as a monument of the eclectic period. Bulletin of St. Petersburg State University of Economics. No. 1 (10) March 2012. pp.120-125
11. Larisa V. Krieger. Estates of the Voronezh region. Voronezh: Center for Spiritual Revival of the Chernozem Region, 2011. 368s.
12. Melnikova Darya Andreevna. Economic and technical support of the state-owned horse factories of the Russian Empire in the second quarter of the 19th - early 20th century. The history of everyday life Founders: A.S. Pushkin Leningrad State University. No. 1 (9) 2019. pp. 66-81
13. Murder Ivan Karlovich. Historical sketch of Russian horse breeding and horse breeding. Ed. Stereotype. – M.: Book house "LIBROCOM", 2016. – 160s. (Encyclopedia of horsemen.)
14. Ozernoi Ivan Grigorievich. The legend of the Streltsy horse breed. Lugansk: Branch of JSC "Lugansk Regional Printing House", 2007. 387s.
15. Stepanov Vladimir Nikolaevich. The history of Belovodsk region: events and persons, facts and versions: Historical and journalistic edition / V.N. Stepanov. Lugansk: Globus Publishing House, 2014. 384с.
16. Igor Sergeevich Telyatnikov. Architecture of Russian stud farms, XVIII-XIX centuries: dissertation... Candidate of Architecture: 18.00.01. – Moscow, 1953. – 267 p.: ill.
17. Fedorov, Alexander Borisovich. Derkul'sky State Stud farm pages of history. – Kiev, Globus Publishing House, 2021. – 279s.
18. Kholodova Elena Vasilyevna. The "Golden Age" in the architecture of manor buildings of the Kursk province in the 1st half of the XVIII - 2nd half of the XIX centuries. Scientific and technical journal "Construction and Reconstruction". I.S. Turgenev Oryol State University. No. 3 (89) 2020. pp.82-98
19. Shapiro Bella Lvovna. Cavalry in the reign of Alexander I: reception of the military experience of the XVIII century // Izv. Sarath. un-ta. New ser. Ser. History. International relations. 2019. Vol. 19, issue. 3. Pp. 272-278. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-4907-2019-19-3-272-278>
20. Shapiro Bella Lvovna. The Russian drill horse in the XVIII century (the "Golden Age" of Catherine II and its prerequisites) // Bulletin of Slavic Cultures, 2019, vol. 51, pp. 36-48.

Информация об авторах:

Енин Александр Егорович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» г. Воронеж, Россия
кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой основ проектирования и архитектурной графики,
e-mail: a_yenin@mail.ru

Перова Наталья Викторовна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» г. Воронеж, Россия
аспирант кафедры кафедрой основ проектирования и архитектурной графики
e-mail: nvperova@mail.ru

Information about the authors:

Enin Aleksandr E.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, PhD in Architecture, Professor, Head of the Department of Fundamentals of Design and Architectural Graphics,
e-mail: a_yenin@mail.ru

Perova Natalia V.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, PhD student, Department of Fundamentals of Design and Architectural Graphics
e-mail: nvperova@mail.ru

С.А. ЛОГИНОВА¹, П.Б. РАЗГОВОРОВ¹, И.Н. ГОГЛЕВ²

¹ ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия

² ООО «ТехноНИКОЛЬ – Строительные Системы», г. Москва, Россия

ПОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Аннотация. Разработаны экспериментальные составы преобразователей коррозии металлов для современного строительства на основе ортофосфорной кислоты с включением поверхностно-активных веществ. Их особенностью является применение раствора кислоты Льюиса в качестве функциональной добавки, позволяющей оперативно (в течение 5 мин) выполнять обработку металлической поверхности. Изучены водородные показатели получаемых систем. Оценено влияние пониженных температур на pH исследуемых растворов и скорость обработки поверхности металла после их выдерживания при -18 и -29°C . По результатам исследований выявлено, что при -18°C часть экспериментальных систем кристаллизуется, а отдельные составы переходят в сиропообразное состояние. При -29°C наблюдается кристаллизация всех составов. Обнаружено, что разработанные составы преобразователей коррозии металлов сохраняют свои рабочие свойства даже после продолжительной заморозки (90 сут). Предлагаемые составы рекомендуется использовать в зимний период проведения строительных работ (температура ниже -10°C) только при наличии тепляков или организации внутреннего обогрева.

