

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№3 (101) 2022

Теория инженерных сооружений.
Строительные конструкции

The theory of engineering
constructions. Construction
design

Безопасность зданий
и сооружений

Building and structure
safety

Архитектура
и градостроительство

Architecture
and urban development

Строительные материалы
и технологии

Building materials
and technology



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)*

Данилевич Д.В., *канд. техн. наук, доц. (Россия)*

Емельянов С.Г., *чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, 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)*

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)*

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

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

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

Сергейчук О.В., *д-р техн. наук, проф. (Украина)*

Серпик И.Н., *д-р техн. наук, проф. (Россия)*

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

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

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

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

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

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)*

Яковенко И.А., *д-р техн. наук, проф. (Украина)*

Исполнительный редактор:

Юрова О.В., *(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 №ФФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединенному каталогу «Пресса России»

на сайтах www.pressa-ru.ru и www.akc.ru

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

Содержание

В.И. ТРАВУШ - Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий..... 3

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Булкин С.А. Расчет сложноподвешенной железобетонной балки коробчатого сечения..... 4

Домарова Е.В. Влияние ползучести на напряженно-деформированное состояние железобетонных многоэтажных зданий..... 14

Истомин А.Д., Петрова В.А. Остаточные деформации бетона железобетонных элементов при циклическом замораживании и оттаивании..... 23

Люблинский В.А. Податливость вертикальных связей сдвига панельных зданий..... 32

Моргунов М.В., Маслов Д.А. Нормируемые деформационные модели по расчету трещинообразования железобетонных конструкций..... 40

Невзоров А.Л. Фактор времени в геотехническом проектировании с использованием BIM-технологии..... 51

Трещев А.А., Завьялова Ю.А. Деформирование кольцевых ортотропных пластин средней толщины из материалов, чувствительных к виду напряженного состояния..... 60

Шишов И.И., Сергеев М.С., Лисятников М.С., Лукин М.В., Рощина С.И. Совместное деформирование железобетонного ригеля с колоннами в покрытии одноэтажного промышленного здания..... 75

Безопасность зданий и сооружений

Фан Динь Гуок, Ильющенко Т.А., Амелина М.А. Силовое сопротивление железобетонных каркасов многоэтажных зданий с косвенным армированием в запредельных состояниях..... 87

Архитектура и градостроительство

Холодова Е.В., Шпаков И.В. Градостроительные и архитектурные проекты послевоенных лет для городов Курска и Белгорода в творчестве архитектора Олега Владимировича Маригодова (1915-1950)..... 98

Строительные материалы и технологии

Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Жворонков М.И. Влияние крупного заполнителя на энергетические и силовые характеристики сталефибробетона..... 110

Родин А.И., Ермаков А.А., Абрашин П.И., Ерофеев В.Т. Влияние алюмосиликатов на свойства пористой стеклокерамики из кремнистых пород..... 119

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)

Danilevich D.V., candidate sc. tech., docent. (Russia)

Emelyanov S.G., doc. sc. tech., 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)

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)

Sergeychuk O.V., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

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

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

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

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

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

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

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:

Yurova O.V. (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 Rossii» **86294** on the websites www.pressa-rr.ru and www.akc.ru

© Orel State University, 2022

Contents

V.I. TRAVUSH is a Laureate of the State prize of the Russian Federation in the field of science and technology..... 3

Theory of engineering structures. Building units

Bulkin S.A. Calculation model of reinforced concrete box girder under combined torsion, shear and bending..... 4

Domarova E.V. Influence of creep on the stress-strain state of reinforced concrete multistory buildings..... 14

Istomin A.D., Petrova V.A. Permanent deformations of concrete of reinforced concrete elements during cyclic freezing and thawing..... 23

Lyublinskiy V.A. Pliability of vertical shear bonds of panel buildings..... 32

Morgunov M.V., Maslov D.A. Normalized deformation models for the calculation of cracking of reinforced concrete structures..... 40

Nevezorov A.L. Time factor at the geotechnical BIM design..... 51

Treshchev A.A., Zavyalova Yu.A. Deformation of annular orthotropic plates of medium thickness made of materials sensitive to the type of stress state... 60

Shishov I.I., Sergeev M.S., Lisyatnikov M.S., Lukin M.V., Roschina S.I. Joint deformation of reinforced concrete crossbar with columns in the coating of a single-storey industrial building..... 75

Building and structure safety

Fan Dinh Guok, T.A. Iliushchenko, M.A. Amelina Resistance of reinforced concrete frames of multi-storey buildings with indirect reinforcement in over-extreme limit states..... 87

Architecture and town-planning

Kholodova E.V., Shpakov I.V. Urban planning and architectural projects of the post-war years for the cities of Kursk and Belgorod in the work of the architect Oleg Vladimirovich Marigodov (1915-1950)..... 98

Construction materials and technologies

Pukharenko Yu.V., Panteleev D.A., Morozov V.I., Zhavoronkov M.I. Influence of large aggregates on the energy and power characteristics of steel fiber reinforced concrete..... 110

Rodin A.I., Ermakov A.A., Abrashin P.I., Erofeev V.T. Influence of aluminosilicates on the properties of porous glass ceramics from siliceous rocks..... 119

The journal Building and Reconstruction (Stroitel'stvo i rekonstruktsiya) have being included by Higher Attestation Commission in the List of peer-reviewed scientific journals, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate and doctor of science should be published, for the group of scientific specialties 2.1. - Construction and architecture: 2.1.1. – Building constructions, buildings and structures (technical sciences); 2.1.2. – Soils and foundations, underground structures (technical sciences); 2.1.5. – Building products and construction materials (technical sciences); 2.1.7. – Construction technology and organization (technical sciences); 2.1.9. – Structural mechanics (technical sciences); 2.1.10. – Environmental safety in construction and urban economy (technical sciences); 2.1.11. – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture); 2.1.12. – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture); 2.1.13. – Urban planning, planning of rural settlements (architecture). The journal is indexed in RSCI, RSCI on the Web of Science.

В.И. ТРАВУШ - ЛАУРЕАТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ОБЛАСТИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Глубокоуважаемый Владимир Ильич!

Редакция и члены редколлегии журнала «Строительство и реконструкция» поздравляют Вас с присуждением Государственной премии Российской Федерации в области науки и технологий 2021 за заслуги мирового уровня в уникальном высотном строительстве, обеспеченные системными достижениями учёного в развитии строительных наук и технологий в России.



Талант ученого, принципиальность и высокий профессионализм позволили Вам добиваться значимых успехов в научной деятельности, а вклад в развитие высотного строительства в мире сложно переоценить. Вы, по сути, являетесь главным конструктором уникальных строительных объектов страны.

Вы автор известных широкому кругу специалистов научных трудов, патентов, национальных нормативных документов по строительным конструкциям, зданиям и сооружениям, автор выдающихся объектов, среди которых десятки реализованных уникальных проектов - Останкинская башня, Москва-Сити, Мост Багратион, а также знаковые объекты в Санкт-Петербурге, Грозном, Сочи, Уфе, Нур-Султане, открывшие новую страницу в истории российского высотного строительства. Эти здания были созданы при Вашем непосредственном участии и стали яркими символами новейшей истории отрасли.

При всей своей колоссальной занятости вы находите время для активного участия в работе редколлегии ряда журналов, в их числе и нашем журнале, время для подготовки докторантов, аспирантов и инженеров в ряде вузов страны. Ваши лекции всегда вызывают огромный интерес не только у студентов, аспирантов и преподавателей, но и у широкой инженерной общественности.

Желаем Вам доброго здоровья, реализации планов и новых научных достижений во всех Ваших начинаниях во благо Российского государства и отечественной строительной науки!

С.А. БУЛКИН¹

¹ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия

РАСЧЕТ СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается расчетная модель сложного сопротивления железобетонных конструкций коробчатого сечения, испытывающих совместное действие изгибающих и крутящих моментов, продольных и поперечных сил в стадии после образования пространственных трещин.

Расчетная модель позволяет учитывать все основные внешние воздействия для железобетонного стержневого элемента коробчатого прямоугольного сечения: крутящий (T) и изгибающий (M) моменты, поперечную (Q) и продольную (N) силы. При этом действие крутящего момента и поперечной силы сводится к действию потока касательных сил по прямоугольному контуру сечения.

Ключевые слова: железобетон, балка, коробчатое сечение, кручение, изгиб, продольная и поперечная силы.

S.A. BULKIN¹

¹ZAO «GORPROJECT», Moscow, Russia

CALCULATION MODEL OF REINFORCED CONCRETE BOX GIRDER UNDER COMBINED TORSION, SHEAR AND BENDING

Abstract. The article provides a calculation model of the complex resistance of reinforced concrete box-section structures on the combined action of bending and torsional moments, longitudinal and shear forces after the formation of spatial cracks.

The calculation model allows taking into account all the main external influences for a reinforced concrete element of a box rectangular cross section: torsional (T) and bending (M) moments, shear (Q) and longitudinal (N) forces. In this case, the action of the torsion and the shear force is reduced to the action of the flow of tangential forces along the rectangular contour of the section.

Keywords: reinforced concrete structures, beam, box cross section, torsion, bending, longitudinal and shear forces.

© Булкин С.А., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков В.Н., Елагин Э.Г., Вернигор В.А., Туров А.И. Влияние ядра сечения на деформативность железобетонного стержня прямоугольного поперечного сечения при кручении // Сопротивление железобетонных элементов силовым воздействиям. Ростов н/д: РИСИ. 1985. С. 42-48.
2. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности по методу предельного равновесия. М.: Стройиздат, 1949. 279 с.
3. Морозов В.И., Бахотский И.В. К расчету фиброжелезобетонных конструкций, подверженных совместному воздействию кручения с изгибом // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С.109.
4. Федоров В.С., Колчунов Вл.И., Покусаев А.А. Расчет расстояния между пространственными трещинами и ширины их раскрытия в железобетонных конструкциях при кручении с изгибом (случай 2) // Жилищное строительство. 2016. №5. С. 16–21

5. Adheena Thomas, Afia S Hameed. An Experimental Study On Combined Flexural And Torsional Behaviour Of RC Beams // International Research Journal of Engineering and Technology. 2017. Vol. 04. No. 05. Pp.1367–1370.
6. Mostofinejad D., Talaeitaba S.B. Nonlinear Modeling of RC Beams Subjected to Torsion using the Smeared Crack Model // Procedia Engineering 14 (2011) 1447-1454. Elsevier Ltd. 2011. Pp.1447-1454.
7. G. Klein, G. Lucier, S. Rizkalla, P. Zia and H. Gleich. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams // ACI Concrete International Journal, February 2012. Pp.1-8.
8. Ilker Kalkan, Saruhan Kartal. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp.969–972.
9. Булкин С.А. Кручение с изгибом сталефиброжелезобетонной балки прямоугольного сечения // Строительство и реконструкция. 2021. № 2. С. 3-13.
10. Демьянов А.И., Алькади С.А. Статико-динамическое деформирование железобетонных элементов пространственной рамы при их сложном сопротивлении // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 11 (719). С. 20-33.
11. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов В.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(80). С. 32-43.
12. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Булкин С.А., Московцева В.С. Результаты экспериментальных исследований сложнапряженных балок круглого поперечного сечения из высокопрочного фиброжелезобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2020. №16 (4). С.290-297.
13. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Основные результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона В100 круглого и кольцевого сечений при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. №1. С.51-61.
14. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов В.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // Строительство и реконструкция. 2017. №4(72). С. 17–26.
15. Демьянов А.И., Колчунов В.И., Покусаев А.А. Экспериментальные исследования деформирования железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. №6. С. 37–44.
16. Демьянов А.И., Наумов Н.В., Колчунов В.И. Некоторые результаты экспериментальных исследований составных железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. №5(79). С. 13– 23.
17. Колчунов В.И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №8. С. 16–23. doi:10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
18. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
19. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculated model of a complex-stressed reinforced concrete element under torsion with bending // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. T. 17. No. 1. Pp. 34-47.
20. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М., Стройиздат, 1976. 208 с.
21. Методическое пособие «Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования». Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве. М.. 2017. 197 с.
22. Чистова Т.П. Экспериментальное исследование деформаций обычных железобетонных элементов коробчатого и сплошного прямоугольного сечения при чистом кручении. Прочность и жесткость железобетонных конструкций. Под редакцией С.А. Дмитриева и С.М. Крылова. М., Стройиздат, 1971.

REFERENCES

1. Baykov N., E.G. Yelagin, V.A. Vernigor, A.I. Turov. Vliyaniye yadra secheniya na deformativnost' zhelezobetonnoy sterzhnya pryamougol'nogo poperechnogo secheniya pri kruchenii [Influence of the section core on the deformability of a reinforced concrete rod of a rectangular cross section during torsion] // Soprotivleniye zhelezobetonnykh elementov silovym vozdeystviyam [Resistance of reinforced concrete elements to force impacts]. Rostov n/d: RISI. 1985. P. 42-48.
2. Gvozdev A.A. Raschet nesushchey sposobnosti po metodu predel'nogo ravnovesiya [Calculation of the bearing capacity by the method of limit equilibrium]. Moscow: Stroyizdat, 1949. 279 p.
3. Morozov V.I., Bakhotskiy I.V. K raschetu fibrozhelezobetonnykh konstruksiy, podverzhennykh sovmestnomu vozdeystviyu krucheniya s izgiбом [To the calculation of fiber-reinforced concrete structures subject to the combined effect of torsion with bending] // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. N 5. P. 109.
4. Fedorov V.S., Kolchunov V.I., Pokusayev A.A. Raschet rasstoyaniya mezhdru prostranstvennymi treshchinami i shiriny ikh raskrytiya v zhelezobetonnykh konstruksiyakh pri kruchenii s izgiбом (sluchay 2)

- [Calculation of the distance between spatial cracks and the width of their opening in reinforced concrete structures during torsion with bending (case 2)] // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2016. N 5. P. 16–21
5. Adheena Thomas, Afia S Hameed. An Experimental Study On Combined Flexural And Torsional Behaviour Of RC Beams. // *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2017. Vol. 04. No. 05. Pp. 1367–1370.
 6. Mostofinejad D., Talaeitaba S.B. Nonlinear Modeling of RC Beams Subjected to Torsion using the Smeared Crack Model // *Procedia Engineering*. 2011. 14. P. 1447-1454.
 7. G. Klein, G. Lucier, S. Rizkalla, P. Zia and H. Gleich. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams // *ACI Concrete International Journal*, February 2012. Pp.1-8.
 8. Ilker Kalkan, Saruhan Kartal. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. // *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
 9. Bulkin S.A. Krucheniiye s izgibom stalefibrozhelezobetonnoy balki pryamougol'nogo secheniya [Torsion with bending of a steel-fiber-reinforced concrete beam of rectangular cross section] // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. N 2. P. 3-13.
 10. Dem'yanov A.I., Al'kadi S.A. Statiko-dinamicheskoye deformirovaniye zhelezobetonnykh elementov prostranstvennoy ramy pri ikh slozhnom soprotivlenii [Static-dynamic deformation of reinforced concrete elements of a spatial frame with their complex resistance] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2018. N 11 (719). P. 20-33.
 11. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kapriyelov S.S., Dem'yanov A.I., Konorev A.V. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy konstruksiy kvadratnogo i korobchatogo secheniy iz vysokoprochnogo betona pri kruchenii s izgibom [Results of experimental studies of square and box-section structures made of high-strength concrete in torsion with bending] // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No 6(80). P. 32–43
 12. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kapriyelov S.S., Dem'yanov A.I., Bulkin S.A., Moskovtseva V.S. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy slozhnonapryazhennykh balok kruglogo poperechnogo secheniya iz vysokoprochnogo fibrozhelezobetona [Results of experimental studies of complexly stressed round cross-section beams made of high-strength fiber reinforced concrete] // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy*. 2020. No 16 (4). P.290-297
 13. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kapriyelov S.S., Dem'yanov A.I., Konorev A.V. Osnovnyye rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy zhelezobetonnykh konstruksiy iz vysokoprochnogo betona V100 kruglogo i kol'tsevogo secheniy pri kruchenii s izgibom [The main results of experimental studies of reinforced concrete structures made of high-strength concrete B100 of round and annular sections in torsion with bending] // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy*. 2019. No 1. P.51-61.
 14. Dem'yanov A.I., Sal'nikov A.S., Kolchunov V.I. Eksperimental'nyye issledovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy pri kruchenii s izgibom i analiz ikh rezul'tatov [Experimental studies of reinforced concrete structures in torsion with bending and analysis of their results] // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No 4(72). P. 17–26.
 15. Dem'yanov A.I., Kolchunov V.I., Pokusayev A.A. Eksperimental'nyye issledovaniya deformirovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy pri kruchenii s izgibom [Experimental studies of deformation of reinforced concrete structures during torsion with bending] // *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy*. 2017. No 6. P. 37–44.
 16. Dem'yanov A.I., Naumov N.V., Kolchunov V.I. Nekotoryye rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy sostavnykh zhelezobetonnykh konstruksiy pri kruchenii s izgibom [Some results of experimental studies of composite reinforced concrete structures in torsion with bending] // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No 5(79). P. 13– 23.
 17. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Ponyatiynaya iyerarkhiya modeley v teorii soprotivleniya stroitel'nykh konstruksiy [Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structures] // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2020. No 8. P. 16–23, DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
 18. Karpenko N.I. Obshchiye modeli mekhaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics]. Moscow: Stroyizdat, 1996. - 410 p.
 19. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculated model of a complex-stressed reinforced concrete element under torsion with bending // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. T. 17. No. 1. Pp. 34-47
 20. Karpenko N.I. Teoriya deformirovaniya zhelezobetona s treshchinami [Theory of deformation of reinforced concrete with cracks]. Moscow, Stroyizdat, 1976, 208 p.
 21. Metodicheskoye posobiye «Statcheski neopredelimyye zhelezobetonnyye konstruksii. Diagrammnyye metody avtomatizirovannogo rascheta i proyektirovaniya». Federal'nyy tsentr normirovaniya, standartizatsii i otsenki sootvetstviya v stroitel'stve [Methodical manual “Statically indeterminate reinforced concrete structures. Diagrammatic methods of automated calculation and design”. Federal Center for Regulation, Standardization and Conformity Assessment in Construction], Moscow, 2017, 197 pr.
 22. Chistova T.P. Eksperimental'noye issledovaniye deformatsiy obychnykh zhelezobetonnykh elementov korobchatogo i sploshnogo pryamougol'nogo secheniya pri chistom kruchenii. Prochnost' i zhestkost' zhelezobetonnykh konstruksiy. Pod redaktsiyey S.A. Dmitriyeva i S.M. Krylova [Experimental study of deformations of ordinary reinforced concrete elements of box-shaped and solid rectangular section under pure torsion. Strength and rigidity of reinforced concrete structures. Edited by S.A. Dmitriyeva and S.M. Krylov]. Moscow, Stroyizdat, 1971.

Информация об авторе:

Булкин Сергей Александрович
ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия,
главный специалист-конструктор.
E-mail: sa.bulkin@gmail.com

Information about author:

Bulkin Sergey A.
ZAO GORPROJECT, Moscow, Russia,
chief design specialist.
E-mail: sa.bulkin@gmail.com

Е.В. ДОМАРОВА¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. При длительном действии нагрузки в бетоне и железобетоне происходит нарастание неупругих деформаций, что связано с ползучестью бетона. Вязкостные свойства любого бетона определяются его мерой ползучести и коэффициентом ползучести. Современные программные комплексы позволяют проводить расчет сооружений с учетом реологических свойств бетона. Для анализа НДС многоэтажного здания с учетом длительного деформирования бетона был произведен расчет 45-этажной модели каркасного здания. Характеристики ползучести бетона задавались по Eurocode 2. Результаты расчета показали, что ползучесть бетона при его длительном деформировании приводит к перераспределению усилий в элементах здания, нарастанию прогибов перекрытий и увеличению продольного изгиба внецентренно-сжатых элементов. Проведен сравнительный анализ коэффициентов ползучести высокопрочных бетонов по Eurocode 2 и СП 63.13330.2018, который показал необходимость экспериментального исследования значений, указанных в СП 63.13330.2018 ввиду единого коэффициента для бетонов класса В60-В100.

Ключевые слова: деформации ползучести, коэффициент ползучести, напряженно-деформированное состояние, длительное действие нагрузки.

E. V. DOMAROVA¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

INFLUENCE OF CREEP ON THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED CONCRETE MULTISTORY BUILDINGS

Abstract. With long-term action of the load in concrete and reinforced concrete, an increase in inelastic deformations occurs, which is associated with the creep of concrete. The viscous properties of any concrete are determined by its measure of creep and creep coefficient. Modern software systems make it possible to calculate structures taking into account the rheological properties of concrete. To analyze the stress-strain state of a multi-storey building, taking into account the long-term deformation of concrete, a 45-storey model of a frame building was calculated. The creep characteristics of concrete were set according to Eurocode 2. The results of the calculation showed that the creep of concrete during its long-term deformation leads to a redistribution of forces in the building elements, an increase in floor slab deflections and an increase in the buckling of eccentrically compressed elements. A comparative analysis of the creep coefficients of high-strength concretes according to Eurocode 2 and SP 63.13330.2018 was carried out, which showed the need for an experimental study of the values specified in SP 63.13330.2018 due to a single coefficient for concretes of class B60-B100.

Keywords: creep deformations, creep coefficient, stress-strain state, long-term effect.

© Домарова Е.В., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов С. Б., Арленинов П. Д. Современные исследования в области теории ползучести бетона // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1(16). С. 67-75.

2. Li Y., Qiang S., Xu W., Hua X., Xu C., Lai J., Chen B. Verification of concrete nonlinear creep mechanism based on meso-damage mechanics // *Construction and Building Materials*. 2021. 276.122205. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122205>
3. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. Москва: МГСУ, 2012. 490 с.
4. Тамразян А.Г. К расчету железобетонных элементов с учетом ползучести и старения на основе реологической модели бетона // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 7. С. 26-27.
5. Yao Zhou Concrete creep and thermal effects on the dynamic behavior of a concrete-filled steel tube arch bridge // *Journal of Vibroengineering*. Vol. 16. Issue 4. 2014. 1735-1744 p.
6. Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Нелинейная теория ползучести бетона и железобетона и современные нормы // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2017. № 1. С. 23-35.
7. Мишина А.В., Безгодов И.М., Андрианов А.А. Прогнозирование предельных деформаций ползучести сверхвысокопрочного сталефибробетона // *Вестник МГСУ*. 2012. № 12. С. 66—70.
8. Барабаншиков Ю.Г., Архарова А.А., Терновский М.В. Бетон с пониженной усадкой и ползучестью // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. №7 (22). С. 152-165.
9. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Петров А.Н., Безгодов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В., Чилин И.А. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочных сталефибробетонов из самоуплотняющихся смесей // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: Сб. научн. тр. РААСН. Т.2.М.: Издательство АСВ. 2018. С.237-246. doi:10.22337/9785432302663-237-246*
10. Карпенко Н.И., Мишина А.В., Травуш В.И. Влияние возраста на физико- механические и реологические характеристики высокопрочного сталефибробетона // *Строительство и реконструкция*. 2015. №4(60). С. 23-31.
11. Степанов М.В., Моисеенко Г.А. Развитие экспериментального подхода к определению меры ползучести мелкозернистого высокопрочного бетона и сталефибробетона при рациональном содержании фибры // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 3(77). С. 98-104.
12. Травуш В.И., Мурашкин В.Г. Влияние ползучести на распределение деформаций и напряжений в изгибаемом элементе // *Строительство и реконструкция*. 2017. №2. С.57-70.
13. Тамразян А.Г. Жесткость изгибаемых железобетонных элементов с учетом нелинейной ползучести высокопрочного бетона на основе вязко-упругой модели наследственного старения // *Вестник МГСУ*. 2011. № 2. С. 121—126.
14. Sapountzakis E., Katsikadelis J. Creep and Shrinkage Effect on the Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slab-and-Beam Structures. *European Conference on Computational Mechanics*. Munich, Germany. 1999. P.370.
15. Елистратов В.Н. К вопросу расчета сжатых железобетонных элементов с учетом мгновенной нелинейности и нелинейной ползучести бетона // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6.
16. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // *Вестник МГСУ*. 2011. № 1-2. С. 193-196.
17. Пекус-Сахновский Д. Н. Экспериментальное исследование несущей способности центрально сжатых гибких железобетонных стоек при длительном воздействии нагрузки // *Строительные конструкции*. К.:Будівельник, 1965. Вып. 2. С. 98–108.
18. СП 63.13330.2018. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.
19. Андросова Н.Б., Колчунов В.И. Живучесть рамно-стержневого железобетонного каркаса здания в запредельных состояниях // *Строительство и реконструкция*. 2021. №5(97). С. 40-50. doi:10.33979/2073-7416-2021-97-5-40-50
20. Androsova N., Kolchunov V. Survivability Exposition of a Long-Term Deformable Reinforced Concrete Building Frame Under Accidental Actions. In: Vatin N., Roshchina S., Serdjuks D. (eds) *Proceedings of MPCPE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 182. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_29
21. EN 1992-1-1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

REFERENCES

1. Krylov S.B, Arleninov P.D. Sovremennye issledovaniya v oblasti teorii polzuchesti betona [Modern research in the field of the theory of concrete creep]. *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2018. No 1(16). С. 67-75. (rus)
2. Li Y., Qiang S., Xu W., Hua X., Xu C., Lai J., Chen B. Verification of concrete nonlinear creep mechanism based on meso-damage mechanics. *Construction and Building Materials*. 2021. 276. 122205. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122205>
3. Tamrazyan A.G., Esayan S.G. Mekhanika polzuchesti betona. Moscow: MGSU, 2012. 490 p. (rus)

4. Tamrazyan A.G. K raschetu zhelezobetonnykh elementov s uchetom polzuchesti i stareniya na osnove reologicheskoi modeli betona [On the calculation of reinforced concrete elements with due regard for creep and aging on the basis of rheological model of concrete]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No 7. Pp. 26-27. (rus)
5. Yao Zhou Concrete creep and thermal effects on the dynamic behavior of a concrete-filled steel tube arch bridge. *Journal of Vibroengineering*, Vol. 16, Issue 4. 2014. Pp. 1735-1744.
6. Sanzharovskii R.S., Manchenko M.M. Nelineinaya teoriya polzuchesti betona i zhelezobetona i sovremennye normy [Nonlinear theory of concrete and reinforced concrete creep and modern standards]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksii i sooruzhenii*. 2017. No 1. Pp. 23-35. (rus)
7. Mishina A.V., Bezgodov I.M., Andrianov A.A. Prognozirovaniye predel'nykh deformatsiy polzuchesti sverkhvysokoprochnogo stalefi brobetona [Prediction of maximum creep strain of high performance steel fiber reinforced concrete]. *Vestnik MGSU*. 2012.No. 12. Pp. 66—70. (rus)
8. Barabanshchikov Yu.G., Arkharova A.A., Ternovskii M.V. Beton s ponizhennoi usadkoi i polzuchest'yu [Concrete with the lowered shrinkage and creep]. *Construction of Unique Buildings and Structure*. 2014.No 7 (22). Pp.152-165. (rus)
9. Karpenko N.I., Kapriyelov S.S., Petrov A.N., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V., Chilin I.A. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i reologicheskikh svoistv vysokoprochnykh stalefibrobetonov iz samouplotnyayushchikhysya smesei [Research of physical-mechanical and rheological properties of high-strength steel-fiber concretes from self-compacting mixtures]. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noi otrasli Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu: Sb. nauchn. tr. RAASN. T.2. Moscow: Izdatel'stvo ASV*. 2018. Pp.237-246. (rus) doi:10.22337/9785432302663-237-246
10. Karpenko N.I., Mishina A.V., Travush V.I. Vliyanie vozrasta na fiziko- mekhanicheskie i reologicheskie kharakteristiki vysokoprochnogo stalefibrobetona [Influence of age on physical-mechanical and rheological characteristics of high-strength steel fiber reinforced concrete]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No 4(60). Pp. 23-31.(rus)
11. Stepanov M.V., Moiseenko G.A. Razvitie eksperimental'nogo podkhoda k opredeleniyu mery polzuchesti melkozernistogo vysokoprochnogo betona i stalefibrobetona pri ratsional'nom sodержanii fibry [Development of an experimental approach to determining the measure of creep of fine-grained high-strength concrete and steel-fiber-reinforced concrete with a rational fiber content]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2018. No 3(77). Pp. 98-104.(rus)
12. Travush V.I., Murashkin V.G. Vliyanie polzuchesti na raspredeleniye deformatsii i napryazhenii v izgibaemom elemente [Influence of creep on the distribution of strains and stresses in a bending element]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No 2. Pp.57-70. (rus)
13. Tamrazyan A.G. Zhestkost' izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov s uchetom nelineinoy polzuchesti vysokoprochnogo betona na osnove vyazko-uprugoi modeli nasledstvennogo stareniya [Rigidity of bending reinforced concrete elements taking into account nonlinear creep of high strengths concrete on the basis of is viscous - elastic model of hereditary ageing]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 2. Pp. 121—126. (rus)
14. Sapountzakis E., Katsikadelis J. Creep and Shrinkage Effect on the Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slab-and-Beam Structures. *European Conference on Computational Mechanics*. München, Germany. 1999. Pp.370.
15. Elistratov V.N. K voprosu rascheta szhatykh zhelezobetonnykh elementov s uchetom mgnovennoi nelineinosti i nelineinoy polzuchesti betona [On the issue of calculation of compressed reinforced concrete elements, taking into account instantaneous non-linearity and non-linear creep of concrete]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. No 6. (rus)
16. Tamrazyan A.G. Dinamicheskaya ustoychivost' szhatogo zhelezobetonnoogo elementa kak vyazkouprugogo sterzhnya [Dynamic stability of a compressed reinforced concrete element as a viscoelastic rod]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 1-2. Pp. 193-196. (rus)
17. Pekus-Sakhnovskii D.N. Eksperimental'noe issledovanie nesushchei sposobnosti tsentral'no szhatykh gibkikh zhelezobetonnykh stoek pri dlitel'nom vozdeistvii nagruzki [Experimental study of increased capacity of centrally compressed flexible reinforced concrete props under prolonged load]. *Stroitel'nye konstruksii*. Kiev: Budivel'nik, 1965. No 2. Pp.98–108. (rus)
18. Russian Building Code SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Generalprovisions. (rus)
19. Androsova N.B., Kolchunov V.I. Zhivuchest' ramno-sterzhnevoogo zhelezobetonnoogo karkasa zdaniya v zapredel'nykh sostoyaniyakh [Viability of a frame-rod reinforced concrete framework of a building in limiting states]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. No5(97). Pp. 40-50.(rus) doi: 10.33979/2073-7416-2021-97-5-40-50
20. Androsova N., Kolchunov V. Survivability Exposition of a Long-Term Deformable Reinforced Concrete Building Frame Under Accidental Actions. In: Vatin N., Roshchina S., Serdjuks D. (eds) *Proceedings of MPCPE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 182. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_29
21. EN 1992-1-1 (2004): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.

Информация об авторе:

Домарова Екатерина Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,

старший преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: cathie_p@mail.ru

Information about author:

Domarova Ekaterina V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
senior teacher of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: cathie_p@mail.ru

А.Д. ИСТОМИН¹, В.А. ПЕТРОВА¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ОСТАТОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ЗАМОРАЖИВАНИИ И ОТТАИВАНИИ

Аннотация. *Опыты по исследованию влияния циклического замораживания и оттаивания (ЦЗО) на поведение бетона показывают, что в бетоне при воздействии отрицательных температур наблюдается рост остаточных деформаций в виде деструктивного расширения бетона. До настоящего времени мало изученным остается вопрос влияния процента армирования железобетонных элементов на величину остаточных деформаций расширения бетона в зависимости от его напряженного состояния (растяжение, сжатие). В частности, насколько арматура замедляет развитие деструктивных процессов в бетоне, а именно уменьшает остаточные деформации его расширения при знакопеременных температурных воздействиях.*

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование влияния процента армирования на остаточные деформации бетона железобетонных элементов в условиях знакопеременных температур.

В качестве опытных образцов были приняты бетонные и железобетонные призмы размером 10x10x40 см. При этом варьировался процент армирования (0,0 %; 0,5 %; 1,13 %; 2,54 %) и уровень нагружения образцов (0,0; 0,3; 0,7).

В результате испытаний опытных образцов были получены остаточные деформации расширения бетона в условиях циклического замораживания и оттаивания. На основании полученных результатов предложены формулы для расчета остаточных деформаций бетона железобетонных элементов в условиях знакопеременных температур, учитывающие процент армирования.

Ключевые слова: *циклическое замораживание и оттаивание, деструктивные процессы, бетон, процент армирования, остаточные деформации, уровень нагружения.*

A.D. ISTOMIN¹, V.A. PETROVA¹¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PERMANENT DEFORMATIONS OF CONCRETE OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS DURING CYCLIC FREEZING AND THAWING

Abstract. *Experiments on the study of the effect of cyclic freezing and thawing (GCS) on the behavior of concrete show that in concrete, when exposed to negative temperatures, there is an increase in residual deformations in the form of destructive expansion of concrete. Until now, the question of the influence of the percentage of reinforcement of reinforced concrete elements on the magnitude of residual deformations of concrete expansion depending on its stress state (stretching, compression) remains little studied. In particular, how much reinforcement slows down the development of destructive processes in concrete, namely reduces the residual deformations of its expansion during sign-variable temperature effects.*

The purpose of this work was an experimental study of the effect of the percentage of reinforcement on the residual deformations of concrete of reinforced concrete elements under conditions of alternating temperatures.

Concrete and reinforced concrete prisms with a size of 10x10x40 cm were adopted as prototypes, while the percentage of reinforcement varied (0.0 %; 0.5 %; 1.13 %; 2.54 %) and the level of loading of samples (0.0; 0.3; 0.7).

As a result of testing of prototypes, residual deformations of concrete expansion were obtained under conditions of cyclic freezing and thawing. Based on the results obtained, formulas are proposed for calculating the residual deformations of concrete reinforced concrete elements under alternating temperature conditions, taking into account the percentage of reinforcement.

Keywords: *cyclic freezing and thawing, destructive processes, concrete, percentage of reinforcement, residual deformations, loading level.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 8. С. 30-33.
2. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов - необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко "Исследования по теории сооружений". 2009. №1. С. 160-171.
3. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. и др. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. №1. С. 93-102.
4. Струлев В.М., Яркин Р.А. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Вестник ТГТУ. 2003. том 9. №2. С.277-281.
5. Каприелов С.С., Гольденберг А.Л., Тамразян А.Г. О самозалечивании высокопрочного бетона, подвергнутого деструкции при циклическом замораживании. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 5(371). С. 56-61.
6. Актуганов И.З.. Методика оценки влияния климатических температурно-влажностных воздействий на долговечность бетона строительных конструкций: расчетный метод определения требований к морозостойкости бетона // Монография – Новосибирск: НГТУ. 2008. 386 с.
7. Алимов А.Г., Карпунин В.В. Современные методы ультразвукового диагностирования бетонных и железобетонных конструкций сооружений, эксплуатируемых в условиях высокого водонасыщения и низких температур, для предупреждения чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2006. Т.3. №3 (11). С.36-44.
8. Пинус Б.И., Пинус Ж.Н., Хомякова И.В. Изменение конструктивных свойств бетонов при охлаждении и замораживании // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №2(97). С. 111-116.
9. Пинус Б.И., Пинус Ж.Н. Об одном подходе к оценке агрессивности температурно-климатических условий по отношению к бетону // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2011. №1(1). С. 121-125.
10. Подгорнов Н.И. Природно-климатическое и технологическое влияние на конструктивную безопасность железобетонных сооружений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2011. №2. С. 38-42.
11. Добшиц Л.М. Физико-математическая модель разрушения бетонов при попеременном замораживании и оттаивании // Жилищное строительство. 2017. №12. С. 30-36.
12. Kamada E., Katsura O., Yoshio T. A Model for Mechanism of Frost Damage of Cementitious Material // Concrete Research and Technology. 2000. №11(2). P. 22-27.
13. Доценко Н.А. и др. Влияние некоторых рецептурных факторов на показатели морозостойкости и водонепроницаемости бетонов слитной структуры // Вестник евразийской науки. 2020. Т.12. №1. С. 8-12.
14. Подвальный А.М. О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений // Морозостойкость бетонов: Труды НИИЖБ. М.: Стройиздат, 1969. №12. С. 45-65.
15. Подвальный А.М. Исследование стойкости нагруженного бетона // Строительные материалы. 2004. №6(594). С. 4-6.
16. Ehsan Solatiyan, Mohammad Asadi and Mahmoud Bozorgmehrasl. Experimental Investigating the effect of freeze-thaw cycles on strength properties of concrete pavements in cold climates // Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences. Vol. 5(S2), 2015. P. 2421-2428.
17. Истомин А.Д., Александров Е.Н., Огурцова Л.П. Влияние способа водонасыщения бетона и отрицательной температуры на его деформативно-прочностные характеристики // Наука и техника в дорожной отрасли. 2018. №4. С. 40-42.
18. Истомин А.Д., Александров Е.Н. Влияние массивности конструкций на температурные деформации бетона при циклическом замораживании и оттаивании // Наука и техника в дорожной отрасли. 2018. №1. С. 31-32.
19. Andrey Istomin, Mikhail Medyanki., The influence of pliability of supports on statistically undefined reinforced concrete elements at under low temperatures under -50°C // XXI International Scientific Conference on

Advanced in Civil Engineering "Construction - The Formation of Living Environment" (FORM 2018) 25–27 April 2018, Moscow, Russian Federation. Volume 365, 2018.

20. Истомин А.Д., Назаров Т.А. Влияние природных циклов замораживания — оттаивания на прочность и деформативность бетона // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. №3(381). С. 52-56.

REFERENCES

1. Tamrazyan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy [Concrete and reinforced concrete: problems and prospects]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No 8. Pp. 30-33. (rus).
2. Tamrazyan A.G. Ocenka riska i nadezhnosti nesushchih konstrukcij i klyuchevyh elementov - neobhodimoe uslovie bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij [Evaluation of the risk and reliability of load-bearing structures and key elements is a necessary condition for the safety of buildings and structures]. *Vestnik CNIISK im. V.A. Kucherenko "Issledovaniya po teorii sooruzhenij"*. 2009. No1. Pp. 160-171.
3. Karpenko N.I., Karpenko S.N. i dr. O sovremennyh metodah obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij [The modern methods of ensuring durability of reinforced concrete structures]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No 1. Pp. 93-102.
4. Strulev V.M., Yarkin R.A. O sovremennyh metodah obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnyh konstrukcij [The modern methods of ensuring durability of reinforced concrete structures]. *Vestnik TGTU*. 2003. Vol. 9. No 2. Pp. 277-281.
5. Kaprielov S.S., Gol'denberg A.L., Tamrazyan A.G. O samozalechivanii vysokoprochnogo betona, podvergnutogo destrukcii pri ciklicheskom zamorazhivanii [The self-healing of high-strength concrete subjected to destruction during cyclic freezing]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2017. No 5(371). Pp. 56-61.
6. Aktuganov I.Z. Metodika ocenki vliyaniya klimaticheskikh temperaturno-vlazhnostnyh vozdeystvij na dolgovechnost' betona stroitel'nyh konstrukcij: raschetnyj metod opredeleniya trebovanij k morozostojkosti betona [Estimation of climatic temperature and humidity effects on concrete durability of building structures, calculation method for determining the requirements for frost resistance of concrete]. *Monografiya – Novosibirsk: NGTU*. 2008. 386 p.
7. Alimov A.G., Karpunin V.V. Sovremennye metody ul'trazvukovogo diagnostirovaniya betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij sooruzhenij, ekspluatiruemyh v usloviyah vysokogo vodonasyshcheniya i nizkikh temperatur, dlya preduprezhdeniya chrezvychajnyh situacij [Modern methods of ultrasonic diagnostics of concrete and reinforced concrete structures of constructions operated in conditions of high water saturation and low temperatures for the prevention of emergency situations]. *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2006. Vol.3. No 3(11). Pp. 36-44.
8. Pinus B.I., Pinus Zh.N., Homyakova I.V. Izmenenie konstruktivnyh svoystv betonov pri ohlazhdenii i zamorazhivanii [Changes in the structural properties of concrete during cooling and freezing]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. No 2(97). Pp. 111-116.
9. Pinus B.I., Pinus Zh.N. Ob odnom podhode k ocenke agressivnosti temperaturno-klimaticheskikh uslovij po otnosheniyu k betonu [On an approach to the assessment of corrosiveness caused by temperature and climatic conditions in regard of concrete]. *Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2011. No 1(1). Pp. 121-125.
10. Podgornov N.I. Prirodno-klimaticheskoe i tekhnologicheskoe vliyanie na konstruktivnyuyu bezopasnost' zhelezobetonnyh sooruzhenij [Natural, climatic and technological impact on the structural safety of reinforced concrete structures]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2011. No 2. Pp. 38-42.
11. Dobshic L.M. Fiziko-matematicheskaya model' razrusheniya betonov pri poperemennom zamorazhivanii i ottaivanii [Physical-and-mathematical model of concrete failure under alternate freezing and thawing]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. No 12. Pp. 30-36.
12. Kamada E., Katsura O., Yoshio T. A Model for Mechanism of Frost Damage of Cementitious Material // *Concrete Research and Technology*. 2000. № 11(2). Pp. 22-27.
13. Docenko N.A. i dr. Vliyanie nekotoryh recepturnykh faktorov na pokazateli morozostojkosti i vodonepronicaemosti betonov slitnoj struktury [Influence of massiveness of structures on temperature deformation of concrete during cyclic freezing and thawing] *Vestnik evrazijskoj nauki*. 2020. T.12. No 1. Pp. 8-12.
14. Podval'nyj A.M. O koncepcii obespecheniya morozostojkosti betona v konstrukciyah zdaniy i sooruzhenij [The concept of ensuring the frost resistance of concrete in the structures of buildings and constructions] *Morozostojkost' betonov: Trudy NIIZhB. M.: Strojizdat*, 1969. No 12. Pp. 45-65.
15. Podval'nyj A.M. Issledovanie stojkosti nagruzhennogo betona [Study of the resistance of loaded concrete] *Stroitel'nye materialy*. 2004. No 6(594). Pp. 4-6.
16. Ehsan Solatiyan, Mohammad Asadi and Mahmoud Bozorgmehrasl. Experimental Investigating the effect of freeze-thaw cycles on strength properties of concrete pavements in cold climates // *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. Vol. 5(S2), 2015. Pp. 2421-2428.