Ключевые слова: стальная арматура, коррозия, преобразователи коррозии металлов, экспериментальные составы, низкие температуры, замораживание, фосфатные покрытия.

S.A. LOGINOVA¹, P.B. RAZGOVOROV¹, I.N. GOGLEV²

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

²TechnoNIKOL – Construction Systems LLC, Moscow, Russia

BEHAVIOR OF EXPERIMENTAL METAL CORROSION CONVERTERS AT LOW TEMPERATURES

Abstract. Formulations of metal corrosion converters for modern construction based on orthophosphoric acid with the inclusion of surfactants is developed. Their feature is the use of Lewis acid solution as a functional additive, which allows you to quickly (5 minutes) treat the metal surface. The hydrogen indicators of the resulting systems have been studied. The effect of low temperatures on the pH of the studied solutions and the speed of metal surface treatment after their exposure at -18 and -29°C were evaluated. At -29°C , crystallization of all compositions is observed. It was also found that the developed compositions of metal corrosion transducers retain their physical and mechanical properties even after long-term freezing (90 days). The proposed compositions are recommended to be used in the winter season (at temperatures below -10°C) only in the presence of greenhouses or internal heating.

Keywords: steel rebar, corrosion, metal corrosion converters, experimental compositions, low temperatures, freezing, phosphate coatings.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Парфененко А.П., Тимофеев А.Б. Исследование влияния климатических условий на прогрев внешней стенки резервуара СУГ // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31. № 6. С. 68-77.
2. Кондращенко В.И., Гребенников Д.А., Кендюк А.В., Костюк Т.А., Бондаренко Д.А., Чан Т.Т.Х. Сухая строительная смесь проникающего действия для зимнего бетонирования // Патент на изобретение RU 2379243 C1, 20.01.2010. Заявка № 2008126429/03 от 01.07.2008.
3. Сахнова Л.Ю., Воронцова О.А., Везенцев А.И. Морозостойкость неотвержденной и отвержденной композиции защитно-декоративного покрытия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2015. № 15 (212). С. 141-144.
4. Степанова В.Ф., Соколова С.Е., Полушкин А.Л. Новые эффективные материалы для вторичной защиты железобетонных конструкций // Коррозия: материалы, защита. 2006. № 6. С. 38-42.
5. Wendell M. Latimer, Worth H. Rodebush. Polarity and ionization from the standpoint of the lewis theory of valence (англ.) // J. Am. Chem. Soc.. 1920. Vol. 42. P. 1419-1433.
6. Mehrer H. Heroes and Highlights in the History of Diffusion // Diffusion Fundamentals. 2009. Т. 11, № 1. P. 1-32.
7. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. М.: Наука, 1982. 312 с.
8. Timothy A. Strobel, Maddury Somayazulu, Stanislav V. Sinogeikin, Przemyslaw Dera & Russell J. Hemley. Hydrogen-stuffed, quartz-like water ice // J. Am. Chem. Soc. Vol. 138. P. 13786-13789.
9. Konovalova V., Rumyantseva V. Corrosion protection of reinforcement with phosphate coatings // IOP Conf. Ser. Mat. Sci. Eng. Kazan, Russia, 2020. P. 012-091.
10. Патент РФ № 2371517. Преобразователь поверхности металла. 27.10.2009 г.
11. Патент РФ № 2565170. Способ антикоррозионной обработки поверхности черных металлов. 20.10.2015 г.
12. Перехрест Н.А., Пименова К.Н., Литовченко В.Д. Образование фосфатных покрытий на сплавах алюминия // Журн. прикл. химии. 1992. Т. 65, вып. 5. С. 1163-1166.
13. Клейн Е.В., Симунова С.С., Горшков В.К. Влияние фосфатирования на качество автоосаждения лака КЧ-0125 на поверхности алюминия и его сплавов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2006. Т. 49, вып. 1. С. 45-48.
14. Клейн Е.В., Разговоров П.Б., Ситанов С.В., Горшков В.К., Симунова С.С. Особенности формирования фосфатных пленок на алюминии и его сплавах // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2006. Т. 49, вып. 7. С. 45-47.
15. Гоглев И.Н., Логинова С.А. К вопросу о возможности применения различных кислот Льюиса для улучшения и модификации составов преобразователей коррозии // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2021. № 1. С. 287-289.
16. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Гоглев И.Н. Явления массопереноса в системе "цементный раствор-композитная пластиковая арматура" на стадии структурообразования композита. Ч. 1. Физические представления и математическая постановка задачи // Academia. Архитектура и строительство. 2020. № 1. С. 118-123.
17. Fedosov S.V., Roumyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The influence of structure formation conditions of the composite on the mass transfer processes // IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. P. 042-047.
18. Разговоров П.Б., Игнатьев А.А., Абрамов М.А., Нагорнов Р.С. Переработка алюмосиликатного сырья и отходов строительства метрополитена в композиционные сорбенты для очистки водных и маслосодержащих сред // Умные композиты в строительстве. 2020. Т. 1. Вып. 1. С. 10-26. http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020.

REFERENCES

1. Parfenenko A.P., Timofeev A.B. Issledovanie vliyaniya klimaticheskikh uslovij na progrev vneshnej stenki rezervuara SUG [Study of the influence of climatic conditions on the heating of the outer wall of a LPG tank]. *Fire and Explosion Safety*. 2022. Vol. 31. No. 6. Pp. 68-77. (in Russian).
2. Kondrashchenko V.I., Grebennikov D.A., Kendyuk A.V., Kostyuk T.A., Bondarenko D.A., Chan T.T.Kh. Dry penetrating construction mixture for winter concreting. Patent for invention RU 2379243 C1, 20.01.2010. Application No. 2008126429/03 dated 01.07.2008. (in Russian).
3. Sakhnova L.Yu., Vorontsova O.A., Vezentsev A.I. Morozostojkost' neotverzhdennoj i otverzhdennoj kompozicii zashchitno-dekorativnogo pokrytiya [Frost resistance of uncured and cured composition of protective and decorative coating]. *Scientific bulletin of Belgorod State University. Ser.: Natural sciences*. 2015. No. 15 (212). Pp. 141-144. (in Russian).

4. Stepanova V.F., Sokolova S.E., Polushkin A.L. Novye effektivnye materialy dlya vtorichnoj zashchity zhelezobetonnyh konstrukcij [New effective materials for secondary protection of reinforced concrete structures]. *Corrosion: materials, protection*. 2006. No. 6. Pp. 38-42. (in Russian).
5. Wendell M. Latimer, Worth H. Rodebush. Polarity and ionization from the standpoint of the Lewis theory of valence (English). *J. Am. Chem. Soc.* 1920. Vol. 42. Pp. 1419-1433.
6. Mehrer H. Heroes and Highlights in the History of Diffusion. *Diffusion Fundamentals*. 2009. Vol. 11. No. 1. Pp. 1-32.
7. Kaplan I.G. Introduction to the Theory of Intermolecular Interactions. Moscow: Nauka, 1982. 312 p. (in Russian).
8. Timothy A. Strobel, Maddury Somayazulu, Stanislav V. Sinogeikin, Przemyslaw Dera & Russell J. Hemley. Hydrogen-stuffed, quartz-like water ice. *J. Amer. Chem. Soc.* Vol. 138. Pp. 13786-13789.
9. Konovalova V., Rummyantseva V. Corrosion protection of reinforcement with phosphate coatings. *IOP Conf. Ser. Mat. Sci. Eng.* Kazan, Russia, 2020. Pp. 012-091.
10. Patent RU 2371517. Metal surface converter. 27.10.2009.
11. Patent RU 2565170. Method of anti-corrosion treatment of the surface of ferrous metals. 20.10.2015.
12. Perekhrest N.A., Pimenova K.N., Litovchenko V.D. Obrazovanie fosfatnyh pokrytij na splavah alyuminiya [Formation of phosphate coatings on aluminum alloys]. *J. Appl. Chem.* 1992. Vol. 65. No. 5. Pp. 1163-1166. (in Russian).
13. Klein E.V., Simunova S.S., Gorshkov V.K. Vliyanie fosfatirovaniya na kachestvo avtoosazhdeniya laka KCh-0125 na poverhnosti alyuminiya i ego splavov [Effect of phosphating on the quality of autodeposition of varnish KCh-0125 on the surface of aluminum and its alloys. News of universities]. *Chemistry and chemical technology*. 2006. Vol. 49. No.1. Pp. 45-48. (in Russian).
14. Klein E.V., Razgovorov P.B., Sitanov S.V., Gorshkov V.K., Simunova S.S. Features of the formation of phosphate films on aluminum and its alloys [Features of formation of phosphate films on aluminum and its alloys. News of universities]. *Chemistry and chemical technology*. 2006. Vol. 49. No 7. Pp. 45-47 (rus)