17. Istomin A.D., Aleksandrov E.N., Ogurcova L.P. Vliyanie sposoba vodonasyshcheniya betona i otricatel'noj temperatury na ego deformativno-prochnostnye harakteristiki [The influence of the method of water saturation of concrete and negative temperature on its deformation-strength characteristics] *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli*. 2018. No 4. Pp. 40-42.

18. Istomin A.D., Aleksandrov E.N. Vliyanie massivnosti konstrukcij na temperaturnye deformacii betona pri ciklicheskom zamorazhivanii i ottaivanii [Influence of massiveness of structures on temperature deformation of concrete during cyclic freezing and thawing] *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli*. 2018. No 1. Pp. 31-32.

19. Andrey Istomin, Mikhail Medyanki., The influence of pliability of supports on statistically undefined reinforced concrete elements at under low temperatures under -50°C // XXI International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering "Construction - The Formation of Living Environment" (FORM 2018) 25–27 April 2018, Moscow, Russian Federation. Volume 365, 2018.

20. Istomin A.D., Nazarov T.A.. Vliyanie prirodnyh ciklov zamorazhivaniya — ottaivaniya na prochnost' i deformativnost' betona [The influence of natural cycles of freezing - thawing on the strength and deformability of concrete] *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2019. No 3(381). Pp. 52-56.

Информация об авторах:

Истомин Андрей Дмитриевич

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

E-mail: nauka.07@mail.ru

Петрова Виктория Алексеевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирантка кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: visiren@mail.ru

Information about authors:

Istomin Andrey D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Reinforced concrete and stone structures».

E-mail: nauka.07@mail.ru

Petrova Victoria A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, graduate student of the department «Reinforce concrete and stone structures».

E-mail: visiren@mail.ru

В.А. ЛЮБЛИНСКИЙ¹¹Национальный исследовательский московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ПОДАТЛИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ СДВИГА ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Аннотация. Податливость вертикальных стыков панельных зданий является необходимым элементом математических моделей несущих систем. Определены податливости однотипных связей, работающих на сдвиг. Использовались экспериментальные данные и нормативная литература. Существующая нормативная база и экспериментальные исследования приводят к существенному разбросу податливости вертикальных связей, работающих на сдвиг. Связи типа сварки закладных деталей, армированные шпонки обычно работают в упругой области, применение диаграмм деформирования дает возможность учесть особенности работы стыковых соединений, трещинообразование, нелинейную работу при сложных нагружениях. Податливость стыков определялась по диаграммам деформирования сдвиг - перемещение. Параметры, заложенные в расчетную дискретно-континуальную модель несущей системы здания при стандартном статическом нагружении, определены численным моделированием с использованием программного комплекса. В статье произведено на примере конкретной серии панельных зданий П-44 сравнение напряженно-деформированного состояния при различных значениях податливости. Приведены усилия в панелях здания и прогибы в зависимости от податливости связей сдвига.

Ключевые слова: крупнопанельные здания, связи сдвига, податливость связей, стыковые соединения.

V.A. LYUBLINSKIY¹¹National Research Moscow State University of civil engineering, Moscow, Russia

PLIABILITY OF VERTICAL SHEAR BONDS OF PANEL BUILDINGS

Abstract. The pliability of dense joints of panel buildings is a necessary element of mathematical models of load-bearing systems. The malleability of the same type of connections working on the shift is determined. Experimental data and normative literature were used. The existing regulatory framework and experimental studies lead to a significant variation in the pliability vertical joints working for the shear. Connections such as welding of embedded parts, reinforced dowels usually work in the elastic region, but the use of deformation diagrams makes it possible to take into account the peculiarities of the work of butt joints, cracking, nonlinear work under complex loads. The malleability of joints was determined by the shear-displacement deformation diagrams. The parameters embedded in the calculated discrete-continuum model of the building's load-bearing system under standard static loading are determined by numerical modeling using a software package. The article uses the example of a specific series of panel buildings P-44 to compare the stress-strain state at different values of compliance. The forces in the panels of the building and deflections depending on the pliability of shear joints are given.

Keywords: large-panel buildings, deformability of connections, shear bonds, butt joints.

© Люблинский В.А., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. М.: Стройиздат, 1977. 223 с.

2. Горачек Е., Лешак В.И., Пуме Д. и др. Прочность и жесткость стыковых соединений панельных конструкций. М.: Стройиздат, 1980. 192 с.
3. Todut C, Dan D, Stoian V. Theoretical and experimental study on precast reinforced concrete wall panels subjected to shear force // Engineering Structures 2014. Vol. 80. Pp. 323–338.
4. СП 335.1325800.2017. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования.
5. СТО 36554501-026-2012. Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на тросовых петлевых соединениях и многопустотными плитами без опалубочного формования.
6. Дыховичный Ю.А. Конструирование и расчет жилых и общественных зданий повышенной этажности. М.: Стройиздат, 1970. 248 с.
7. Блашко В.П. Об определении податливости связей при формировании расчетных моделей панельных зданий // Жилищное строительство. 2017. №3. С.17-21.
8. Lyubinskiy V.A., Ubysz A. Stress-strain state panel buildings and welded butt joints // E3S Web of Conferences 263, 02015. 2021. doi:10.1051/e3sconf/202126302015.
9. Люблинский В.А. К испытанию вертикальных стыковых соединений панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 5(85). С. 17-22.
10. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Карпов А.Е., Ласковенко А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий // В сборнике: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 413-416.
11. Ahilan R., Anandhi S., Govindharajan V. Experimental investigation of vertical connections in precast wall panel under shear load // Int. J. Sci. Technol. Eng. 2016. Vol.20. №2. Pp: 217-222.
12. Rossley N., Aziz F.N.A.A., Chew H.C., Farzadnia N. Behaviour of vertical loop bar connection in precast wall subjected to shear load // Aust. J. Basic Appl. Sci. 2014. Vol. 8. №1. Pp: 370-380.
13. Люблинский В.А., Тамразян А.Г. Безопасность несущих систем многоэтажных зданий при локальном изменении жесткостных характеристик несущих элементов. В сборнике: Бетон и железобетон - взгляд в будущее. научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: В семи томах. М.:2014. С. 90-99.
14. Модин А.К., Сергеев М.С., Лисятникова М.О., Суханов А.А. Анализ работы вертикального стыка монолитного шпоночного соединения двух железобетонных панелей с использованием гибкой стержневой арматуры // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 33-38.
15. Дербенцев И.С., Тарасов М.В., Карякин А.А. Натурные испытания вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями на сдвиг // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2021. Т. 21. №3. С. 13-22. doi:10.14529/build210302
16. Карякин А.А., Сонин С.А., Дербенцев И.С., Бельдейко И.А. Экспериментальные исследования вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями // Вестник ЮУрГУ. 2011. №35. С. 16-20.
17. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). М.: Стройиздат. 1989. 304 с.
18. 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 196, 02049 (2018). doi:10.1051/mateconf/201819602049
19. Люблинский В.А., Веприкова Е.М., Астанин А.А. Программный комплекс «Анализ напряженно-деформированного состояния элементов многоэтажного здания (ABECV 1.0.0.1)»: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004612219, Москва: RosPATENT, 2004.

REFERENCES

1. Drozdov P.F. Design and calculation of load-bearing systems of multi-storey buildings and their elements. Moscow: Stroyizdat, 1977. 223 p.(rus)
 2. Gorachek E., Lishak V.I., Pume D., Dragilov I.I., Kameyko V.A., Morozov N.V and Tsimbler V.G. Strength and rigidity of butt joints of panel structures. Experience of the USSR and Czechoslovakia. Moscow: Stroyizdat, 1980. 192p (rus)
 3. Todut C., Dan D., Stoian V. Theoretical and experimental study on precast reinforced concrete wall panels subjected to shear force Engineering Structures 2014, Vol. 80. Pp. 323–338.
 4. SP 335.1325800.2017. Large-panel structural systems. Design rules.
 5. SТО 36554501-026-2012. Recommendations for calculation and design of residential large-panel houses with application vertical and horizontal no-welding joints at wire cable loop connections and no formwork multihollow plates.
 6. Dykhovichny Y.A. Design and calculation of residential and public buildings of increased number of storeys. Moscow: Stroyizdat, 1970. 248 p.(rus)
 7. Blazhko V. P. On the determination of the compliance of constraints in the formation of computed models of
- № 3 (101) 2022

panel buildings. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2017. No. 3. Pp. 17-21.

8. Lyublinskiy V., Ubysz A. Stress-strain state panel buildings and welded butt joints// E3S Web of Conferences 263, 02015 (2021). doi:10.1051/e3sconf/202126302015.

9. Lyublinskiy V.A. To test vertical welded butt joints of panel buildings // Building and Reconstruction. 2019. No. 5(85). Pp 17-22. (rus) doi:10.33979/2073-7416-2019-85-5-17-22

10. Tamrazyan A.G., Dekhterev D.S., Karpov A.Ye., Laskovenko A.G. Opredeleniye raschetnykh parametrov dlya otsenki nadezhnosti platformennykh stykov panel'nykh zdaniy [Determination of design parameters for assessing the reliability of platform joints of panel buildings] // In the proceedings of conference: Sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruktsiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnye vozdeystviya [modern problems of calculating reinforced concrete structures, buildings and structures for emergency impacts]. Under ed. A.G. Tamrazyan, D.G. Kopanitsa. 2016. Pp. 413-416.

11. Ahilan R., Anandhi S., Govindharajan V. Experimental investigation of vertical connections in precast wall panel under shear load // Int. J. Sci. Technol. Eng. 2016. V.20. №2. Pp. 217-222.

12. Rossley N., Aziz F.N.A.A., Chew H.C., Farzadnia N. Behaviour of vertical loop bar connection in precast wall subjected to shear load // Aust. J. Basic Appl. Sci. 2014. V.8. №1. Pp. 370-380.

13. Lyublinskiy V. A., Tamrazian A. G. Safety of bearing systems multistory buildings locally modified stiffness characteristics of the capacity element Proc. Int. Conf on Concrete and Reinforced concrete, 2 Moscow: 2014. Pp. 90-99.

14. Modin A.K., Sergeev M.S., Lisyatnikova M.O., Sukhanov A.A. Analysis of vertical joint's work in the monolithic keyed joint of two reinforced concrete panels using the flexible rod armature. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp.33–38. (rus) DOI: 10.12737/article_5c73fbfe576a47.59051268

15. Derbentsev I.S., Tarasov M.V., Karyakin A.A. Full Scale Testing of Vertical Keyed Joints of Reinforced Concrete Wall Panels with Flexible Loop Connections in Shear. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2021. Vol. 21.No. 3. Pp. 13–22. (rus). DOI: 10.14529/build210302

16. Karyakin A.A., Sonin S.A., Derbentsev I.S., Beldeiko I.A. Experimental research of vertical keyed joints of concrete wall panels with flexible loops. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture. 2011. Vol. 13. No 35. Pp. 16-20.

17. Manual for the design of residential buildings. Issue 3. Constructions of residential buildings (SNiP 2.08.01-85) // M.: Stroyizdat. 1989. 304 p. (rus)

18. 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 196, 02049 (2018). doi:10.1051/mateconf/201819602049

19. Lyublinskiy V., Veprikova E., Astanin A., Program Complex Analysis of Stressed Deformed State of Elements of a Multi-story Building (ABEC V 1.0.0.1): Certificate of official registration of a computer program. No.2004612219. Moscow: RosPATENT, 2004.

Информация об авторах:

Люблинский Валерий Аркадьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».

E-mail: lva_55@mail.ru

Information about authors:

Lyublinskiy Valery A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate of technical sciences, professor, professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: lva_55@mail.ru

М.В. МОРГУНОВ¹, Д.А. МАСЛОВ¹

¹ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия

НОРМИРУЕМЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ПО РАСЧЕТУ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

***Аннотация.** В исследовании проводится подробный анализ применения нормируемых деформационных моделей в целях практического вычисления такой расчетной характеристики, как трещиностойкость у железобетонных элементов. Для теоретической проверки значений момента трещинообразования используется два метода расчета, основанных на применении упругопластического момента сопротивления сечения и нелинейной деформационной модели. Также применяется сравнительный анализ расчетных значений с экспериментальными данными.*

В ходе теоретических исследования момента трещинообразования с использованием данных методик сделаны и анализом экспериментальных данных сделаны следующие выводы. Расчетное значение в процессе применения упругопластического момента и двухлинейной диаграммы состояния бетона не превышает экспериментальные и обладают запасом в пределах 10%.

***Ключевые слова:** момент трещинообразования, упругопластический момент сопротивления сечения, железобетонная балка, прямоугольное сечение, нелинейная деформационная модель, диаграмма состояния бетона.*

M.V. MORGUNOV¹, D.A. MASLOV¹

¹Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia

NORMALIZED DEFORMATION MODELS FOR THE CALCULATION OF CRACKING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

***Abstract.** The study provides a detailed analysis of the application of normalized deformation models in order to practically calculate such a design characteristic as crack resistance in reinforced concrete elements. For theoretical verification of the values of the moment of cracking, two calculation methods are used, based on the application of the elastic-plastic moment of cross-section resistance and a nonlinear deformation model. A comparative analysis of calculated values with experimental data is also used.*

In the course of theoretical studies of the moment of cracking using these techniques, the following conclusions were made and the analysis of experimental data was made. The calculated value during the application of the elastic-plastic moment and the two-line diagram of the state of concrete does not exceed the experimental ones and has a margin of 10%.

***Keywords:** cracking moment, elastic-plastic moment of cross-section resistance, reinforced concrete beam, rectangular cross-section, nonlinear deformation model, concrete state diagram.*

© Моргунов М.В., Маслов Д.А., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khabidolda O., Bakirov ZH.B., Nuguzhinov Zh.S., Vatin N.I. Determining stress intensity factor in bending reinforced concrete beams // Bulletin of the Karaganda University. 2019. N. 4 (96). P. 90-98.
2. Овакимян С.С., Трекин С.С. Исследование трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 34. С. 340-343.

3. Колчунов В.И., Федорова Н.В. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1 (16). С. 115-119.
4. Моргунов М.В. Расчет момента трещинообразования изгибаемого бетонного элемента, армированного стеклопластиковой арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019. № 1. Т. 23. С. 64-73.
5. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.И. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
6. Колчунов В.И., Кузнецова К.Ю., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плосконапряженных конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 3 (95). С. 15-26.
7. Toshin D.S. Perspectives of the application for the nonlinear deformation model in the calculations of reinforced concrete elements // Material science forum. 2019. V. 974. Pp. 505-509.
8. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Никитин И.К., Соседов К.Е. Практические методы и примеры расчета железобетонных конструкций из тяжелого бетона по СП 63.13330. Монография. М.: ООО «Бумажник». 2017. С.61-83.
9. Ерышев В.А. Численные методы расчета прочности железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели с использованием диаграмм деформирования модели // Вестник НГИЭИ. 2018. №6(85). С. 17-26.
10. Никулина Ю.А. Использование нелинейной деформационной расчетной модели для определения трещиностойкости железобетонных предварительно напряженных балок // Сборник докладов международного студенческого строительного форума. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. С. 133-140.
11. Карпенко Н.И., Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Акимов П.А., Карпенко С.Н., Петров А.Н. Обзор моделей деформирования железобетона, учитывающих процессы трещинообразования. Часть 1: Разборки отечественных ученых // Сборник научных трудов РААСН. Москва: РААСН. 2020. С. 231-240.
12. Карпенко Н.И., Белостоцкий А.М., Павлов А.С., Акимов П.А., Карпенко С.Н., Петров А.Н. Обзор моделей деформирования железобетона, учитывающих процессы трещинообразования. Часть 2: разработки зарубежных ученых // Сборник научных трудов РААСН. Москва: РААСН, 2020. С. 241-254.
13. Гипотеза плоских сечений и принцип Сен-Венана. [Электронный ресурс]. URL:https://scask.ru/c_book_rbt.php?id=103
14. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003. М.: Стандартинформ, 2019.
15. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2003.
16. СП 52-102-04. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. М.: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2003.
17. Карпенко Н.И. Соколов Б.С., Радайкин О.В. Проектирование бетонных, железобетонных, каменных и армокаменных элементов и конструкций с применением диаграммных методов расчета. Монография. М.: АСВ. 2019. С. 18-22.
18. Окосок С.А. Расчет момента трещинообразования железобетонного элемента без предварительного напряжения арматуры на основании требований СП 63.13330.2012 // Строительство и реконструкция. 2015. № 6(62). С. 14-20.
19. Гаджиева У.М. Расчет железобетонных элементов круглого поперечного сечения по нелинейной деформационной модели // Эксперт: теория и практика. 2021. № 5 (14). С. 13-20.
20. Orbul E. Dmitriev D., Fan Van Fuk. Practical calculation of flexible elements using a model of nonlinear deformation on the example of a typical RGD beam 4, 56-90 // Architecture and Engineering. 2018. No. 3. Pp. 29-41.
21. Сейфуллаев Х.К., Гараев А.Н. Приложение нелинейной деформационной модели к расчету изгибаемых железобетонных элементов // Science of Europe. 2018. № 33. С. 51-60.
22. Ерышев В.А., Косков М.Ю. К методике определения момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели // Вестник НГИЭИ. 2017. № 12 (79). С. 32-42.

REFERENCES

1. Khabidolda O., Bakirov ZH.B., Nuguzhinov Zh.S., Vatin N.I. Determining stress intensity factor in bending reinforced concrete beams // Bulletin of the Karaganda University. 2019. No. 4 (96). P. 90-98.
2. Ovakimyan S.S., Trekin S.S. Issledovanie treshchinoobrazovaniya izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov [Investigation of crack formation of bent reinforced concrete elements]// Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2021. No. 34. Pp. 340-343. (rus)
3. Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Nekotorye problemy zhivuchesti zhelezobetonnykh konstruktivnykh sistem pri avarijnykh vozdeystviyah [Some problems of survivability of reinforced concrete structural systems during emergency impacts] // Vestnik NIC Stroitel'stvo. 2018. No. 1 (16). Pp. 115-119. (rus)

4. Morgunov M.V. Raschet momenta treshchinoobrazovaniya izgibaemogo betonogo elementa, armirovannogo stekloplastikovoj armaturoj [Calculation of the moment of cracking of a bent concrete element reinforced with fiberglass reinforcement] // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2019. No. 1. Pp.64-73. (rus)
5. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.I. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri osobyh vozdeystviyah [Deformation models of reinforced concrete under special influences] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. No. 8. Pp. 54-60. (rus)
6. Kolchunov V.I., Kuznecova K.YU., Fedorov S.S. Model' kriteriya treshchinostojkosti i prochnosti ploskonapryazhennykh konstrukcij iz vysokoprochnogo fibrobetona i fibrozhelezobetona [A model of the crack resistance criterion and the strength of flat-stressed structures made of high-strength fibroconcrete and fibro-reinforced concrete] // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2021. No. 3 (95). Pp. 15-26. (rus)
7. Toshin D.S. Perspectives of the application for the nonlinear deformation model in the calculations of reinforced concrete elements // Material science forum. 2019. Vol. 974. Pp. 505-509.
8. Kodysh E.N., Trekin N.N., Nikitin I.K., Sosedov K.E. Prakticheskie metody i primery rascheta zhelezobetonnih konstrukcij iz tyazhelogo betona po SP 63.13330 [Practical methods and examples of calculation of reinforced concrete structures made of heavy concrete according to SP 63.13330]. M.: «Bumazhnik». 2017. Pp. 61-83. (rus)
9. Eryshev V.A. CHislennye metody rascheta prochnosti zhelezobetonnih elementov po nelinejnoj deformacionnoj modeli s ispol'zovaniem diagramm deformirovaniya modeli [Numerical methods for calculating the strength of reinforced concrete elements according to a nonlinear deformation model using model deformation diagrams] // Vestnik NGIEI. 2018. No. 6 (85). Pp. 17-26. (rus)
10. Nikulina YU.A. Ispol'zovanie nelinejnoj deformacionnoj raschetnoj modeli dlya opredeleniya treshchinostojkosti zhelezobetonnih predvaritel'no napryazhennykh balok [Using a nonlinear deformation calculation model to determine the crack resistance of reinforced concrete prestressed beams] // Sbornik dokladov mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma. Belgorod: BGTU im. V.G. SHuhova. 2018. Pp. 133-140. (rus)
11. Karpenko N.I., Belostockij A.M., Pavlov A.S., Akimov P.A., Karpenko S.N., Petrov A.N. Obzor modelej deformirovaniya zhelezobetona, uchityvayushchih processy treshchinoobrazovaniya. CHast' 1: Razborki otechestvennykh uchenyh [Review of reinforced concrete deformation models that take into account the processes of cracking. Part 1: Disassembly of domestic scientists]// Sbornik nauchnyh trudov RAASN. Moskva: RAASN. 2020. Pp.231-240. (rus)
12. Karpenko N.I., Belostockij A.M., Pavlov A.S., Akimov P.A., Karpenko S.N., Petrov A.N. Obzor modelej deformirovaniya zhelezobetona, uchityvayushchih processy treshchinoobrazovaniya. CHast' 2: razrabotki zarubezhnykh uchenyh [Review of reinforced concrete deformation models that take into account the processes of cracking. Part 2: developments of foreign scientists] // Sbornik nauchnyh trudov RAASN. Moskva: RAASN. 2020. Pp. 241-254. (rus)
13. The hypothesis of plane sections and the Saint-Venant principle. [Online]. URL:https://scask.ru/c_book_rbt.php?id=103 (date of application 17.02.2022).
14. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya SNIp 52-01-2003 [Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions of SNIp 52-01-2003]. M.: Standartinform. 2019. (rus)
15. SP 52-101-2003. Betonnye i zhelezobetonnnye konstrukcii bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury [SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing the reinforcement]. M.: GUP NIIZH Gosstroya Rossii. 2003. (rus)
16. SP 52-102-04. Predvaritel'no napryazhennye zhelezobetonnnye konstrukcii [SP 52-102-04. Prestressed reinforced concrete structures]. M.: GUP NIIZH Gosstroya Rossii, 2003. (rus)
17. Karpenko N.I. Proektirovanie betonnyh, zhelezobetonnnyh, kamennyh i armokamennyh elementov i konstrukcij s primeneniem diagrammnykh metodov rascheta. Monografiya [Design of concrete, reinforced concrete, stone and reinforced stone elements and structures using diagrammatic calculation methods]. M.: ASV. 2019. Pp. 18-22. (rus)
18. Okusok S.A. Raschet momenta treshhinoobrazovaniya zhelezobetonnogo jelementa bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury na osnovanii trebovanij SP 63.13330.2012 [Calculation of the moment of cracking of a reinforced concrete element without prestressing reinforcement based on the requirements of SP 63.13330.2012] // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2015. No. 6. Pp. 14-20. (rus)
19. Gadzhieva U.M. Raschet zhelezobetonnnyh elementov kruglogo poperechnogo secheniya po nelinejnoj deformacionnoj modeli [Calculation of reinforced concrete elements of circular cross-section by nonlinear deformation model] // Ekspert: teoriya i praktika. 2021. No. 5 (14). Pp. 13-20. (rus)
20. Opubl E, Dmitriev D., Fan Van Fuk. Practical calculation of flexible elements using a model of nonlinear deformation on the example of a typical RGD beam 4,56-90 // Architecture and Engineering. 2018. No. 3. Pp. 29-41.
21. Seifullaev H.K., Garaev A.N. Prilozhenie nelinejnoj deformacionnoj modeli k raschetu izgibaemyh zhelezobetonnnyh elementov [Application of a nonlinear deformation model to the calculation of bent reinforced concrete elements] // Science of Europe. 2018. No. 33. Pp. 51-60. (rus)

22. Eryshev V.A., Koskov M.YU. К методике определения момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели [To the method of determining the moment of cracking of bent reinforced concrete elements by a nonlinear deformation model] // Vestnik NGIEI. 2017. No. 12 (79). Pp. 32-42. (rus)

Информация об авторах:

Моргунов Михаил Валерьевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры строительные конструкции.

E-mail: 5555@bk.ru

Маслов Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Россия, магистрант кафедры строительные конструкции.

E-mail: maslov0707@gmail.com

Information about authors:

Morgunov Mikhail V.

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia, candidate of technical science, associated professor of the department of building constructions.

E-mail: 5555@bk.ru

Maslov Dmitry An.

Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia, master student of the department of building constructions.

E-mail: maslov0707@gmail.com

А.Л. НЕВЗОРОВ¹

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова»,
г. Архангельск, Россия

ФАКТОР ВРЕМЕНИ В ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM-ТЕХНОЛОГИИ

***Аннотация.** Распространение BIM технологии на весь жизненный цикл здания возможно лишь в том случае, если модель учитывает изменение свойств материалов во времени. В отличие от созданных человеком строительных конструкций, обладающих вполне определенными свойствами, грунтам основания присуща неоднородность и изменчивость характеристик. Свойства грунтов, такие как, сжимаемость и сопротивление сдвигу, изменяются под воздействием нагрузок от здания, сезонного промерзания-оттаивания, изменений влажности и других факторов. В основании могут развиваться скрытые, медленно развивающиеся геологические процессы. Более того, некоторые характеристики, необходимые для прогноза, например, длительной осадки, обусловленной консолидацией, растворением или разложением частиц грунта, вибрацией не всегда определяются при стандартных изысканиях. Эти характеристики следует верифицировать по данным наблюдений на объектах строительства.*

Геотехнические модели, использование которых предполагается в течение длительного времени, должны создаваться не для отдельных строительных площадок, а для территорий крупных предприятий, городов или городских районов с однотипными геологическими условиями. Широкому внедрению моделирования должна предшествовать подготовка соответствующих стандартов, программного обеспечения и нормативных документов, определяющих обязанности и права изыскательских и проектных организаций, инвесторов и администрации муниципалитетов, включая право собственности на данные исследований грунтов.

В качестве примера обсуждаются геотехнические проблемы г. Архангельска. Основными факторами, которые следует учитывать при моделировании геологической среды города, являются: наличие многометровых отложений торфа и морских илов, осадка которых в основании сооружений не стабилизируется в течение десятилетий, а также связанные с прокладкой дренажей и кольматацией дренажных фильтров колебания уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий (BIM), геотехническая модель, инженерно-геологические изыскания, осадка грунта.

A.L. NEVZOROV¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

TIME FACTOR AT THE GEOTECHNICAL BIM DESIGN

***Abstract.** The information model spreading throughout all lifetime of a building has to take into consideration the changes in the materials properties over time. Unlike the man-made structures with the well-defined properties, the soils are characterized by heterogeneity and variability of characteristics. The soils properties, such as a compressibility and a shear strength, are changed due to building loads, seasonal freezing-thawing processes, water content variations and other factors. The latent, slowly developing geological processes can take place at the ground. Moreover, some soils properties used for prediction, for example, a long-term settlement caused by a secondary consolidation, dissolution or decomposition of soil particles, vibration are not always determined by ordinary surveys. These properties should be verified in situ observation.*

The geotechnical information models, the use of which is expected for a long time, should be created not for separate building sites, but for the territories of large enterprises, cities, or urban areas

with the same type of geological conditions. This work should be preceded by the development of the technical standards, software and documents defining the responsibilities and rights of survey and design companies, investors, and municipal administrations, including the ownership of soil survey data.

As an example, the geotechnical challenges of the Arkhangelsk city territory are discussed. The main factors that should be accepted in model are following: the presence of multi-meter peat and soft clayey soils deposits, the settlement of which has not stabilized for decades, as well as fluctuations of the groundwater level caused by the setting up of drainages and clogging of their filters.

Keywords: building information modeling (BIM), geotechnical model, engineering geological survey, soil settlement.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белостоцкий А.М. Цифровые технологии в строительстве. Из прошлого в будущее. Роль РААСН // Доклады научно-отраслевых отделений РААСН. Строительные науки. 2021. С. 34–38.
2. Болдырев Г.Г., Барвашов В.А., Шейнин В.И., Каширский В.И., Идрисов И.Х., Дивеев А.А. Информационные системы в геотехнике – 3D-геотехника // Геотехника. 2019. Т.11. №2. С. 6-27.
3. Болдырев Г.Г., Идрисов И.Х., Редин А.В., Дивеев А.А. BIM-геотехника и перспективы ее развития в Российской Федерации // Геотехника. 2019. Т.12. №4. С. 6-22.
4. Болдырев Г.Г., Кондратьев А.Ю. Информационные системы в строительстве // Жилищное строительство. 2019. №9. С. 17-23.
5. Ивахнова Г.Ю., Невзоров А.Л. Особенности интерпретации результатов компрессионных испытаний торфа // Строительство и архитектура. 2020. Т.8. №1. С. 26–32.
6. Разводовский Д.Е., Шулятьев С.О., Ставницер Л.Р. Применение BIM в геотехнике // Жилищное строительство. 2018. №11. С. 3-8.
7. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г., Богов С.Г., Шашкин В.А., Шашакин М.А. Мониторинг зданий и сооружений при строительстве и эксплуатации. СПб: Изд-во института «Геореконструкция», 2021. 640 с.
8. Beaufile M., Grellet S., Le Hello B., Lorentz J., Beaudouin M., Castro-Moreno J. Geotechnical data standardization and management to support BIM for underground infrastructures and tunnels. World Tunnel Congress, May 2019. Italy, Naples. 2019. 11 p. hal-02056440
9. Brennan E. An examination of the use of Geotechnical BIM to provide value engineering solutions for coastal infrastructure. Capstone project from the MSc in a BIM. Dublin: Technological Univ. 2021. 18 p.
10. Cerovsek T. A review and outlook for a building information model (BIM): A multistandpoint framework for technological development. *Advanced engineering informatics*. 2011. Vol. 25(2), Pp. 224-244.
11. Chapman D., Providakis S., Christopher R. BIM for the underground – An enabler of trenchless construction. *Underground Space*. 2020. Vol. 5. Pp. 354-361. doi.org/10.1016/j.undsp.2019.08.001
12. Cheng J. Construction and visualization of a three-dimensional model of an engineering geological body. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 14. 8 p. doi.org/10.1007/s12517-021-06600-x
13. Eastman C., Fisher D., Lafue D., Lividini J., Stoker D., Yessios C. An outline of the building description system. Pittsburg: Carnegie-Mellon Univ., 1974. Pp. 1–23.
14. Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules. CEN, 2004. 171 p.
15. Gondar J., Pintoa A., Sampaioa Z. Study of BIM applied to geotechnical project. Lisbon: University of Lisbon – Técnico Lisboa. 2018. 10 p.
16. Grice C., Kessler H. Collaborative geotechnical BIM technologies [Lecture]. British Geological Survey. Natural Environment Research Council. 2015. 19 p.
17. Konietzky H. BIM for geotechnical engineering. Freiberg: TU Bergakademie - Geotechnical Institute. 2020. 30 p.
18. Lau S.E.N., Zakaria R, Aminudin E., Saar C.C. Yusof A., Wahid C.M. A review of application building information modeling (BIM) during pre-construction stage: Retrospective and future directions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 143, 012050. 9 p. doi :10.1088/1755-1315/143/1/012050
19. Lee M.L., Lee Y.L., Goh S.L., Koo C.H., Lau S.H., Chong S.Y. Case studies and challenges of implementing geotechnical building information modelling in Malaysia. *Infrastructures*. 2021. Vol. 6. No. 145. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6100145>.
20. Papadonikolaki E., Vrijhoef R., Wamelink J. A BIM-based supply chain model for AEC. 1st Conference in Building Information Modelling (BIM) in Design. Construction and Operations. *WIT Transactions on the built environment*. 2015. Pp. 181-193.
21. Perez-Sanchez J.C., Mora-Garcia R.T., Perez-Sanchez V.R., Piedecausa-Garcia B. From CAD to BIM: A new way to understand architecture. *WIT Transactions on the built environment*. 2017. Vol. 169. No 1. Pp. 45-54. doi:10.2495/BIM170051.

22. Tawelian L.R., Mickovski S.B. The implementation of geotechnical data into the BIM process. The 3rd International conf. on transportation geotechnics (ICTG 2016). *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 143. Pp. 734–741. doi:10.1016/j.proeng.2016.06.115.
23. Tyurin D.A., Nevzorov A.L. Numerical simulation of long-term peat settlement under the sand embankment. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 175. Pp. 51-56. doi:10.1016/j.proeng.2017.01.014.
24. Wu J., Chen J., Chen G., Wu Z., Zhong Y., Chen B., Ke W., Huan J. Development of data integration and sharing for geotechnical engineering information modeling based on IFC. *Hindawi advances in civil eng.* 2021. article ID 8884864. 15 p. <https://doi.org/10.1155/2021/8884864>.
25. Zhang J., Wu C., Wang Y., Ma Y., Wu Y., Mao X. (2018) The BIM-enabled geotechnical information management of a construction project. *Computing*. 2018. Vol.100. No 1. Pp. 47-63. doi: 10.1007/s00607-017-0571-8.

REFERENCES

1. Belostockij A.M. Cifrovye tekhnologii v stroitel'stve. Iz proshlogo v budushchee. Rol' RAASN// Doklady nauchno-otraslevykh otdelenij RAASN. Stroitel'nye nauki. 2021. S. 34–38.
2. Boldyrev G.G., Barvashov V.A., SHEjnin V.I., Kashirskij V.I., Idrisov I.H., Diveev A.A. Informacionnye sistemy v geotekhnike – 3D-geotekhnika // *Geotekhnika*. 2019. T.11. №2. S. 6-27.
3. Boldyrev G.G., Idrisov I.H., Redin A.V., Diveev A.A. BIM-geotekhnika i perspektivy ee razvitiya v Rossijskoj Federacii // *Geotekhnika*. 2019. T.12. №4. S. 6-22.
4. Boldyrev G.G., Kondrat'ev A.YU. Informacionnye sistemy v stroitel'stve // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2019. №9. S.17-23.
5. Ivahnova G. YU., Nevzorov A.L. Osobennosti interpretacii rezul'tatov kompressionnyh ispytaniy torfa// *Stroitel'stvo i arhitektura*. 2020. T.8, №1. S. 26–32.
6. Razvodovskij D.E., SHulyat'ev S.O., Stavnicer L. R. Primenenie BIM v geotekhnike// *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2018. №11. S.3-8.
7. SHashkin A. G., SHashkin K. G., Bogov S. G., SHashkin V. A., SHashkin M. A. Monitoring zdaniy i sooruzhenij pri stroitel'stve i ekspluatacii. SPb: Izd-vo instituta «Georekonstrukciya», 2021. 640 s.
8. Beaufils M., Grellet S., Le Hello B., Lorentz J., Beaudouin M., Castro-Moreno J. Geotechnical data standardization and management to support BIM for underground infrastructures and tunnels. *World Tunnel Congress*, May 2019. Italy, Naples. 2019. 11 p. hal-02056440
9. Brennan E. An examination of the use of Geotechnical BIM to provide value engineering solutions for coastal infrastructure. Capstone project from the MSc in a BIM. Dublin: Technological Univ. 2021. 18 p.
10. Cerovsek T. A review and outlook for a building information model (BIM): A multistandpoint framework for technological development. *Advanced engineering informatics*. 2011. Vol. 25(2), Pp. 224-244.
11. Chapman D., Providakis S., Christopher R. BIM for the underground – An enabler of trenchless construction. *Underground Space*. 2020. Vol. 5. Pp. 354-361. doi.org/10.1016/j.undsp.2019.08.001
12. Cheng J. Construction and visualization of a three-dimensional model of an engineering geological body. *Arabian Journal of Geosciences*. 2021. Vol. 14. 8 p. doi.org/10.1007/s12517-021-06600-x
13. Eastman C., Fisher D., Lafue D., Lividini J., Stoker D., Yessios C. An outline of the building description system. Pittsburg: Carnegie-Mellon Univ., 1974. Pp. 1–23.
14. Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules. CEN, 2004. 171 p.
15. Gondar J., Pintoa A., Sampaioa Z. Study of BIM applied to geotechnical project. Lisbon: University of Lisbon – Técnico Lisboa. 2018. 10 p.
16. Grice C., Kessler H. Collaborative geotechnical BIM technologies [Lecture]. British Geological Survey. Natural Environment Research Council. 2015. 19 p.
17. Konietzky H. BIM for geotechnical engineering. Freiberg: TU Bergakademie - Geotechnical Institute. 2020. 30 p.
18. Lau S.E.N., Zakaria R, Aminudin E., Saar C.C. Yusof A., Wahid C.M. A review of application building information modeling (BIM) during pre-construction stage: Retrospective and future directions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 143, 012050. 9 p. doi :10.1088/1755-1315/143/1/012050
19. Lee M. L., Lee Y. L., Goh S. L., Koo C. H., Lau S. H., Chong S. Y. Case studies and challenges of implementing geotechnical building information modelling in Malaysia. *Infrastructures*. 2021. Vol. 6, No. 145. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6100145>.
20. Papadonikolaki E., Vrijhoef R., Wamelink J. A BIM-based supply chain model for AEC. 1st Conference in Building Information Modelling (BIM) in Design. Construction and Operations/ *WIT Transactions on the built environment*. 2015. Pp. 181-193.
21. Perez-Sanchez J. C., Mora-Garcia R. T., Perez-Sanchez V. R., Piedecausa-Garcia B. From CAD to BIM: A new way to understand architecture. *WIT Transactions on the built environment*. 2017. Vol. 169, No 1. Pp. 45-54. doi:10.2495/BIM170051.

22. Tawelian L. R., Mickovski S. B. The implementation of geotechnical data into the BIM process. The 3rd International conf. on transportation geotechnics (ICTG 2016). *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 143. Pp. 734–741. doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.115.
23. Tyurin D. A., Nevzorov A. L. Numerical simulation of long-term peat settlement under the sand embankment. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 175. Pp. 51-56. doi:10.1016/j.proeng.2017.01.014.
24. Wu J., Chen J., Chen G., Wu Z., Zhong Y., Chen B., Ke W., Huan J. Development of data integration and sharing for geotechnical engineering information modeling based on IFC. *Hindawi advances in civil eng.* 2021. article ID 8884864. 15 p. <https://doi.org/10.1155/2021/8884864>.
25. Zhang J., Wu C., Wang Y., Ma Y., Wu Y., Mao X. 2018) The BIM-enabled geotechnical information management of a construction project. *Computing*. 2018. Vol.100, No 1. Pp. 47-63. doi:10.1007/s00607-017-0571-8.

Информация об авторе:

Невзоров Александр Леонидович

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Россия, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов, советник РААСН.

E-mail: a.l.nevzorov@yandex.ru

Information about authors:

Nevzorov Alexander L.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia, doctor of technical science, professor of the geotechnical department, advisor of RAACS.

E-mail: a.l.nevzorov@yandex.ru

А.А. ТРЕЩЕВ¹, Ю.А. ЗАВЬЯЛОВА¹

¹Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

ДЕФОРМИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ ИЗ МАТЕРИАЛОВ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ К ВИДУ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация. Рассматривается модель трехслойной кольцевой пластины средней толщины. Предполагается, что нагрузка на пластину принята равномерно – распределенной. В качестве определяющих соотношений берутся универсальные, построенные в нормированном тензорном пространстве напряжений, связанном с главными осями анизотропии материала. Нагрузка была принята таким образом, чтобы прогибы срединной поверхности пластины считались малыми по сравнению с ее толщиной. Закрепление пластины жесткое по внешнему и внутреннему контурам.

Поскольку некоторые ортотропные разнсопротивляющиеся материалы проявляют нелинейную зависимость деформаций от напряжений, материальные характеристики приняты в виде функций от интенсивности напряжений. В результате постановки краевой задачи была разработана математическая модель для анализируемого класса задач, реализованная в виде численного алгоритма интегрированного в пакет прикладных программ среды Mathcad.

Для решения системы разрешающих дифференциальных уравнений изгиба кольцевых ортотропных пластин использовался метод переменных параметров упругости с конечно-разностной аппроксимацией второго порядка точности.

Ключевые слова: пластина, ортотропные материалы, напряженно - деформированное состояние, разнсопротивляемость.

A.A. TRESHCHEV¹, YU.A. ZAVYALOVA¹

¹Tula State University, Tula, Russia

DEFORMATION OF ANNULAR ORTHOTROPIC PLATES OF MEDIUM THICKNESS MADE OF MATERIALS SENSITIVE TO THE TYPE OF STRESS STATE

Abstract. Discusses a model of a three-layer annular plate of medium thickness. It is assumed that the load on the plate is assumed to be uniformly distributed. The universal relations constructed in the normalized tensor stress space associated with the main axes of the anisotropy of the material are taken as the determining relations. The load was taken in such a way that the deflections of the middle surface of the plate were considered small in comparison with its thickness. The fixing of the plate is rigid along the external and internal contours.

Since some orthotropic materials with different resistance exhibit a nonlinear dependence of deformations on stresses, the material characteristics are taken as functions of stress intensity. As a result of the formulation of the boundary value problem, a mathematical model was developed for the analyzed class of problems, implemented as a numerical algorithm integrated into the Mathcad software package.

To solve the system of resolving differential equations of bending of annular orthotropic plates, the method of variable elasticity parameters with a finite-difference approximation of the second order of accuracy was used.