15. Goglev I.N., Loginova S.A. K voprosu o vozmozhnosti primeneniya razlichnyh kislot L'yuisa dlya uluchsheniya i modifikacii so-stavov preobrazovatelej korrozii [On the Possibility of Using Various Lewis Acids to Improve and Modify the Compositions of Corrosion Converters]. *Young Scientists - for the Development of the National Technological Initiative (POISK)*. 2021. No. 1. Pp. 287-289. (in Russian)
16. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. YAvleniya massoperenosa v sisteme "cementnyj rastvor-kompozitnaya plastikovaya armatura" na sta-dii strukturoobrazovaniya kompozita. CHast' 1. Fizicheskie predstavleniya i matematicheskaya posta-novka zadachi [Mass Transfer Phenomena in the Cement Mortar-Composite Plastic Reinforcement System at the Stage of Composite Structure Formation. Part 1. Physical Concepts and Mathematical Statement of the Problem]. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No. 1. Pp. 118-123. (in Russian).
17. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N. The Influence of Structure Formation Conditions of the Composite on the Mass Transfer Processes. *IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng. Inter. Sci. Tech. Conf. "FarEastCon 2019"*. 2020. Pp. 042-047.
18. Razgovorov P.B., Ignatyev A.A., Abramov M.A., Nagornov R.S. Processing of raw aluminosilicates and subway construction dumps into composite sorbents for purification of water and oil-containing media. *Smart Composite in Construction*, 2020. Vol. 1. No. 1. Pp. 10-26. http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020 (in Russian).

Информация об авторах

Светлана Андреевна Логинава

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия, заведующий кафедрой строительства зданий и сооружений, кандидат технических наук
e-mail: loginovasa@ystu.ru

Павел Борисович Разговоров

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Россия, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства зданий и сооружений, начальник Управления организации научно-исследовательской и интеллектуальной деятельности
e-mail: razgovorovpb@ystu.ru

Илья Николаевич Гоглев

ООО «ТЕХНОНИКОЛЬ-Строительные Системы», Москва, Россия, технический специалист направления «Инженерная гидроизоляция»
e-mail: goglev@tn.ru

Information about authors:

Loginova Svetlana A.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,
head of the department of Construction of Buildings and Structures, candidate of technical sciences
E-mail: loginovasa@ystu.ru

Razgovorov Pavel B.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,
doctor of technical sciences, professor of the department of Construction of Buildings and Structures,
head of the department of Organization of Research and Intellectual Activity
E-mail: razgovorovpb@ystu.ru

Goglev Ilya N.