Keywords: plate, orthotropic materials, stress-strain state, different resistance.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schmueser D.W. Nonlinear Stress-Strain and Strength Response of Axisymmetric Bimodulus Composite Material Shells // *AIAA Journal*. 1983. Vol. 21. No.12. pp. 1742 – 1747.
2. Reddy L.N., Bert C.W. On the Behavior of Plates Laminated of Bimodulus Composite Materials // *ZAMM*. 1982. Vol. 62. No.6. Pp. 213 – 219.
3. Jones R.M. A Nonsymmetric Compliance Matrix Approach to Nonlinear Multimodulus Orthotropic Materials // *AIAA Journal*. 1977. Vol. 15. No.10. Pp. 1436 – 1443.
4. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Material // *AIAA Journal*. 1980. Vol. 18. No.8. Pp. 995 – 1001.
5. Jones R.M. Bucling of Stiffened Multilayered Circular Shells with Different Orthotropic Moduli in Tension and Compression // *AIAA Journal*. 1971. Vol. 9. No.5. Pp. 917 – 923.
6. Крегерс А.Ф., Максимов Р.Д., Турциныш Р.П. Нелинейная ползучесть тканевого стеклопластика при некоторых видах сложного напряженного состояния // *Механика полимеров*. 1973. №2. С. 212 – 218.
7. Амелина Е.В. О нелинейном деформировании углепластиков: эксперимент, модель, расчет / Е.В.Амелина [и др.] // *ИВТ СО РАН: Вычислительные технологии*. 2015. Т. 20. №5. С. 27–52.
8. Каюмов Р.А., Луканкин С.А., Паймушин В.Н., Холмогоров С.А. Идентификация механических характеристик армированных волокнами композитов // *Ученые записки Казанского университета. Физико-математическая наука*. 2015. Т. 157. кн. 4. С. 112–132.
9. Shafiqullin L.N., Bobrishev A.A., Erofeev V.T., Treshchev A.A., Shafiqullina A.N. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No.23. pp. 43758-43762.
10. Розе А.В. Жигун И.Г., Душин М.Н. Трехармированные тканые материалы // *Механика полимеров*. 1970. №3. С. 471–476.
11. Jones R.M., Nelson D.A.R. Theoretical-experimental correlation of material models for non-linear deformation of graphite // *AIAA Journal*. 1976. Vol. 14. No.10. pp. 1427–1435.
12. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression // *AIAA Journal*. 1977. Vol. 15. No.1. pp. 16–25.
13. Золочевский А.А., Кузнецов В.Н. Расчет анизотропных оболочек из разномодульных материалов при неосесимметричном нагружении // *Динамика и прочность тяжелых машин*. Днепропетровск: ДГУ, 1989. С.84–92.
14. Елсуфьев С.А. Исследование деформирования фторопласта-4 при линейном и плоском напряженном состояниях // *Механика полимеров*. 1968. №4. С. 742–746.
15. Елсуфьев С.А., В.М.Чебанов Изучение деформирования фторопласта в условиях плоского напряженного состояния // *Исслед. по упругости и пластичности*. Л.: Изд-во ЛГУ, 1971. Вып. 8. С. 209–213.
16. Айнбиндер С.Б., Лака М.Г., Майорс И.Ю. Влияние гидростатического давления на механические свойства полимерных материалов // *Механика полимеров*. 1965. № 1. С. 65 – 75.
17. Айнбиндер С.Б., Алксне К.И., Тюпина Э.Л., Лака М.Г. Свойства полимеров при высоких давлениях. М.: Наука, 1973. 118 с.
18. Деревянко Н.И. Свойства армированного полистирола при кратковременном растяжении, сжатии и изгибе // *Механика полимеров*. 1968. №6. С. 1059–1064.
19. Божанов П.В., Трещев А.А. Определение прочностных критериев при возникновении пластических деформаций в поликарбонате // *Инновации и инвестиции*. 2018. №12. С. 323-326.
20. Bert C.W. Models for Fibrous Composite with Different Properties in Tension and Compression // *Transaction of the ASME*. 1977. Vol. 99 N. Ser. D. No. 4. pp. 344–349.
21. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности разносопротивляющихся материалов. Тула: ТулГУ, 2020. 359 с.
22. Bazant Z.P., Bhat P.D. Endochronic Theory of Inelasticity and Failure of Concrete // *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*. 1976. Vol. 102. No. EM4. pp. 701–722.
23. Kupfer H.B. Das nicht-linear Verhalten des Betons bei Zweiachsiger Beanspruchung // *Beton und Stahlbetonbau*. 1973. No.11. pp. 269–274.
24. Tasuji M.E., Slate F.O., Nilson A.H. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Loading // *ACI Journal*. 1979. No.7. pp. 806–812.
25. Амбарцумян С.А. Основные уравнения и соотношения разномодульной теории упругости анизотропного тела // *Изв. АН СССР. МТТ*. 1969. № 3. С. 51 – 61.
26. Ломакин Е.В. Соотношения теории упругости для анизотропного тела, деформационные характеристики которых зависят от вида напряженного состояния // *Изв. АН СССР. МТТ*. 1983. №3. С. 63 – 69.
27. Трещев А.А., Завьялова Ю.А., Лапшина М.А. Вариант модели деформирования ортотропных композитных материалов // *Эксперт: Теория и практика (Научно-практический журнал)*. Тольятти: АНО «Институт судебной строительно-технической экспертизы». 2020. №3(6). С. 62 – 68.

28. Трещев А.А., Завьялова Ю.А., Лапшина М.А. Изгиб ортотропных пластин средней толщины с учетом зависимости материальных параметров от вида напряженного состояния // Строительная механика и конструкции. Воронеж: ВГТУ. 2022. Вып. 1. №32. С. 7–28.
29. Трещев А.А., Монастырев Ю.А., Чибрикина В.Д., Завьялова Ю.А., Лапшина М.А. Описание деформирования ортотропных разносопротивляющихся материалов // Строительная механика и конструкции. Воронеж: ВГТУ. 2019. №1(20). С. 7–13.
30. Трещев А.А. Потенциальная зависимость между деформациями и напряжениями для ортотропных физически нелинейных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: ОГУ. 2017. № 4-1 (324). С. 71 – 74.
31. Treshchev A.A., Zavyalova Yu.A., Lapshina M.A., Gvozdev A.E., Kuzovleva O.V., Krupitsyn E.S. Defining equations of deformation of materials with double anisotropy // Chebyshevskii sbornik. 2021. Vol. 22. No. 4. pp. 369 – 383.
32. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Наука, 1966. 636 с.
33. Батов П.А., Батырев К.Г., Матченко Н.М. Применение модифицированного пространства для расчета ортотропных пластин с использованием ANSYS и аналитических методов // Сборник материалов 2-го Российско-Украинского симпозиума. Пенза: ПГУАС. 2002. С. 165–167.
34. Батырев К.Г. Осесимметричная задача изгиба трансверсально изотропной пластины под действием поперечной нагрузки // Известия Тульского государственного университета. Серия: Технология, механика и долговечность строительных материалов, конструкций и сооружений. Тула: ТулГУ. 2001. Вып. 2. С. 10 – 18.
35. Пикуль В.В. Механика оболочек. Владивосток: Дальнаука, 2009. 536 с.
36. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. М.: Наука, 1974. 446 с.
37. Трещев А.А. Анизотропные пластины и оболочки из разносопротивляющихся материалов. М.: Тула: РААСН; ТулГУ, 2007. 160 с.
38. Алфутов Н.А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1984. 263 с.
39. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопроотивление материалов. М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. лит, 1986. 560 с.
40. Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Справочное пособие. Киев: Наук. думка, 1981. 496 с.

REFERENCES

1. Schmuesser D.W. Nonlinear Stress-Strain and Strength Response of Axisymmetric Bimodulus Composite Material Shells / D.W.Schmuesser // AIAA Journal. 1983. Vol. 21. No.12. pp. 1742 - 1747.
2. Reddy L.N. On the Behavior of Plates Laminated of Bimodulus Composite Materials / L.N.Reddy, C.W.Bert // ZAMM. 1982. Vol. 62. No.6. Pp. 213 – 219.
3. Jones R.M. A Nonsymmetric Compliance Matrix Approach to Nonlinear Multimodulus Ortotropic Materials / R.M.Jones // AIAA Journal. 1977. Vol. 15. No.10. Pp. 1436 – 1443.
4. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Material / R.M.Jones // AIAA Journal. 1980. Vol. 18. No.8. Pp. 995 – 1001.
5. Jones R.M. Bucling of Stiffened Multilayered Circular Shells with Different Ortotropic Moduli in Tension and Compression / R.M.Jones // AIAA Journal. 1971. Vol. 9. No.5. Pp. 917 – 923.
6. Kregers A.F. Nelineynaya polzuchest' tkanevogo stekloplastika pri nekotoryh vidah slojnogo napryajonnogo sostoyaniya [Nonlinear creep of fiberglass fabric in some types of complex stress state] / A.F.Kregers, R.D.Maksimov, R.P.Turcinysh // Mechanics of polymers. 1973. No. 2. Pp. 212 – 218. (rus)
7. Amelina E.V. O nelineynom deformirovanii ugleplastikov: eksperiment, model', raschot [On nonlinear deformation of carbon fiber plastics: experiment, model, calculation] / E.V.Amelina [et al.] // ICT SB RAS: Computational Technologies. 2015. Vol. 20. No. 5. Pp. 27–52. (rus)
8. Kayumov R.A. Identifikaciya mehanicheskikh harakteristik armirovannih voloknami kompozitov [Identification of mechanical characteristics of fiber-reinforced composites] / R.A.Kayumov, S.A.Lukanin, V.N.Paimushin, S.A.Kholmogorov // Scientific notes of the Kazan University. Physical and mathematical sciences. – 2015. Vol. 157. book 4. Pp. 112–132. (rus)
9. Shafigullin L.N. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts / L.N.Shafigullin, A.A.Bobrishev, V.T.Erofeev, A.A.Treshchev, A.N.Shafigullina // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No.23. Pp. 43758–43762.
10. Rose A.V. Treharmirovannye tkanie materialy [Three-reinforced woven materials] / A.V.Rose, I.G.Zhigun, M.N.Dushin // Mechanics of polymers. 1970. No. 3. Pp. 471–476. (rus)
11. Jones R.M., Theoretical-experimental correlation of material models for non-linear deformation of graphite / R.M.Jones, D.A.R.Nelson // AIAA Journal. 1976. Vol. 14. No.10. Pp. 1427–1435.

12. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M.Jones // *AIAA Journal*. 1977. Vol. 15. No.1. Pp. 16–25.
13. Zolochevsky A.A. Raschot anizotropnih obolochek iz raznomodul'nykh materialov pri neosesimmetrichnom nagrujenii [Calculation of anisotropic shells from multi-modular materials under non-axisymmetric loading] / A.A.Zolochevsky, V.N.Kuznetsov // *Dynamics and strength of heavy machines*. – Dnepropetrovsk: DSU, 1989. Pp. 84–92. (rus)
14. Elsufyev S.A. Issledovanie deformirovaniya ftoroplasta-4 pri lineynom i ploskom napryajonnom sostoyaniyah [Investigation of deformation of fluoroplast-4 under linear and plane stress states] / S.A.Elsufyev // *Mechanics of polymers*. 1968. No. 4. Pp. 742–746. (rus)
15. Elsufyev S.A. Izuchenie deformirovaniya ftoroplasta v usloviyah ploskogo napryajonnogo sostoyaniya [The study of fluoroplast deformation in a plane stress state] / S.A.Elsufyev, V.M.Chebanov // *Research. on elasticity and plasticity*. L.: LSU Publishing House, 1971. Issue 8. Pp. 209–213. (rus)
16. Ainbinder S.B. Vliyanie gidrostaticeskogo davleniya na mehanicheskie svoystva polimernih materialov [The influence of hydrostatic pressure on the mechanical properties of polymer materials] / S.B.Ainbinder, M.G.Laka, I.Y.Majors // *Mechanics of polymers*. 1965. No. 1. Pp. 65–75. (rus)
17. Ainbinder S.B. Svoystva polymerov pri visokih davleniyah [Properties of polymers at high pressures] / S.B.Ainbinder, K.I.Aksne, E.L.Tyurina, M.G.Laka. M.: Nauka, 1973. 118 p. (rus)
18. Derevyanko N.I. Svoystva armirovannogo polistirola pri kratkovremennom rastyajenii, sjatii i izgibe [Properties of reinforced polystyrene under short-term stretching, compression and bending] / N.I.Derevyanko // *Mechanics of polymers*. 1968. No.6. Pp. 1059–1064. (rus)
19. Bazhanov P.V. Opredelenie prochnostnykh kriteriev pri vozniknovenii plasticheskikh deformatsiy [Determination of strength criteria in the occurrence of plastic deformations in polycarbonate] / P.V.Bozhanov, A.A.Treshchev // *Innovations and investments*. 2018. No. 12. Pp. 323–326. (rus)
20. Bert C.W. Models for Fibrous Composite with Different Properties in Tension and Compression / C.W.Bert // *Transaction of the ASME*. 1977. Vol. 99 H. Ser. D. No. 4. Pp. 344–349.
21. Treshchev A.A. Teoriya deformirovaniya i prochnosti raznosoprotivlyayushchih materialov [Theory of deformation and strength of different resistant materials] / A.A. Treshchev // Tula: TulSU, 2020. 359 p. (rus)
22. Bazant Z.P. Endochronic Theory of Inelasticity and Failure of Concrete / Z.P.Bazant, P.D.Bhat // *Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE*. 1976. Vol. 102. No. EM4. Pp. 701–722.
23. Kupfer H.B. Das nicht-linear Verhalten des Betons bei Zweiachsiger Beanspruchung / H.B.Kupfer // *Beton und Stahlbetonbau*. 1973. No.11. Pp. 269–274.
24. Tasuji M.E. Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Loading / M.E.Tasuji, F.O.Slate, A.H.Nilson // *ACI Journal*. 1979. No.7. Pp. 806–812.
25. Ambartsumyan S.A. Osnovnye uravneniya i sootnosheniya raznomodul'noy teorii uprugosti anizotropnogo tela [Basic equations and relations of the multi-modulus theory of elasticity of an anisotropic body] / S.A. Ambartsumyan // *Izv. of the USSR Academy of Sciences. MSB*. 1969. No. 3. Pp. 51–61. (rus)
26. Lomakin E.V. Sootnosheniya teorii uprugosti anizotropnogo tela, deformatsionnye karakteristiki kotorih zavisyat ot vida napryajonnogo sostoyaniya [Relations of the theory of elasticity for an anisotropic body, the deformation characteristics of which depend on the type of stress state] / E.A. Lomakin // *Izv. of the USSR Academy of Sciences. MSB*. 1983. No.3. Pp. 63–69. (rus)
27. Treshchev A.A. Variant modeli deformirovaniya ortotropnykh kompozitnykh materialov [Variant of the deformation model of orthotropic composite materials] / A.A. Treshchev, Yu.A. Zavyalova, M.A. Lapshina // *Expert: Theory and Practice (Scientific and Practical journal)*. – Togliatti: ANO "Institute of Forensic Construction and Technical Expertise" 2020. No.3(6). Pp. 62–68. (rus)
28. Treshchev A.A. Izgib ortotropnykh plastin sredney tolshchiny s uchetom zavisimosti material'nykh parametrov ot vida napryajonnogo sostoyaniya [Bending of orthotropic plates of medium thickness taking into account the dependence of material parameters on the type of stress state] / A.A. Treshchev, Yu.A. Zavyalova, M.A. Lapshina // *Structural mechanics and constructions. Voronezh: VSTU*. 2022. Issue 1. No. 32. Pp. 7–28. (rus)
29. Treshchev A.A. Opisanie deformirovaniya ortotropnykh raznosoprotivlyayushchih materialov [Description of deformation of orthotropic materials with different resistance] / A.A. Treshchev, Yu.A.Monastyrev, V.D.Chibrikina, Yu.A.Zavyalova, M.A.Lapshina // *Construction mechanics and structures. Voronezh: VSTU*. 2019. No. 1(20). Pp. 7–13. (rus)
30. Treshchev A.A. Potentsial'naya zavisimost' mezhdu deformatsiyami i napryajeniyami dlya ortotropnykh fizicheskikh nelineynykh materialov [Potential dependence between deformations and stresses for orthotropic physically nonlinear materials] / A.A.Treshchev // *Fundamental and applied problems of engineering and technology*. Eagle: OGU. 2017. № 4-1 (324). Pp. 71–74. (rus)
31. Treshchev A.A. Defining equations of deformation of materials with double anisotropy / A.A.Treshchev, Yu.A.Zavyalova, M.A.Lapshina, A.E.Gvozdev, O.V.Kuzovleva, E.S.Krupitsyn // *Chebyshevskii sbornik*. 2021. Vol. 22. No. 4. Pp. 369 – 383.
32. Timoshenko S.P. Plastinki i obolochki [Plates and shells] / S.P. Timoshenko, S. Voynvsky-Krieger. M.: Nauka, 1966. 636 p. (rus)

33. Batov P.A. Primeneniye modificirovannogo prostranstva dlya rascheta ortotropnih plastin s ispol'zovaniyem ANSYS i analiticheskikh metodov [Application of modified space for calculation of orthotropic plates using ANSYS and analytical methods] / P.A.Batov, K.G.Batyrev, N.M.Matchenko // Collection of materials of the 2nd Russian-Ukrainian Symposium. Penza: PGUAS. 2002. Pp. 165–167. (rus)
34. Batyrev K.G. Osesimmetrichnaya zadacha izgiba transversal'no izotropnoy plastini pod deystviem poperechnoy nagruzki [Axisymmetric problem of bending a transversally isotropic plate under the action of a transverse load] / K.G.Batyrev // Izvestiya Tula State University. Series: Technology, mechanics and durability of building materials, structures and structures. Tula: TulSU. 2001. Issue 2. Pp. 10–18. (rus)
35. Pikul V.V. Mehanika obolochek [Mechanics of shells] / V.V.Pikul. Vladivostok: Dalnauka, 2009. 536 p. (rus)
36. Ambartsumyan S.A. Obshchaya teoriya anizotropnih obolochek [General theory of anisotropic shells] / S.A.Ambartsumyan. M.: Nauka, 1974. 446 p. (rus)
37. Treshchev A.A. Anizotropnite plastini i obolochki iz raznosopronivlyayushchihsya materialov [Anisotropic plates and shells made of highly resistant materials] / A.A. Treshchev. M.: Tula: RAASN; TulSU, 2007. 160 p. (rus)
38. Alfutov N.A. Raschot mnogosloynnih plastin i obolochek iz kompozicionnih materialov [Calculation of multilayer plates and shells made of composite materials] / N.A.Alfutov, P.A.Zinoviev, B.G.Popov. M.: Mashinostroenie, 1984. 263 p. (rus)
39. Birger I.A. Soprotivleniye materialov [Resistance of materials] / I.A.Birger, R.R.Mavlyutov. M.: Nauka. Gl. ed. phys. - mate. lit, 1986. 560 p. (rus)
40. Pisarenko G.S. Uravneniya i kraevye zadachi teorii plastichnosti i polzuchesti [Equations and boundary value problems of the theory of plasticity and creep] / G.S.Pisarenko, N.S.Mozharovsky // Reference manual. Kiev: Nauk. dumka, 1981. 496 p. (rus)

Информация об авторах:

Трещев Александр Анатольевич

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия,

Чл.-корр. РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Строительство, строительные материалы и конструкции».

E-mail: taa58@yandex.ru.

Завьялова Юлия Андреевна

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия,

аспирант кафедры «Строительство, строительные материалы и конструкции».

E-mail: zavyalova_yuliya95@mail.ru.

Information about authors:

Treshchev Alexandr An.

Tula State University, Tula, Russia,

corresponding member of RAASN, doctor of technical sciences, professor, head of the department of Construction, Building Materials and Structures.

E-mail: taa58@yandex.ru.

Zavyalova Yuliya An.

Tula State University, Tula, Russia,

graduate student of the department of Construction, Building Materials and Structures.

E-mail: zavyalova_yuliya95@mail.ru.

И.И. ШИШОВ¹, М.С. СЕРГЕЕВ¹, М.С. ЛИСЯТНИКОВ¹, М.В. ЛУКИН¹, С.И. РОЩИНА¹
¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

СОВМЕСТНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РИГЕЛЯ С КОЛОННАМИ В ПОКРЫТИИ ОДНОЭТАЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Аннотация. Ригель поперечной рамы одноэтажного промышленного здания – стропильная конструкция, перекрывающая пролет, в типовом решении опирается на колонны шарнирно. В середине пролета возникают большие изгибающие моменты, пропорциональные квадрату пролета, увеличивающие высоту железобетонного ригеля и здания в целом. В работе предлагается жесткое соединение стропильной конструкции с надкрановой частью колонны, вызывающее перераспределение усилий. В примере это позволило уменьшить высоту сечения железобетонного ригеля от 1.4 м до 0.8 м и массу от 28.8 т до 20.16 т. При этом в середине пролета изгибающие моменты уменьшились от 2.35 МНм до 0.76, а максимальные моменты, равные 1.29 МНм, действуют на небольших по протяженности участках около опор. Сечение надкрановых частей колонн несколько увеличилось, но в целом решение получилось более экономичным и высота покрытия и здания в целом уменьшилась на 0.6 м. Прогиб в середине пролета от нагрузки 0.0209 МН/м составил 0.0994 м при предельно допустимом значении 0.109 м.

Ключевые слова: Ригель поперечной рамы, большепролетные стропильные конструкции, покрытие промышленных зданий.

I.I. SHISHOV¹, M.S. SERGEEV¹, M.S. LISYATNIKOV¹, M.V. LUKIN¹, S.I. ROSCHINA¹
¹Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

JOINT DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE CROSSBAR WITH COLUMNS IN THE COATING OF A SINGLE-STOUREY INDUSTRIAL BUILDING

Abstract. The crossbar of the transverse frame of a one-story industrial building is a truss structure that overlaps the span, in a typical solution it rests on columns pivotally. In the middle of the span there are large bending moments proportional to the square of the span, increasing the height of the crossbar and the building as a whole. The paper proposes a rigid connection of the truss structure with the crane part of the column, causing a redistribution of efforts. In the example, this made it possible to reduce the cross-section height of the crossbar from 1.4 m to 0.8 m and the weight from 28.8 t to 20.16 t. At the same time, in the middle of the span, the bending moments decreased from 2.35 MNm to 0.76, and the maximum moments equal to 1.29 MNm act on small sections near the supports. The cross section of the crane parts of the columns increased slightly, but in general the solution turned out to be more economical and the height of the coating and the building as a whole decreased by 0.6 m. The deflection in the middle of the span from the load of 0.0209 MN/m was 0.0994 m with a maximum permissible value of 0.109 m.

Keywords: Cross-frame crossbar, large-span rafter structures, floors of industrial buildings.

© Шишов И.И., Сергеев М.С., Лисятников М.С., Лукин М.В., Рощина С.И., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровская Ю.А., Родевич В.В. Анализ несущей способности железобетонного ригеля с учетом сквозных технологических отверстий // Научно-технический потенциал как основа социально-экономического развития. Москва, 2018. С. 397-402.

2. Зайцев Д.С., Соловьев Н.П. Идея скрытого ригеля в сборно-монолитном железобетонном каркасе // Россия в многовекторном мире: национальная безопасность, вызовы и ответы. Йошкар-Ола. 2017. С. 274-275.
3. Тарасеева Н.И., Грачёва Ю.В., Крылов А.С. Дефекты и повреждения опор и ригеля железобетонного моста: причины возникновения, способы устранения // Моделирование и механика конструкций. №13. 2021. С. 169-177.
4. Комаров В.А. Расчет наклонных сечений в подрезках консольных опор ригелей сборных многоэтажных железобетонных каркасов // Строительная механика и расчет сооружений. №2 (259). 2015. С. 6-11.
5. Конорев А.В. Методика экспериментального определения характера деформирования составного ригеля железобетонной рамы с учетом податливости шва контакта // Строительство-2016. Брянск, 2016. С. 262-265.
6. Бабич Е.М., Гайчук И.В. Исследование влияния регулирования усилий в железобетонных рамах на деформации ригеля // Вестник брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. №1 (91). 2015. С. 54-57.
7. Колчунов В.И., Бушова О.Б., Кореньков П.А. Деформирование и разрушение железобетонных рам с ригелями, армированными наклонными стержнями, при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2022. №1 (99). С. 18-28.
8. Макаров К.С. Огибающая эпюра моментов в трехпролетном неразрезном железобетонном ригеле // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. Астрахань, 2021. С. 167-170.
9. Boronbaev, Erkin, Unaspekov, Berikbayb; Abdylbaeva, Aigul, Holmatov, Kamoliddina Zhyrgalbaeva, Nurbubu. Buildings Enclosures Coupling by Its Energy Efficiency, Seismic Resistance and Microclimate // 24th International Scientific Conference on Construction: The Formation of Living Environment, FORM 2021. Moscow. No. 170. Pp. 495 – 503. doi:10.1007/978-3-030-79983-0_45.
10. Plotnikov A., Ivanov M. Changes in the stiffness of load-bearing elements of a high-rise building and inclinometer data based on finite element analysis // 24th International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. FORM 2021. Moscow. Vol. 26328. doi: 10.1051/e3sconf/202126302023.
11. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Reinforced concrete structures stress-strain state strengthen with composite materials // 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2020. Vol. 869. No. 59. July 2020. doi: 10.1088/1757-899X/869/5/052003.
12. Zavyalova O. Calculation of internal efforts in combined multystoried frames taking into account changing settlement scheme // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety 2018, ICCATS 2018. Vol. 451. No. 1. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012057.
13. Jasinska D., Dulinska J. Influence of properties of elastomeric bearings on dynamic behavior of an integral bridge under a seismic shock // 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2016. Pp. 314 – 319. doi:10.1201/9781315641645-52.
14. Mkrytychev O., Busalova M. Calculation of Reinforced Concrete Structures with a Set Seismic Stability Level on an Earthquake // 5th Polish - Russian - Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2016. No. 153, Pp. 475 – 482. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.161.
15. Nazarenko S., Grudcina G. Method of the finite-element model formation containing the 3D elements for structural calculations of the reinforced concrete structures considering the crack opening // Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. 2021. Vol. 23. No. 1. Pp.D15 - D25. doi:10.26552/COM.C.2021.1.D15-D25.
16. Sivakumar S., Suresh T., Guru C. Flexural behavior of self compacted perforated concrete beams // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. No. 11. Pp. 1185 – 1191.
17. Santos I., Nunes F. Viaduct Araranguá – The alternative design of viaduct of 1661.59 meters in the BR-101/SC Brazil // International Conference on Multi-Span Large Bridges, 2015. Pp. 325 – 330. doi:10.1201/b18567-40.
18. Rakhmanova A., Platov V., Rybak I. Trash racks with stationary reinforced-concrete crossbar // Hydrotechnical Construction . 1989. Vol. 23. No. 2. Pp. 110 – 114. doi:10.1007/BF01427937.
19. Рощина С.И., Шишов И.И., Капцова Е.Н., Эззи Х.. Покрытие здания на сборно-монолитных стропильных конструкциях // Бетон и железобетон. 2013. № 3. С. 30 – 31.
20. Шишов И.И., Дрогина А.О., Ковалишина Т.В. Покрытие производственного здания на спаренных колоннах // Бетон и железобетон. 2013. № 5. С. 14 – 15.
21. Шишов И.И., Рощина С.И., Эззи Х., Рязанов М.А. Стропильные конструкции из линейных и плоских элементов и их совместная работа с плитами покрытий // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. труды III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону. РАН, Мин-во строит. и жилищ. коммунал. хоз. РФ, РИА, Мин-во образ. и науки РФ, МГСУ, НИЦ "Строительство", Ассоциация "Железобетон". (Москва, 12 – 16 мая 2014 г.). Москва: Изд-во МГСУ, 2014. Т.1. С. 407 - 414.
22. Шишов И.И., Рощина С.И., Рязанов М.А., Эззи Х.. Рамные стропильные конструкции и плиты покрытия промышленного здания при шаге поперечных рам 15 метров // Новое в архитектуре, проектировании

- строительных конструкций и реконструкции: материалы VIII Всерос. (II Междунар.) конф. НАСКР-2014. ЧГУ. (Чебоксары, 20 – 21 ноября 2014 г.). Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2014. С. 251 – 256.
23. Рязанов М.А., Рощина С.И., Шишов И.И., Лукин М.В., Лисятников М.С. Внешнее армирование консольно-балочной подстропильной системы // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2018. №2. С. 62 – 64.
24. Рязанов М.А., Шишов И.И., Рощина С.И., Смирнов Е.А., Сергеев М.С. Экспериментальные исследования работы сборно-монолитного покрытия производственного здания // БСТ – Бюллетень строительной техники. 2016. №12. С. 57 – 61.
25. Рязанов М.А., Шишов И.И., Рощина С.И., Лукин М.В. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 58 – 64.
26. Рощина С.И., Шишов И.И., Рязанов М.А., Козлова Н.П., Малафеева П.И. Пат. 186152 RU, МПК E04B 7/00. Сборно-монолитное покрытие одноэтажного производственного здания при пролетах 18, 24, 30 м и увеличенном шаге поперечных осей // патентообладатель ВлГУ. № 2018134014, заявл. 26.09.2018, опубл. 11.01.2019. Бюл № 2.
27. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 56-59.
28. Шматков С.Б., Штурмин В.В. Расчет железобетонных дымовых труб на основе диафрагм деформирования бетона и арматуры. Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. Т. 15. № 4. С. 36-39.
29. Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Вып. 2. Самара. ИЦРОН. 2015. С. 122-124.
30. Радайкин О.В. К определению момента трещинообразования изгибаемых железобетонных элементов с учетом пластических деформаций бетона растянутой зоны. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 30-38.
31. Lisyatnikov, M.S., Shishov, I.I., Sergeev, M.S., Hisham, E. Covering of a single-storey industrial building with wide beams of box-shaped cross-section of stepwise variable height. Precast monolithic coating of an industrial building based on variable-height beam-slabs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, No. 896 (1). 2020. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012064.

REFERENCES

1. Bobrovskaya Y.A., Rodevich V.V. Analysis of the bearing capacity of a reinforced concrete crossbar taking into account through technological holes // Scientific and technical potential as the basis of socio-economic development. Moscow, 2018. Pp. 397-402.
2. Zaitsev D.S., Solovyov N.P. The idea of a hidden bolt in a prefabricated monolithic reinforced concrete frame // Russia in a multi-vector world: national security, challenges and answers. Yoshkar-Ola, 2017. Pp. 274-275.
3. Taraseeva N.I., Gracheva Yu.V., Krylov A.S. Defects and damages of supports and crossbars of reinforced concrete bridge: causes, methods of elimination // Modeling and mechanics of structures. No.13. 2021. Pp.169-177.
4. Komarov V.A. Calculation of inclined sections in the trimming of cantilever supports of crossbars of prefabricated multi-storey reinforced concrete frames // Construction mechanics and calculation of structures. No.2(259). 2015. Pp. 6-11.
5. Konorev A.V. Method of experimental determination of the nature of deformation of a composite crossbar of a reinforced concrete frame, taking into account the malleability of the contact seam // Construction-2016. Bryansk, 2016. Pp. 262-265.
6. Babich E.M., Gaichuk I.V. Investigation of the influence of force regulation in reinforced concrete frames on crossbar deformations // Bulletin of the Brest State Technical University. Construction and architecture. No. 1 (91). 2015. Pp. 54-57.
7. Kolchunov V.I., Bushova O.B., Korenkov P.A. Deformation and destruction of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with inclined rods, under special influences // Construction and reconstruction. 2022. No.1 (99) Pp. 18-28.
8. Makarov K.S. The envelope plot of moments in a three-span continuous reinforced concrete crossbar // Innovative development of regions: the potential of science and modern education. Astrakhan, 2021. Pp. 167-170.
9. Boronbaev, Erkin, Unaspekov, Berikbayb; Abdyldaeva, Aigul, Holmatov, Kamolidina; Zhyrgalbaeva, Nurbubu. Buildings Enclosures Coupling by Its Energy Efficiency, Seismic Resistance and Microclimate // 24th International Scientific Conference on Construction: The Formation of Living Environment, FORM 2021. Moscow. No. 170. Pp. 495 – 503. doi:10.1007/978-3-030-79983-0_45.

10. Plotnikov A., Ivanov M. Changes in the stiffness of load-bearing elements of a high-rise building and inclinometer data based on finite element analysis // 24th International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment. FORM 2021. Moscow. Vol. 26328. doi: 10.1051/e3sconf/202126302023.
11. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Reinforced concrete structures stress-strain state strengthen with composite materials // 23rd International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2020. Vol. 869. No. 59. July 2020. doi:10.1088/1757-899X/869/5/052003.
12. Zavyalova O. Calculation of internal efforts in combined multystoried frames taking into account changing settlement scheme // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety 2018, ICCATS 2018. Vol. 451. No. 1. doi:10.1088/1757-899X/451/1/012057.
13. Jasinska D., Dulinska J. Influence of properties of elastomeric bearings on dynamic behavior of an integral bridge under a seismic shock // 6th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, SEMC 2016. Pp. 314 – 319. doi: 10.1201/9781315641645-52.
14. Mkrtychev O., Busalova M. Calculation of Reinforced Concrete Structures with a Set Seismic Stability Level on an Earthquake // 5th Polish - Russian - Slovak Seminar Theoretical Foundation of Civil Engineering, 2016. No. 153, Pp. 475 – 482. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.161.
15. Nazarenko S., Grudcina G. Method of the finite-element model formation containing the 3D elements for structural calculations of the reinforced concrete structures considering the crack opening // Communications - Scientific Letters of the University of Žilina. 2021. Vol. 23. No. 1. Pp.D15 - D25. doi:10.26552/COM.C.2021.1.D15-D25.
16. Sivakumar S., Suresh T., Guru C. Flexural behavior of self compacted perforated concrete beams // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. No. 11. Pp. 1185 – 1191.
17. Santos I., Nunes F. Viaduct Araranguá – The alternative design of viaduct of 1661.59 meters in the BR-101/SC Brazil // International Conference on Multi-Span Large Bridges, 2015. Pp. 325 – 330. doi:10.1201/b18567-40.
18. Rakhmanova A., Platov V., Rybak I. Trash racks with stationary reinforced-concrete crossbar // Hydrotechnical Construction . 1989. Vol. 23, No. 2. Pp. 110 – 114. doi:10.1007/BF01427937.
19. Roshchina S.I., Shishov I.I., Kaptsova E.N., Ezzi H. Covering of a building on prefabricated monolithic truss structures // Concrete and reinforced concrete. 2013. No. 3. Pp. 30 – 31.
20. Shishov I.I., Drogina A.O., Kovalishina T.V. Covering of an industrial building on paired columns // Concrete and reinforced concrete. 2013. No. 5. Pp. 14-15.
21. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ezzi H., Ryazanov M.A. Rafter structures made of linear and flat elements and their joint work with coating plates // Concrete and reinforced concrete – a look into the future: scientific works of III Vsros. (II International) conf. on concrete and reinforced concrete. RAN, Min-o builds. and dwellings. communal. household. RF, RIA, Min-o image. and sciences of the Russian Federation, MGSU, SIC "Construction", Association "Reinforced Concrete". (Moscow, May 12-16, 2014). Moscow: MGSU Publishing House, 2014. Vol.1. Pp. 407-414.
22. Shishov I.I., Roshchina S.I., Ryazanov M.A., Ezzi H. Frame truss structures and covering plates of an industrial building with a step of transverse frames of 15 meters // New in architecture, design of building structures and reconstruction: materials VIII Vsros. (II International) conf. NASKR-2014. ChSU. (Cheboksary, November 20 – 21, 2014). Cheboksary: Chuvash Publishing House. Un-ta, 2014. Pp. 251 - 256.
23. Ryazanov M.A., Roshchina S.I., Shishov I.I., Lukin M.V., Lisyatnikov M.S. External reinforcement of the cantilever-beam sub-truss system // BST – Bulletin of construction equipment. 2018. No. 2. Pp. 62-64.
24. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Smirnov E.A., Sergeev M.S. Experimental studies of the work of a prefabricated monolithic coating of an industrial building // BST – Bulletin of construction equipment. 2016. No.12. Pp. 57 – 61.
25. Ryazanov M.A., Shishov I.I., Roshchina S.I., Lukin M.V. Calculation of bending elements taking into account the physical nonlinearity of deformation // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 12. pp. 58-64.
26. Roshchina S.I., Shishov I.I., Ryazanov M.A., Kozlova N.P., Malafeeva P.I. Pat. 186152 RU, IPC E04B 7/00. Prefabricated monolithic coating of a single-storey industrial building with spans of 18, 24, 30 m and an increased step of the transverse axes. / patent holder of the VISU. No. 2018134014, application 26.09.2018, publ. 11.01.2019. Byul No. 2.
27. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of deformability of bent reinforced concrete elements of various cross-sections // Bulletin of V.G. Shukhov BSTU. 2017. No. 4. Pp. 56-59.
28. Shmatkov S.B., Shturmin V.V. Calculation of reinforced concrete chimneys based on concrete and reinforcement deformation diaphragms. Bulletin of SUSU. The series "Construction and Architecture". 2015. Vol. 15. No. 4. Pp. 36-39.
29. Obernikhin D.V., Nikulina Y.A. Calculation of the strength of bent reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section based on the use of nonlinear diagrams of concrete and reinforcement deformation // Actual issues of science and technology: Collection of scientific papers on the results of the international scientific and practical conference. Vol. 2. Samara. ICron. 2015. Pp. 122-124.
30. Radaykin O.V. On determining the moment of cracking of bent reinforced concrete elements taking into account plastic deformations of the stretched zone concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 3. Pp. 30-38.

31. Lisyatnikov M.S., Shishov, I.I., Sergeev, M.S., Hisham, E. Covering of a single-storey industrial building with wide beams of box-shaped cross-section of stepwise variable height. Precast monolithic coating of an industrial building based on variable-height beam-slabs. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, No. 896 (1). 2020. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012064.

Информация об авторах:

Шишов Иван Иванович

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: shishov@shishov777.elcom.ru

Сергеев Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru

Лисятников Михаил Сергеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Лукин Михаил Владимирович

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: mikail_lukin_22@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.
E-mail: rsi3@mail.ru

Information about authors:

Shishov Ivan Iv.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: shishov@shishov777.elcom.ru

Sergeev Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: sergeevmichael@inbox.ru

Lisyatnikov Mikhail S.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mlisyatnikov@mail.ru

Lukin Mikhail V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
candidate of technical science, docent, associated professor of the department of building construction.
E-mail: mikail_lukin_22@mail.ru

Roschina Svetlana Iv.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia,
doctor of technical sciences, professor, head of the department of building structures.
E-mail: rsi3@mail.ru

ФАН ДИНЬ ГУОК¹, Т.А. ИЛЬЮЩЕНКО^{2,3}, М.А. АМЕЛИНА²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Юго-западный государственный университет, г. Курск, Россия

³Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН Российская Федерация, г. Москва, Россия

СИЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С КОСВЕННЫМ АРМИРОВАНИЕМ В ЗАПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЯХ

Аннотация. Приведены результаты исследований монолитных железобетонных каркасов многоэтажных зданий и железобетонных рам, моделирующих фрагменты таких каркасов в предельных состояниях, вызванных особыми воздействиями. Рассмотрено два варианта армирования ригелей рам: с двойным армированием, обеспечивающим работу ригеля при изменении в раме силовых потоков и соответственно знака момента; варианта с двойным армированием и установкой дополнительного косвенного армирования в приопорных зонах ригелей на всю высоту сечения. Первичные и вторичные расчетные схемы были построены с использованием объемных конечных элементов для бетона и стержневых элементов арматуры. Полученные расчетные параметры деформаций, картин трещин и схем разрушения рам для всех вариантов сопоставлены между собой и с результатами испытаний физических моделей этих конструкций. Для оценки влияния смешанного армирования на предельные деформации сжатого бетона в предельных состояниях, на основе теории пластичности бетона и железобетона Г.А. Гениева, построены деформационные зависимости для характерного железобетонного элемента, армированного стержнями одного направления и сетками в двух других при одноосном сжатии и объемной деформации.

Установлено, что использование косвенного армирования в сочетании с двойной продольной арматурой в изгибаемых элементах при статико-динамическом режиме нагружения значительно увеличивает предельные деформации. Этот вариант армирования является одним из эффективных способов защиты монолитных железобетонных каркасов многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения при особых воздействиях.

Ключевые слова: железобетонный каркас, особое воздействие, предельное состояние, косвенное армирование, расчет, живучесть.

PHAN DINH QUOC¹, T.A. ILIUSHCHENKO^{2,3}, M.A. AMELINA²

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

²South West State University, Kursk, Russia

³Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE FRAMES OF MULTI-STOREY BUILDINGS WITH INDIRECT REINFORCEMENT IN OVER-EXTREME LIMIT STATES

Abstract. The results of studies of monolithic reinforced concrete frames of multi-storey buildings and reinforced concrete frames simulating fragments of such frames in over-extreme limit states caused by special actions are presented. Two options for reinforcing the beams of the frames are considered: with double reinforcement, which ensures the operation of the beam when the force flows in the frame and, accordingly, the sign of the moment change; option with double reinforcement and

installation of additional indirect reinforcement in the support zones of the beams for the entire height of the section. Primary and secondary design models were built using volumetric finite elements for concrete and reinforcement rods. The obtained design parameters of deformations, crack patterns and frame failure patterns for all options are compared with each other and with the results of testing physical models of these structures. To assess the effect of mixed reinforcement on the limiting deformations of compressed concrete in over-extreme limit states, based on the theory of plasticity of concrete and reinforced concrete G.A. Geniyeva, deformation dependencies are constructed for a typical reinforced concrete element reinforced with rods in one direction and meshes in the other two under uniaxial compression and volumetric deformation.