LLC "TECHNONICOL-Construction Systems", Moscow, Russia,
technical specialist in the field of "Engineering waterproofing"
E-mail: goglev@tn.ru

Е.В. ТКАЧ¹, Ю.С. ФИЛИМОНОВА², Г.А. ШУСЕВ³, А.Л.ШЕИН⁴^{1,3}ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
г. Москва, Россия²ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия⁴ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва, Россия

УЛУЧШЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОДИФИЦИРОВАННОГО ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, РАБОТАЮЩЕГО В СУРОВЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. К бетону для изготовления конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации устанавливают требования, отличные от требований для бетонов, применяемых в промышленном и гражданском строительстве. Такие специальные требования обусловлены, прежде всего, сложными условиями эксплуатации, в частности для тоннельных конструкций. Под воздействием целого комплекса агрессивных факторов окружающей среды данный вид конструкций частично или полностью разрушается, что в свою очередь снижает их проектный срок службы. Поэтому необходимым условием для повышения их долговечности является создание модифицированной плотной структуры бетона с улучшенными гидрофизическими свойствами: низкие показатели водопоглощения, капиллярного подсоса, водонепроницаемости и высокие показатели морозостойкости. В настоящее время имеются разработки по усилению и защите таких конструкций материалами с повышенной степенью сопротивляемости агрессивным факторам, например, полимерными композициями. Однако, полимербетоны не нашли широкого распространения из-за их дефицитности и высокой стоимости, поэтому на сегодняшний день основным строительным материалом при возведении тоннельных конструкций остаются бетон и железобетон. Таким образом, получение тяжелых бетонов, работающих в суровых условиях с повышенными эксплуатационными свойствами путем модифицирования его структуры является актуальной задачей. Целью исследования является установить положительное действие комплексного модифицирования совместно с микроармирующим компонентом на гидрофизические свойства тяжелого бетона. Объект исследования представляет собой тяжелый бетон с комплексным модификатором (суперпластификатор+полимер+метаколин), армированный волластонитом для тоннельных конструкций. Установлено положительное влияние комплексного модифицирования на свойства тяжелого бетона путем уменьшения содержания вяжущего (цемента) и замены его метакаолином, позволяющее повысить гидрофизические характеристики: водопоглощение – 1,8%; марка по водонепроницаемости – W14, с достаточным запасом прочности и морозостойкости (F более 600 циклов), что дает возможность применять данный состав на практике для получения строительных конструкций с заданными характеристиками, эксплуатирующихся в условиях повышенной нагрузки и агрессивной среды, в частности, для конструкций тоннелей.

Ключевые слова: конструкции тоннелей, агрессивные факторы окружающей среды, комплексный модификатор, гидрофизические свойства, суровые условия эксплуатации.

E.V. TKACH¹, YU.S. FILIMONOVA², G.A. SHUSEV³, A.L. SHEIN⁴^{1,3}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia⁴D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

IMPROVEMENT OF HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF MODIFIED HEAVY-DUTY CONCRETE WORKING IN SEVERE OPERATING CONDITIONS

© Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Шусев Г.А., Шеин А.Л., 2025

Abstract. Requirements for concrete used in the manufacture of structures operating in harsh operating conditions are different from those for concrete used in industrial and civil construction. Such special requirements are primarily due to difficult operating conditions, in particular for tunnel structures. Under the influence of a whole range of aggressive environmental factors, this type of structure is partially or completely destroyed, which in turn reduces their design service life. Therefore, a necessary condition for increasing their durability is the creation of a modified dense concrete structure with improved hydrophysical properties: low rates of water absorption, capillary suction, water resistance and high frost resistance. Currently, there are developments in strengthening and protecting such structures with materials with an increased degree of resistance to aggressive factors, for example, polymer compositions. However, polymer concretes have not found wide distribution due to their scarcity and high cost, so today the main building material in the construction of tunnel structures remains concrete and reinforced concrete. Thus, obtaining heavy concretes operating in harsh conditions with increased performance properties by modifying its structure is an urgent task. Objective: To establish the positive effect of complex modification together with a micro-reinforcing component on the hydrophysical properties of heavy concrete. Object: heavy concrete with a complex modifier (superplasticizer + polymer + metakaolin), reinforced with wollastonite for tunnel structures. Research results: A positive effect of complex modification on the properties of heavy concrete was established by reducing the content of binder (cement) and replacing it with metakaolin, which allows improving the hydrophysical characteristics: water absorption - 1.8%; water resistance grade - W14, with a sufficient margin of safety and frost resistance (F more than 600 cycles), which makes it possible to use this composition in practice to obtain building structures with specified characteristics operating under high loads and an aggressive environment, in particular, for tunnel structures

Keywords: tunnel structures, aggressive environmental factors, complex modifier, hydrophysical properties, harsh operating conditions.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Чилин И.А., Дондуков В.Г., Селютин Н. модифицированные бетоны: реальность и перспективы // Вестник НИЦ Строительство. 2024. № 1 (40). С. 92-104.
2. Крутских А.В., Петропавловская В.Б., Петропавловский К.С., Новиченкова Т.Б. Модифицированные цементные бетоны с дискретным армированием // Строительство и реконструкция. 2023. № 3 (107). -С. 131-139.
3. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. Перспективы применения переработанных топливных золошлаковых отходов гидроудаления в сухих строительных смесях // часть 1 строительные материалы. 2023. № 4.- С. 73-79.
4. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, Construction Materials, 8, 84-87(2015) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88>.
5. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kiziniyevich O., Kiziniyevich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, Construction Materials. 2016. № 8. С. 20-29.
6. Величко Е.Г., Шумилиа Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона// Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235-243. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243>.
7. Филимонова Ю.С., Величко Е.Г. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона // Строительство и реконструкция. 2021. №4 (96). С.107-109. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112>.
8. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Улучшение физико-механических свойства модифицированного бетона на основе применения химически активированного микрокремнезема с микроармирующим волокном // Строительство и реконструкция. 2020. №2 (88). С. 123-135.
9. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. Applied Mechanics and Materials, 459, 82-86(2013) <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82>.
10. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. Key Engineering Materials. 302-303, (470-478) 2006. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470>.
11. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. Key Engineering Materials. 302-302, 26-34(2006). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.26156>.
12. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. Advanced Materials Research. 1054, 154-161(2014). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154>.

13. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Иванов А.А. Оптимизация состава гидротехнического бетона с применением композиционных вяжущих // Техника и технология силикатов. –2023. Т. 30. № 4. С. 350-356.
14. Александрова О.В., Нгуен Д.В.К., Булгаков Б.И., Петропавловская В.Б. Влияние кварцевого порошка и минеральных добавок на свойства высокопрочных бетонов//Вестник поволжского государственного технологического университета. серия: материалы. конструкции. технологии. 2020. № 3. с. 7-15.
15. Урханова Л.А. Иванов А.А., Лхасаранов С.А Исследование влияния тонкодисперсных добавок на свойства композиционных вяжущих для гидротехнического бетона// Вестник ВСГУТУ. – 2023.- №2 (89). – С. 80-89.
16. Урханова Л.А. Лхасаранов С.А., Данзанов Д.В. Синтез ультрадисперсной добавки, полученной при гидролизе портландцемента, для модификации цементного камня //Цемент и его применение. – 2022. -№4. С.52-56.
17. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Хан М.А., Тоимбаева Б.М. разработка состава комплексной добавки полифункционального действия сс-3тн // Фундаментальные исследования. 2017. № 1. С. 112-116.
18. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Рахимов А.М., Садирбаева А.М., Иманов Е.К. исследование влияния комплексных гидрофобизирующих органоминеральных модификаторов на эксплуатационные свойства тяжелого бетона // Фундаментальные исследования. 2016. № 2-2. С. 294-298.
19. Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В. Применение фотокаталитических бетонов в дорожном строительстве. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 16-26.
20. Мухаметрахимов Р.Х. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-песчаноцементного вяжущего / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаудинов // Вестник технологического университета. - 2017. № 6(20). - С. 60-63.