It has been established that the use of indirect reinforcement in combination with double longitudinal reinforcement in bending elements under static-dynamic loading conditions significantly increases the ultimate deformation of the compressed zone. This reinforcement option can working way to protect monolithic reinforced concrete frames of multi-storey buildings from progressive collapse under special actions

Keywords: reinforced concrete frame, special action, over-extreme limit states, indirect reinforcement, calculation, survivability.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И., Воробьев Е.Д., Осовских Е.В., Доценко В.Н. Конструкционная безопасность каркасов жилых зданий // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2004. №. 1. С. 8-11.
2. Бондаренко В. М., Ключева Н. В., Колчунов В. И., Андросова Н. Б. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести // Строительство и реконструкция. 2012. №. 4. С. 3-16.
3. Травуш В.И., Колчунов В. И., Леонтьев Е. В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований // Промышленное и гражданское строительство. 2019. №. 2. С. 46-54.
4. Fedorova N.V., Savin S.Y. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage-an analytical review // Build. Reconstr. 2021. Т. 95. №. 3. С. 76-108.
5. Травуш В.И., Шапиро Г.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В., Федорова Н.В. Проектирование защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // Жилищное строительство. 2019. №. 3. С. 40-46.
6. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения / 385.1325800.2018. СП – М.: Минстрой России, 2018.– 33с. (Building Code of RF SP 385.1325800.2018 Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements. Moscow: Ministry of Construction of RF, 2018. 26 p. (in Russian)
7. Unified Facilities Criteria. Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Department of Defence (DoD), 2009
8. CEN Comité Européen de Normalisation. EN 1991-1-7: eurocode 1 – actions on structures – part 1–7: general actions – accidental actions. Brussels (Belgium): CEN, 2006
9. Australian Building Codes Board (ABCB). National construction code (NCC). Council of Australian Governments. 2016
10. China Association for Engineering Construction Standardization (CECS). Code for anti-collapse design of building structures, CECS 392: 2014. Beijing (China), 2014
11. Y.-L. Fan, J. Wang, and H.-L. Wang, Experimental study on collapse performance of one-story reinforced concrete frames using external prestressing tendons // Journal of Central South University. 2018. Vol. 49. No. 5. P. 1244–1253.
12. Kang S.B., Tan K.H. Progressive collapse resistance of precast concrete frames with discontinuous reinforcement in the joint // Journal of Structural Engineering. 2017. Т. 143. №. 9. С. 04017090.
13. Yang T., Chen W., Han Z. Experimental Investigation of Progressive Collapse of Prestressed Concrete Frames after the Loss of Middle Column // Advances in Civil Engineering. 2020. Т. 2020.
14. Ключева Н.В., Кореньков П.А. Методика экспериментального определения параметров живучести железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем // Промышленное и гражданское строительство. 2016. No2. С. 44-48.
15. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // Journal of Physics: Conference Series. 2019. (1425). С. 012033.
16. Федорова Н.В., Фан Д.К., Нгуен Т.Ч. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. №. 1. С. 92-100.

17. Kolchunov V., Iliushchenko T., Savin S. Deformation and Failure of Prestressed Reinforced Concrete Frames in Ultimate States // *Proceedings of MPCPE 2021*. Springer, Cham, 2022. С. 41-53.
18. Расторгуев Б.С., Ванус Д.С. Расчет изгибаемых железобетонных элементов с косвенным сетчатым армированием сжатой зоны // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. №. 12. С. 58.
19. Krishan A.L., Sabirov R.R., Krishan M.A. Strength calculation of compressed reinforced concrete elements with indirect reinforcement with nets // *Architecture Building Education*. 2014. Т. 1. №. 3. С. 215-224.
20. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. №. 7. С. 41-44.
21. Vu N. S., Yu B., Li B. Stress-strain model for confined concrete with corroded transverse reinforcement // *Engineering Structures*. 2017. Т. 151. С. 472-487.
22. Демьянов А.И., Алькади С.А. Статико-динамическое деформирование железобетонных элементов пространственной рамы при их сложном сопротивлении // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2018. №. 11. С. 20-33.
23. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. 1974.
24. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I., Vorob'ev E.D., Osovskih E.V., Docenko V.N. Konstrukcionnaya bezopasnost' karkasov zhilyh zdaniy [Structural safety of residential building frames] // *BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki*. 2004. №. 1. S. 8-11 (rus)
2. Bondarenko V.M., Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Androsova N.B. Nekotorye rezul'taty analiza i obobshcheniya nauchnyh issledovaniy po teorii konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti [Some results of the analysis and generalization of scientific research on the theory of constructive safety and survivability] // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2012. №. 4. S. 3-16 (rus)
3. Travush V.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya v ramkah zakonodatel'nyh i normativnyh trebovanij [Protection of buildings and structures from progressive collapse within the framework of legislative and regulatory requirements] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. №. 2. S. 46-54 (rus)
4. Fedorova N.V., Savin S.Y. Progressive collapse resistance of facilities experienced to localized structural damage-an analytical review // *Build. Reconstr.* 2021. Т. 95. №. 3. С. 76-108.
5. Travush V.I., Shapiro G.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V., Fedorova N.V. Proektirovanie zashchity krupnopanel'nyh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya [Design of protection of large-panel buildings against progressive collapse] // *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2019. №. 3. S. 40-46 (rus)
6. SP 385.1325800. 2018. Zashchita zdaniy i sooruzhenij ot progressiruyushchego obrusheniya. Pravila proektirovaniya. Osnovnye polozheniya [Protection of buildings and structures from progressive collapse. Design rules. The main provisions.]. М.: Standartinform, 2018. S. 19 (rus)
7. Unified Facilities Criteria. Design of buildings to resist progressive collapse (UFC 4-023-03). Washington, DC: Department of Defence (DoD), 2009.
8. CEN Comité Européen de Normalisation. EN 1991-1-7: eurocode 1 – actions on structures – part 1–7: general actions – accidental actions. Brussels (Belgium): CEN, 2006.
9. Australian Building Codes Board (ABCB). National construction code (NCC). Council of Australian Governments. 2016.
10. China Association for Engineering Construction Standardization (CECS). Code for anti-collapse design of building structures, CECS 392: 2014. Beijing (China), 2014.
11. Y.-L. Fan, J. Wang, and H.-L. Wang, Experimental study on collapse performance of one-story reinforced concrete frames using external prestressing tendons // *Journal of Central South University*. 2018. Vol. 49. No. 5. P. 1244–1253.
12. Kang S.B., Tan K.H. Progressive collapse resistance of precast concrete frames with discontinuous reinforcement in the joint // *Journal of Structural Engineering*. 2017. Т. 143. №. 9. С. 04017090.
13. Yang T., Chen W., Han Z. Experimental Investigation of Progressive Collapse of Prestressed Concrete Frames after the Loss of Middle Column // *Advances in Civil Engineering*. 2020. Т. 2020.
14. Klyueva N.V., Koren'kov P.A. Metodika eksperimental'nogo opredeleniya parametrov zhivuchesti zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevyyh konstruktivnyh system [Method of experimental determination of parameters of survivability of reinforced concrete frame-bar structural systems] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No2. S.44-48. (rus)
15. Fedorova N.V., Ngoc V.T. Deformation and failure of monolithic reinforced concrete frames under special actions // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. (1425). С. 012033.

16. Fedorova N.V., Fan D.K., Nguen T.CH. Eksperimental'nye issledovaniya zhivuchesti zhelezobetonnyh ram s rigelyami, usilennymi kosvennym armirovaniem [Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement] // *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2020. № 1. S. 92-100 (rus)
17. Kolchunov V., Iliushchenko T., Savin S. Deformation and Failure of Prestressed Reinforced Concrete Frames in Ultimate States // *Proceedings of MPCPE 2021*. Springer, Cham, 2022. С. 41-53.
18. Rastorguev B.S., Vanus D.S. Raschet izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s kosvennym setchatym armirovaniem szhatoy zony [Calculation of bending reinforced concrete elements with indirect mesh reinforcement of the compressed zone] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. № 12. S. 58 (rus)
19. Krishan A.L., Sabirov R.R., Krishan M.A. Strength calculation of compressed reinforced concrete elements with indirect reinforcement with nets // *Architecture Building Education*. 2014. Т. 1. № 3. С. 215-224.
20. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K. K raschetu izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s kosvennym armirovaniem szhatoy zony [To the calculation of bending reinforced concrete elements with indirect reinforcement of the compressed zone] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. № 7. S. 41-44 (rus)
21. Vu N.S., Yu B., Li B. Stress-strain model for confined concrete with corroded transverse reinforcement // *Engineering Structures*. 2017. Т. 151. С. 472-487.
22. Dem'yanov A.I., Al'kadi S.A. Statiko-dinamicheskoe deformirovanie zhelezobetonnyh elementov prostranstvennoj ramy pri ih slozhnom soprotivlenii [Static-dynamic deformation of reinforced concrete elements of a spatial frame with their complex resistance] // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2018. № 11. S. 20-33 (rus)
23. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [The theory of plasticity of concrete and reinforced concrete]. М.: Strojizdat, 1974. 316 s. (rus)
24. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. Basic Provisions.]. М.: Standartinform, 2018. S. 152 (rus)

Информация об авторах:

Фан Динь Гуок

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: D2nucevn@gmail.com

Ильющенко Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
кандидат технических наук, преподаватель кафедры уникальных зданий и сооружений.
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН Российская Федерация, г. Москва, Россия,
инженер.
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Амелина Маргарита Андреевна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
студент кафедры уникальных зданий и сооружений.
E-mail: margo.dremova@mail.ru

Information about authors:

Phan Dinh Quoc

National Research Moscow State Construction University, Moscow, Russia,
postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: D2nucevn@gmail.com

Iliushchenko Tatiana A.

Southwest State University, Kursk, Russia,
candidate of technical sciences, teacher of unique buildings and structures.
Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,
engineer.
E-mail: tatkhalina93@yandex.ru

Amelina Margarita A.

Southwest State University, Kursk, Russia,
student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: margo.dremova@mail.ru

Е.В. ХОЛОДОВА¹, И.В. ШПАКОВ²

¹Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ)
Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России", г. Москва, Россия,

²Курский государственный университет, г. Курск, Россия

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И АРХИТЕКТУРНЫЕ ПРОЕКТЫ ПОСЛЕВОЕННЫХ ЛЕТ ДЛЯ ГОРОДОВ КУРСКА И БЕЛГОРОДА В ТВОРЧЕСТВЕ АРХИТЕКТОРА ОЛЕГА ВЛАДИМИРОВИЧА МАРИГОДОВА (1915-1950)

Аннотация. В данном исследовании представлены ранее неизвестные и развёрнутые материалы творческой биографии забытого имени зодчего - Олега Владимировича Маригодова (1915-1950), восстановленные по архивным и библиографическим источникам. Статья раскрывает многие неизвестные страницы истории восстановления в послевоенные годы городов Курска и Белгорода на примере исследования творчества О.В. Маригодова. Дается подробная характеристика его проектов по планировке и застройке отдельных районов и кварталов Курска и центра Белгорода, выполненных в послевоенные годы во время его работы техником-архитектором в архитектурно-проектной мастерской при Управлении главного архитектора г. Курска и Курскоблпроекте: проект планировки Первомайского сада, воинского кладбища, рабочего поселка резинового завода, районов индивидуальной усадебной застройки, проекты административных и жилых зданий и др.

Исследование выполнено за счет средств Государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН.

Ключевые слова: О.В. Маригодов, архитектор, проект планировки, застройка, реконструкция, строительство, Курск, Белгород, советский неоклассицизм.

E. V. KHOLODOVA¹, I. V. SHPAKOV²

¹Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning (NIITIAГ)
Branch of FSBI "TSNIIP of the Ministry of Construction of Russia", Moscow, Russia

²Kursk State University, Kursk, Russia

URBAN PLANNING AND ARCHITECTURAL PROJECTS OF THE POST- WAR YEARS FOR THE CITIES OF KURSK AND BELGOROD IN THE WORK OF THE ARCHITECT OLEG VLADIMIROVICH MARIGODOV (1915-1950)

Abstract. This study presents previously unknown and detailed materials of the creative biography of the forgotten name of the architect - Oleg Vladimirovich Marigodov (1915-1949), restored from archival and bibliographic sources. The article reveals many unknown pages of the history of restoration in the post-war years of the cities of Kursk and Belgorod on the example of the study of the creativity of O.V. Marigodov. A detailed description is given of his projects on the planning and development of certain districts and quarters of Kursk and the center of Belgorod, carried out in the post-war years during his work as an architect-technician in the architectural design workshop under the Office of the chief architect of Kursk and the Kurskoblproject: the draft layout of the Pervomaisky garden, the military cemetery, the working settlement of the rubber plant, areas of individual estate development, projects of administrative and residential buildings, etc...

The research was carried out at the expense of the State Program of the Russian Federation "Development of Science and Technology" within the framework of the Plan of Fundamental scientific research of the Ministry of Construction of Russia and RAASN.

Keywords: *O.V. Marigodov, architect, planning project, building, reconstruction, construction, Kursk, Belgorod, Soviet neoclassicism.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодова Е.В. Маригодов Олег Владимирович // Зодчие Курского края XVII-XX веков: Иллюстрированный биографический словарь. Курск: изд-во Курск. гос. ун-та; Крона, 2003. С. 135-136.
2. Габель В.Ф., Гулин И.Н. Курск. - Москва: Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1951. 88 с. (Архитектура городов СССР).
3. Государственный архив Курской области (ГАКО). Ф. Р-5293. Оп. 1. Д. 35.
4. ГАКО. Ф. Р-5346. Оп. 1. Д. 7.
5. ГАКО. Ф. Р-5346. Оп. 1. Д. 6.
6. ГАКО. Ф. Р-5293. Оп. 1. Д. 92.
7. Коровин В.В., Манжосов А.Н., Кизилова Е.В. Из истории формирования и реконструкции Мемориального комплекса «Памяти павших в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. // Курский военно-исторический сборник. Выпуск 20 / Редколлегия: В. В. Коровин (ответственный редактор) [и др.]; Региональное отделение РВИО в Курской области, Курский городской Совет ветеранов войны, труда, Вооруженных Сил и правоохранительных органов. Курск: Университетская книга, 2020. С. 64–76.
8. ГАКО. Ф. Р-770. Оп. 2. Д. 76.
9. Федоров С.И. Центры городов Орла, Курска и Белгорода — комплексные памятники истории и культуры: очерк историко-архитектурного и художественного развития. Всероссийское общество охраны памятников истории и культуры, Орловское областное отделение. Ленинград : Стройиздат, 1975. 200 с.
10. ГАКО. Ф. Р-623. Оп. 4. Д. 22.Л.1.
11. ГАКО. Ф. Р-5293. Оп. 1. Д. 46.
12. ГАКО. Ф. Р-5346. Оп. 1. Д. 49.
13. ГАКО. Ф. Р-5293. Оп. 1. Д. 99.
14. Георгиевский Н. Проект планировки Дзержинского района // Курская правда. 1950. 6 сентября (№177). С. 3.
15. ГАКО. Ф. Р-5293. Оп. 1. Д. 110.
16. ГАКО. Ф. Р-5346. Оп. 1. Д. 53.
17. ГАКО. Ф. Р-5293. Оп. 1. Д. 113.
18. ГАКО. Ф. Р-5246. Оп. 1. Д. 52.

REFERENCES

1. Kholodova E.V. Marigodov Oleg Vladimirovich // Architects of the Kursk Region of the XVII-XX centuries: An illustrated biographical dictionary. Kursk: Publishing House of Kursk State University; Krona, 2003. pp.135-136.
2. Gabel V.F., Gulin I.N. Kursk. - Moscow: State Publishing House of Architecture and Urban Planning, 1951. 88 p. (Architecture of cities of the USSR).
3. State Archive of the Kursk region (GAKO). F. R-5293. Op. 1. D. 35.
4. GAKO. F. R-5346. Op. 1. D. 7.
5. GAKO. F. R-5346. Op. 1. D. 6.
6. GAKO. F. R-5293. Op. 1. D. 92.
7. Korovin V.V., Manzhosov A.N., Kizilova E.V. From the history of the formation and reconstruction of the Memorial complex "In memory of the fallen during the Great Patriotic War of 1941-1945 // Kursk military-historical collection. Issue 20 / Editorial Board: V.V. Korovin (Executive Editor) [and others] ; Regional Branch of the RVIO in the Kursk region, Kursk City Council of Veterans of War, Labor, Armed Forces and Law Enforcement Agencies. Kursk: University Book, 2020. p. 64-76.
8. GAKO. F. R-770. Op. 2. D. 76. 9. Fedorov S. I. The centers of the cities of Orel, Kursk and Belgorod — complex monuments of history and culture : an essay on historical, architectural and artistic development. All-Russian Society for the Protection of Historical and Cultural Monuments, Orel Regional Branch. Leningrad: Stroyizdat, 1975. 200 p.
9. Fedorov S.I. The centers of the cities of Orel, Kursk and Belgorod — complex monuments of history and culture: an essay on historical, architectural and artistic development. All-Russian Society for the Protection of Historical and Cultural Monuments, Orel Regional Branch. Leningrad: Stroyizdat, 1975. 200 p.

10. GAKO. F. R-623. Op. 4. D. 22.L.1. 11. GAKO. F. R-5293. Op. 1. D. 46.
11. GAKO. F. R-5346. Op. 1. D. 49.
12. GAKO. F. R-5293. Op. 1. D. 99.
13. Georgievsky N. The draft layout of the Dzerzhinsky district // Kurskaya Pravda. 1950. September 6 (No.177). p. 3.
14. GAKO. F. R-5293. Op. 1. D. 110.
15. GAKO. F. R-5346. Op. 1. D. 53.
16. GAKO. F. R-5293. Op. 1. D. 113.
17. GAKO. F. R-5246. Op. 1. D. 52.

Информация об авторах:

Холодова Елена Васильевна

Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ) Филиала ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России", г. Москва, Россия, кандидат архитектуры, ведущий научный сотрудник, член Союза архитекторов России; советник РААСН, эксперт по проведению государственной историко-культурной экспертизы.
E-mail: tora-9@yandex.ru

Шпаков Илья Владимирович

ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», г. Курск, Россия, кандидат исторических наук, заведующий отделом формирования и сопровождения электронных ресурсов научной библиотеки.
E-mail: shiva16@yandex.ru

Information about authors:

Kholodova Elena V.

Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning (NIITIAG) Branch of the FSBI "TSNIIP of the Ministry of Construction of Russia", Moscow, Russia, candidate of Architecture, leading researcher, member of the Union of Architects of Russia; adviser to the RAASN, expert in conducting state historical and cultural expertise.
E-mail: tora-9@yandex.ru

Shpakov Ilya V.

Kursk State University, Kursk, Russia, Candidate of Historical Sciences, Head of the Department of Formation and Maintenance of Electronic Resources of the Scientific Library.
E-mail: shiva16@yandex.ru

Ю.В. ПУХАРЕНКО^{1,2}, Д.А. ПАНТЕЛЕЕВ^{1,2}, В.И. МОРОЗОВ¹, М.И. ЖАВОРОНКОВ¹

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры
и строительных наук, г. Москва, Россия

ВЛИЯНИЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

Аннотация. В настоящее время все большее развитие в строительстве получают композиционные материалы, в том числе, использование дисперсно армированного бетона, что обусловлено его значительно улучшенными по сравнению с традиционным бетоном и железобетоном физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

В статье представлены результаты влияния крупного заполнителя в составе композита на энергетические и силовые характеристики трещиностойкости фибробетона армированного стальной анкерной фиброй. Исследован процесс деформирования и механизм разрушения сталефибробетона.

Для этого в соответствии с положениями ГОСТ 29167 «Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении» были испытаны сталефибробетонные образцы-балки с контролем прикладываемой нагрузки и вызываемого ею прогиба. По полученным данным построены диаграммы зависимости нагрузки от прогиба, после их обработки и дополнительных построений были определены энергозатраты на статическое разрушение, прочность на растяжение при изгибе и коэффициент интенсивности напряжений.

Установлено, что значение условных удельных эффективных энергозатрат на статическое разрушение и прочность на растяжение при изгибе фибробетонных образцов с матрицей из тяжелого бетона с крупным заполнителем оказались ниже, чем у фибробетонных образцов с матрицей из мелкозернистого бетона, что объясняется меньшим сцеплением стальной анкерной фибры с матрицей, и соответствующим снижением эффективности их работы.

Ключевые слова: сталефибробетон, дисперсно армированный бетон, композит, стальная фибра, трещиностойкость, условный критический коэффициент интенсивности напряжений, прочность.

Yu.V. PUKHARENKO^{1,2}, D.A. PANTELEEV^{1,2}, V.I. MOROZOV¹, M.I. ZHAVORONKOV¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

«Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia

INFLUENCE OF LARGE AGGREGATES ON THE ENERGY AND POWER CHARACTERISTICS OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Abstract. At present, composite materials are gaining more and more development in construction, including the use of dispersed reinforced concrete, which is due to its significantly improved physical, mechanical and operational characteristics compared to traditional concrete and reinforced concrete.

The article presents the results of the influence of coarse filler in the composition of the composite on the energy and power characteristics of the crack resistance of fiber-reinforced concrete

© Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Морозов В.И., Жаворонков М.И., 2022

reinforced with steel anchor fibers. The process of deformation and the mechanism of destruction of steel fiber reinforced concrete have been studied.