REFERENCES

1. Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Chilin I.A., Dondukov V.G., Selyutin N. Modified concrete: reality and prospects // Bulletin of the Research Center Construction. 2024. No. 1 (40). pp. 92-104.
2. Krutskikh A.V., Petropavlovskaya V.B., Petropavlovsky K.S., Novichenkova T.B. Modified cement concretes with discrete reinforcement // Construction and reconstruction. 2023. No. 3 (107). pp. 131-139.
3. Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.Yu., Novichenkova T.B., Petropavlovsky K.S., Buryanov A.F. Prospects for the use of processed fuel ash and slag waste from hydraulic removal in dry building mixtures // part 1 building materials. 2023. No. 4. pp. 73-79.
4. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, Construction Materials, 8, 84-87(2015) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88>.
5. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kiziniech O., Kiziniech V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, Construction Materials. 2016. № 8. С. 20-29.
6. Velichko E.G., Shumilina Yu.S. On the problem of formation of dispersed composition and properties of high-strength concrete// Bulletin of MGSU. 2020. Vol. 15. Issue. 2. P. 235-243. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.235-243>.
7. Filimonova Yu.S., Velichko E.G. Study of complex modification of heavy concrete // Construction and reconstruction. 2021. No. 4 (96). P.107-109. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112>.
8. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Improving the physical and mechanical properties of modified concrete based on the use of chemically activated microsilica with micro-reinforcing fiber // Construction and reconstruction. 2020. No. 2 (88). P. 123-135.
9. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. Applied Mechanics and Materials, 459, 82-86(2013) <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82>.
10. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. Key Engineering Materials. 302-303, (470-478) 2006. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470>.
11. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. Key Engineering Materials. 302-303, 26-34(2006). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.26156>.
12. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. Advanced Materials Research. 1054, 154-161(2014). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154>.
13. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Ivanov A.A. Optimization of the composition of hydraulic concrete using composite binders // Engineering and technology of silicates. -2023. V. 30. No. 4. pp. 350-356.
14. Aleksandrova O.V., Nguyen D.V.K., Bulgakov B.I., Petropavlovskaya V.B. Influence of quartz powder and mineral additives on the properties of high-strength concrete//Bulletin of the Volga State Technological University. series: materials. designs. technologies. 2020. No. 3. pp. 7-15.

15. Urkhanova L.A., Ivanov A.A., Lkhasarov S.A. Study of the influence of finely dispersed additives on the properties of composite binders for hydraulic concrete // Bulletin of VSGUTU. - 2023.- No. 2 (89). pp. 80-89.
16. Urkhanova L.A., Lkhasarov S.A., Danzanov D.V. Synthesis of an ultrafine additive obtained by hydrolysis of Portland cement for modification of cement stone // Cement and its application. - 2022. - No. 4. P. 52-56.
17. Rakhimov M.A., Rakhimova G.M., Khan M.A., Toimbaeva B.M. development of the composition of the complex additive of multifunctional action ss-3tn // Fundamental research. 2017. No. 1. P. 112-116.
18. Rakhimov M.A., Rakhimova G.M., Rakhimov A.M., Sadirbaeva A.M., Imanov E.K. study of the influence of complex hydrophobic organomineral modifiers on the performance properties of heavy concrete // Fundamental research. 2016. No. 2-2. P. 294-298.
19. Shestakov N.I., Alekseeva D.S., Polosina D.V. Application of photocatalytic concretes in road construction. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. P. 16-26.
20. Mukhametrahimov R.Kh. The role of active mineral additives of natural origin in the formation of the structure and properties of gypsum-cement-pozzolan binder / R.Kh. Mukhametrahimov, A.R. Galautdinov // Bulletin of the Technological University. - 2017. No. 6 (20). - P. 60-63.

Информация об авторах:

Ткач Евгения Владимировна

ФГБОУ ВО "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Дорожно-строительных материалов
E-mail: ev_tkach@mail.ru

Филимонова Юлия Сергеевна

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное, гражданское и подземное строительство»
E-mail: JuliaS06@mail.ru

Шусев Георгий Александрович

ФГБОУ ВО "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
г. Москва, Россия,
аспирант кафедры Дорожно-строительных материалов
E-mail: shusev.madi@yandex.ru

Шейн Александр Леонидович

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва, Россия
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры Химической технологии композиционных и вяжущих материалов
E-mail: shein.a.l@muctr.ru

Information about authors:

Tkach Evgeniya V.

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia, doctor of technical sciences, professor, professor of the department of Road Construction Materials.
E-mail: ev_tkach@mail.ru

Filimonova Yulia S.

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial, Civil and Underground Construction.
E-mail: JuliaS06@mail.ru

Shusev Georgy A.

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russia,
Postgraduate student of the Department of Road Construction Materials
E-mail: shusev.madi@yandex.ru

Shein Alexander Leonidovich

D.I. Mendeleyev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Chemical Technology of Composite and Binding Materials
E-mail: shein.a.l@muctr.ru

РЕТРАКЦИЯ СТАТЬИ

Редакция журнала «Строительство и реконструкция» сообщает, что на заседании редакционной коллегии журнала (протокол №1 от 13.01.2025 г.) принято решение о ретракции (отзыве) статьи под названием «Расчетная модель сопротивления железобетона в околоарматурной области» авторов Колчунов Вл.И., Фёдорова Н.В., Ильющенко Т.А. (журнал «Строительство и реконструкция». 2024. №6 (116). С. 15-27) по причине обнаружения дублирования со статьей «Расчетная модель сопротивления железобетона в околоарматурной области» авторов Колчунов Вл.И., Фёдорова Н.В., Ильющенко Т.А., опубликованной в журнале «Строительная механика инженерных конструкций и сооружений» (2024. 20(5). С.391-403), возникшего из-за непредумышленной технической ошибки авторов.

*Главный редактор журнала «Строительство и реконструкция»,
Академик РААСН, д.т.н., профессор Колчунов Виталий Иванович*

RETRACTION OF ARTICLE

The editorial board of the journal “Building and Reconstruction” informs that at the meeting of the editorial board of the journal (Protocol No.1 of 13.01.2025) it was decided to retract the article entitled “Development of the reinforced concrete resistance theory in the zone about reinforcement” by the authors Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Ilyushchenko T.A. (Journal “Building and Reconstruction”. 2024. №6 (116). Pp. 15-27) due to the detection of duplication with the article “Strength Model for Concrete in Near-Reinforcement Region” by the authors Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Ilyushchenko T.A., published in the journal “Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings” (2024. 20(5). P.391-403), which arose due to an unintentional technical error of the authors.

*Editor-in-Chief of the journal “Construction and Reconstruction”
Full member of RAACS, Doctor of Technical Sciences, Prof. V.I. Kolchunov*

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется числом знаков с учетом пробелов. Рекомендуемый объем статей: **от 15000 до 45000 знаков с пробелами**.
- Статья должна быть набрана на листах формата А4 шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья предоставляется в электронном виде по электронной почте или через систему электронной редакции.
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** кратко описывает объект исследования, мотивацию к проведению исследования, результаты исследования (рекомендуется указывать конкретные результаты и зависимости, полученные в исследовании), выводы (кратко); рекомендуемый объем – от 200 до 250 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи; рекомендуемый объем списка литературы – не менее 20 источников.

В информации об авторах рекомендуется указывать ORCID, Scopus ID и SPIN-код, присвоенный в РИНЦ.

Редакция не взимает плату с авторов за подготовку, рецензирование и размещение в открытом доступе статей.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте <https://construction.elpub.ru/jour/index>

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 75-13-18

www.oreluniver.ru
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302030, Орловская область, г. Орёл, ул. Московская, 77.
+79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор М.А. Амелина
Компьютерная верстка М.А. Амелина

Подписано в печать 28.02.2025 г.
Дата выхода в свет 28.03.2025 г.
Формат 70×108/16. Печ. л. 14,6
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ № 67

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, 95.