To do this, in accordance with the provisions of GOST 29167 "Methods for determining the characteristics of crack resistance (fracture toughness) under static loading", steel-fiber-reinforced concrete sample beams were tested with control of the applied load and the deflection caused by it. Based on the data obtained, diagrams of the dependence of the load on the deflection were constructed, after their processing and additional constructions, the energy costs for static destruction, tensile strength in bending, and the stress intensity factor were determined.

It has been established that the value of the conditional specific effective energy consumption for static failure and tensile strength in bending of fiber-reinforced concrete samples with a matrix of heavy concrete with coarse aggregate turned out to be lower than that of fiber-reinforced concrete samples with a matrix of fine-grained concrete, which is explained by the lower adhesion of the steel anchor fiber to the matrix, and a corresponding decrease in their efficiency.

Keywords: *steel fiber reinforced concrete, dispersed reinforced concrete, composite, steel fiber, crack resistance, conditional critical stress intensity factor, strength.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миненко Е.Ю., Грачева Ю.В., Шлапакова О.И. Оценка энергетических характеристик дисперсно-армированного бетона в дорожном строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 32 (51). С. 66–70.
2. Степанов М.В., Моисеенко Г.А. Диаграммы деформирования мелкозернистого высокопрочного бетона и высокопрочного сталефибробетона при сжатии // Строительство и реконструкция. 2019. № 3 (83). С. 11–21.
3. Кострикин М.П. Эффективность дисперсного полиармирования бетона низко модульными волокнами // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 128–133.
4. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Ерофеев В.Т., Ерофеева И.В., Тараканов О.В., Кондращенко В.И., Кесарийский А.Г. Исследование трещиностойкости бетонов нового поколения // Строительные материалы. 2019. № 10. С. 3–11.
5. Давиденко М.А., Давиденко А.И., Матвеев В.П., Мирошникова А.А. Определение предельных деформаций сталефибробетона на основе энергетических зависимостей диаграмм деформирования бетона // Научный вестник государственного образовательного учреждения Луганской Народной Республики «Луганский национальный аграрный университет». 2020. № 8–3. С. 214–219.
6. Колчунов В.И., Кузнецова К.Ю., Федоров С.С. Модель критерия трещиностойкости и прочности плосконапряженных конструкций из высокопрочного фибробетона и фиброжелезобетона // Строительство и реконструкция. 2021. № 3 (95). С. 15–26.
7. Zertsalov M.G., Khoteev E.A. Calculating the crack resistance of fiber-reinforced concrete lining of free-flow water tunnels using linear fracture mechanics // Power Technology and Engineering. 2019. V.53. № 4. P. 440–444.
8. Zhang W., Lee D., Lee C., Zhang X., Ikechukwu O. Bond performance of sffc considering random distributions of aggregates and steel fibers // Construction and Building Materials. 2021. V. 291. P. 123304.
9. Shen J., Zhang Y. Fiber-reinforced mechanism and mechanical performance of composite fibers reinforced concrete // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2020. V. 35. № 1. P. 121–130.
10. Storm J., Kaliske M., Pise M., Brands D., Schröder J. A comparative study of micro-mechanical models for fiber pullout behavior of reinforced high performance concrete // Engineering Fracture Mechanics. 2021. V. 243. P.107506.
11. Enfedaque A., Alberti M.G., Gálvez J.C., Cabanas P. Numerical simulation of the fracture behavior of high-performance fiber-reinforced concrete by using a cohesive crack-based inverse analysis // Materials. 2022. V. 15. № 1.
12. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Совершенствование методов определения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 301–310.
13. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Методы определения характеристик трещиностойкости фибробетона // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развитию архитектуры, градостроительства и строительной отрасли РФ в 2018 году: Сб. науч. тр. РААСН. Т. 2. М.: Издательство АСВ, 2019. С. 448–457.
14. Жаворонков М.И. Методика определения энергетических и силовых характеристик разрушения фибробетона // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 6 (47). С. 155–160.
15. Жаворонков М.И., Власова А.В., Лукина Е.Н., Шакаров А.Р. Определение характеристик трещиностойкости фибробетона, армированного стеклянной, базальтовой и углеродной фиброй // Молодой ученый. 2021. № 48 (390). С. 39–47.
16. Пухаренко Ю.В., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы деформирования цементных композитов, армированных стальной проволоочной фиброй // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 143–147.

17. Пухаренко Ю.В., Морозов В.И., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Диаграммы разрушения цементных композитов, армированных аморфнометаллической фиброй // Эксперт: теория и практика. 2020. №3(6). С. 50–55.

REFERENCES

1. Minenko E.Yu., Gracheva Yu.V., Shlapakova O.I. Otsenka `energeticheskikh harakteristik dispersno-armirovannogo betona v dorozhnom stroitel'stve [Evaluation of the energy characteristics of dispersed-reinforced concrete in road construction] // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2013. № 32 (51). Pp. 66–70. (rus)
2. Stepanov M.V., Moiseenko G.A. Diagrammy deformirovaniya melkozernistogo vysokoprochnogo betona i vysokoprochnogo stalefibrobetona pri szhatii [Diagrams of deformation of fine-grained high-strength concrete and high-strength steel fiber concrete under compression] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. № 3 (83). Pp. 11–21. (rus)
3. Kostrikin M.P. Effektivnost' dispersnogo poliarmirovaniya betona nizkomodul'nymi voloknami [Efficiency of dispersed polyreinforcement of concrete with low-modulus fibers] // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2021. № 2 (85). Pp. 128–133. (rus)
4. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Erofeeva I.V., Tarakanov O.V., Kondraschenko V.I., Kesarijskij A.G. Issledovanie treschinostojkosti betonov novogo pokolenija [Investigation of crack resistance of new generation concretes] // Stroitel'nye materialy. 2019. № 10. Pp. 3–11. (rus)
5. Davidenko M.A., Davidenko A.I., Matveev V.P., Miroshnikova A.A. Opredelenie predel'nyh deformatsij stalefibrobetona na osnove `energeticheskikh zavisimostej diagramm deformirovaniya betona [Determination of ultimate deformations of steel fiber concrete based on the dependences of concrete deformation diagrams] // Nauchnyj vestnik gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija Luganskoj Narodnoj Respubliki «Luganskij natsional'nyj agrarnyj universitet». 2020. № 8–3. Pp. 214–219. (rus)
6. Kolchunov V.I., Kuznetsova K.Ju., Fedorov S.S. Model' kriterija treschinostojkosti i prochnosti ploskonaprjzhenykh konstruksij iz vysokoprochnogo fibrobetona i fibrozhelezobetona [Model of the criterion of crack resistance and strength of plane-stressed structures from high-strength fiber-reinforced concrete and fiber-reinforced concrete] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. № 3 (95). Pp. 15–26. (rus)
7. Zertsalov M.G., Khoteev E.A. Calculating the crack resistance of fiber-reinforced concrete lining of free-flow water tunnels using linear fracture mechanics // Power Technology and Engineering. 2019. V. 53. № 4. P. 440–444.
8. Zhang W., Lee D., Lee C., Zhang X., Ikechukwu O. Bond performance of sfrc considering random distributions of aggregates and steel fibers // Construction and Building Materials. 2021. V. 291. P. 123304.
9. Shen J., Zhang Y. Fiber-reinforced mechanism and mechanical performance of composite fibers reinforced concrete // Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition. 2020. V. 35. № 1. P. 121–130.
10. Storm J., Kaliske M., Pise M., Brands D., Schröder J. A comparative study of micro-mechanical models for fiber pullout behavior of reinforced high performance concrete // Engineering Fracture Mechanics. 2021. V. 243. P.107506.
11. Enfedaque A., Alberti M.G., Gálvez J.C., Cabanas P. Numerical simulation of the fracture behavior of high-performance fiber-reinforced concrete by using a cohesive crack-based inverse analysis // Materials. 2022. V. 15. №1.
12. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Sovershenstvovanie metodov opredelenija silovykh i `energeticheskikh harakteristik treschinostojkosti fibrobetona [Improvement of methods for determining the power and energy characteristics of fiber concrete crack resistance] // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vyp. 3. Pp. 301–310. (rus)
13. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Metody opredelenija harakteristik treschinostojkosti fibrobetona [Methods for determining the characteristics of crack resistance of fiber-reinforced concrete] // Fundamental'nye, poiskovyje i prikladnye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitiju arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli RF v 2018 godu: Sb. nauch. tr. RAASN. T. 2. M.: Izdatel'stvo ASV, 2019. Pp. 448–457. (rus)
14. Zhavoronkov M.I. Metodika opredelenija `energeticheskikh i silovykh harakteristik razrushenija fibrobetona [Method for determining the energy and power characteristics of the destruction of fiber-reinforced concrete] // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2014. № 6 (47). Pp. 155–160. (rus)
15. Zhavoronkov M.I., Vlasova A.V., Lukina E.N., Shkarov A.R. Opredelenie harakteristik treschinostojkosti fibrobetona, armirovannogo stekljannoj, bazal'tovoj i uglerodnoj fibroj [Determination of characteristics of crack resistance of fiber-reinforced concrete reinforced with glass, basalt and carbon fiber] // Molodoy uchenyj. 2021. № 48 (390). Pp. 39–47. (rus)
16. Puharenko Yu.V., Panteleev D.A., Zhavoronkov M.I. Diagrammy deformirovaniya tsementnykh kompozitov, armirovannykh stal'noj provolochnoj fibroj [Diagrams of deformation of cement composites reinforced with steel wire fiber] // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2018. № 2. Pp. 143–147. (rus)
17. Puharenko Yu.V. Diagrammy razrushenija tsementnykh kompozitov, armirovannykh amorfno-metallicheskoj fibroj [Fracture diagrams of cement composites reinforced with amorphous metal fiber] / Yu.V. Puharenko, V.I. Morozov, D.A. Panteleev, M.I. Zhavoronkov // `Ekspert: teorija i praktika. – 2020. № 3 (6). – Pp. 50–55. (rus)

Информация об авторах:

Пухаренко Юрий Владимирович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительных материалов и метрологии».
Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,
главный научный сотрудник.
E-mail: tsik54@yandex.ru

Пантелеев Дмитрий Андреевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».
Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,
старший научный сотрудник.
E-mail: dm-pant@yandex.ru

Морозов Валерий Иванович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Железобетонных и каменных конструкций».
E-mail: gbk@spbgasu.ru

Жаворонков Михаил Ильич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии».
E-mail: sith07@list.ru

Information about authors:

Pukharenko Yury V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Building Materials and Metrology.
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia,
chief researcher.
E-mail: tsik54@yandex.ru

Panteleev Dmitrii A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Building Materials and Metrology.
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia,
Senior Researcher.
E-mail: dm-pant@yandex.ru

Morozov Valerii I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.
E-mail: gbk@spbgasu.ru

Zhavoronkov Mikhail I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», St. Petersburg, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technologies of Building Materials and Metrology.
E-mail: sith07@list.ru

А.И. РОДИН¹, А.А. ЕРМАКОВ¹, П.И. АБРАШИН¹, В.Т. ЕРОФЕЕВ¹¹Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск, Россия

ВЛИЯНИЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ НА СВОЙСТВА ПОРИСТОЙ СТЕКЛОКЕРАМИКИ ИЗ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД

Аннотация. В статье представлены результаты исследования структуры, физико-механических и теплофизических свойств стеклокерамических материалов. Шихту для изготовления образцов получали из кремнистых пород, каолина, бентонита, Na_2CO_3 и KCl . В планетарной шаровой мельнице проводили совместную механохимическую активацию компонентов. Полученную шихту обжигали в муфельной печи при температуре 850 °С. Экспериментальные результаты получены с применением метода рентгенофазового анализа (РФА). Определены физико-механические и теплофизические свойства образцов. Разработанные материалы (в форме блоков) имеют кажущуюся плотность от 308 до 409 кг/м³, прочность при изгибе до 3,2 МПа и сжатии до 13 МПа, коэффициент теплопроводности от 0,081 до 0,107 Вт/м·°С, предельную температуру эксплуатации до 890 °С включительно. Материалы по многим показателям превосходят пеностекло и стеклокерамику из отходов промышленного производства. Разработанные материалы рекомендуется использовать в качестве теплоизоляции при строительстве объектов промышленного и гражданского назначения.

Ключевые слова: пористая стеклокерамика, кремнистые породы, алюмосиликаты, физико-механические свойства, теплопроводность, предельная температура эксплуатации.

A.I. RODIN¹, A.A. ERMAKOV¹, P.I. ABRASHIN¹, V.T. EROFEEV¹¹National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

INFLUENCE OF ALUMINOSILICATES ON THE PROPERTIES OF POROUS GLASS CERAMICS FROM SILICEOUS ROCKS

Abstract. The article presents the results of the study of the structure, physical-mechanical and thermophysical properties of glass-ceramic materials. The charge mixture for the production of samples was obtained from siliceous rocks, kaolin, bentonite, Na_2CO_3 and KCl . Joint mechanochemical activation of the components was carried out in a planetary ball mill. The charge mixture obtained was fired in a muffle furnace at a temperature of 850 °C. The experimental results were obtained using the method of X-ray phase (XRF) analysis. The physical-mechanical and thermophysical properties of the samples are determined. The developed materials (in the form of blocks) have an apparent density of 308 to 409 kg/m³, flexural strength up to 3.2 MPa and compressive strength up to 13 MPa, thermal conductivity from 0.081 to 0.107 W/m·°C, limiting operating temperature up to 890 °C inclusive. The materials obtained are superior in many respects to foam glass and glass ceramics from industrial waste. They can be used as thermal insulation in the construction of industrial and civil facilities.

Keywords: porous glass ceramics, siliceous rocks, aluminosilicates, physical-mechanical properties, thermal conductivity, limiting operating temperature.

© Родин А.И., Ермаков А.А., Абрашин П.И., Ерофеев В.Т., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fernandes H.R., Tulyaganov D.U., Ferreira J.M.F. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents. *Ceramics International*. 2009. Vol. 35. No. 1. Pp. 229–235. doi:[10.1016/j.ceramint.2007.10.019](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.10.019)

2. Guo H., Ye F., Li W., Song X., Xie G. Preparation and characterization of foamed microporous mullite ceramics based on kyanite. *Ceramics International*. 2015. Vol. 41. No. 10. Pp. 14645–14651. doi:[10.1016/j.ceramint.2015.07.186](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.186)
3. König J., Lopez-Gil A., Cimavilla-Roman P., Rodriguez-Perez M.A., Petersen R.R., Østergaard M.B., Iversen N., Yue Y., Spreitzer M. Synthesis and properties of open- and closed-porous foamed glass with a low density. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 247. 118574. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2020.118574](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118574)
4. Zhu M., Ji R., Li Z., Wang H., Liu L., Zhang Z. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 112. Pp. 398–405. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183)
5. Cao J., Lu J., Jiang L., Wang Z. Sinterability, microstructure and compressive strength of porous glass-ceramics from metallurgical silicon slag and waste glass. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. No. 8. Pp. 10079–10084. doi:[10.1016/j.ceramint.2016.03.113](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.113)
6. Kyaw Oo D'Amore G., Caniato M., Travan A., Turco G., Marsich L., Ferluga A., Schmid C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 165. Pp. 1306–1315. doi:[10.1016/j.jclepro.2017.07.214](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.214)
7. Яценко Е.А., Рябова А.В., Гольцман Б.М. Разработка стеклокомпозиционных покрытий для защиты стальных нефтепроводов от внутренней и внешней коррозии // *Черные металлы*. 2019. №12. С. 46–51.
8. Яценко Е.А., Гольцман Б.М., Косарев А.С., Карандашова Н.С., Смолий В.А., Яценко Л.А. Синтез пеношлакостекла на основе глицериновой порообразующей смеси // *Сборник тезисов международной конференции: «Стекло: наука и практика»*. Санкт-Петербург: ЛЕМА, 2017. С. 214–215.
9. Ji R., Zheng Y., Zou Z., Chen Z., Wei S., Jin X., Zhang M. Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215. Pp. 623–632. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226)
10. Jia R., Deng L., Yun F., Li H., Zhang X., Jia X. Effects of SiO₂/CaO ratio on viscosity, structure, and mechanical properties of blast furnace slag glass ceramics. *Materials Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 233. Pp. 155–162. doi:[10.1016/j.matchemphys.2019.05.065](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.065)
11. Hisham N.A.N., Zaid M.H.M., Aziz S.H.A., Muhammad F.D. Comparison of foam glass-ceramics with different composition derived from ark clamshell (ACS) and soda lime silica (SLS) glass bottles sintered at various temperatures. *Materials*. 2021. Vol. 14. No. 3. 570. doi:[10.3390/ma14030570](https://doi.org/10.3390/ma14030570)
12. Zeng L., Sun H., Peng T., Zheng W. Preparation of porous glass-ceramics from coal fly ash and asbestos tailings by high-temperature pore-forming. *Waste Management*. 2020. Vol. 106. Pp. 184–192. doi:[10.1016/j.wasman.2020.03.008](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.008)
13. Romero A.R., Toniolo N., Voccaccini A.R., Bernardo E. Glass-ceramic foams from 'weak alkali activation' and gel-casting of waste glass/fly ash mixtures. *Materials*. 2019. Vol. 12. No. 4. 588. doi:[10.3390/ma12040588](https://doi.org/10.3390/ma12040588)
14. Иванов К.С. Методы активации шихты при получении пеностеклокерамики // *Новые огнеупоры*. 2018. №4. С. 107–110. doi:[10.17073/1683-4518-2018-4-107-110](https://doi.org/10.17073/1683-4518-2018-4-107-110)
15. Kazantseva L.K., Rashchenko S.V. Optimization of porous heat-insulating ceramics manufacturing from zeolitic rocks. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. No. 16. Pp. 19250–19256. doi:[10.1016/j.ceramint.2016.09.091](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.09.091)
16. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Klimova L.V., Yatsenko L.A. Peculiarities of foam glass synthesis from natural silica-containing raw materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020. Vol. 142. No. 1. Pp. 119–127. doi:[10.1007/s10973-020-10015-3](https://doi.org/10.1007/s10973-020-10015-3)
17. Zhimalov A.A., Bondareva L.N., Igitkhanyan Y.G., Ivashchenko Y.G. Use of Amorphous Siliceous Rocks – Opokas to Obtain Foam Glass with Low Foaming Temperature. *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 174. Pp. 13–15. doi:[10.1007/s10717-017-9916-1](https://doi.org/10.1007/s10717-017-9916-1)
18. Kruszewski Ł., Palchik V., Vapnik Y., Nowak K., Banasik K., Galuskina I. Mineralogical, geochemical, and rock mechanic characteristics of zeolite-bearing rocks of the hatrurim basin, Israel. *Minerals*. 2021. Vol. 11. No. 10. 1062. doi:[10.3390/min11101062](https://doi.org/10.3390/min11101062)
19. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Кравчук А.С., Ермаков А.А. Физико-механические и теплофизические свойства пеностеклокерамики на основе кремнеземсодержащей породы // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2019. №5. С. 8–15. doi:[10.34031/article_5cd6df461d0fd5.98177374](https://doi.org/10.34031/article_5cd6df461d0fd5.98177374)
20. Родин А.И., Ермаков А.А. Физико-механические свойства пеностеклокерамики на основе кремнистых пород с высоким содержанием CaCO₃ // *Огарев-online*. 2021. №6. Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/fiziko-mexanicheskie-svoystva-penosteklokeramiki-na-osnove-kremnistyx-porod-s-vysokim-soderzhaniem-caco3>
21. Родин А.И., Ермаков А.А. Теплофизические свойства пеностеклокерамики на основе кремнистых пород // *Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование*. 2020. №2(11). С. 49–55.

22. Costa F.P.D., Morais C.R.D.S., Pinto H.C., Rodrigues A.M. Microstructure and physico-mechanical properties of Al₂O₃-doped sustainable glass-ceramic foams. *Materials Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 256. 123612. doi:[10.1016/j.matchemphys.2020.123612](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123612)
23. Keyvani N., Marghussian V.K., Rezaie H.R., Kord M. Effect of Al₂O₃ content on crystallization behavior, microstructure, and mechanical properties of SiO₂-Al₂O₃-CaO-MgO glass-ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 2011. Vol. 8. No. 1. Pp. 203–213. doi:[10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x)
24. Ерофеев В.Т., Родин А.И., Кравчук А.С., Ермаков А.А. Исследование фазовых превращений в шихте (трепел: Na₂CO₃) для пеностеклокерамики // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 3(40). С.16–23.
25. Милло Ж. Геология глин (выветривание, седиментология, геохимия). Ленинград: Недра, 1968. 369 с.

REFERENCES

1. Fernandes H.R., Tulyaganov D.U., Ferreira J.M.F. Preparation and characterization of foams from sheet glass and fly ash using carbonates as foaming agents. *Ceramics International*. 2009. Vol. 35. No. 1. Pp. 229–235. doi:[10.1016/j.ceramint.2007.10.019](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.10.019)
2. Guo H., Ye F., Li W., Song X., Xie G. Preparation and characterization of foamed microporous mullite ceramics based on kyanite. *Ceramics International*. 2015. Vol. 41. No. 10. Pp. 14645–14651. doi:[10.1016/j.ceramint.2015.07.186](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.186)
3. König J., Lopez-Gil A., Cimavilla-Roman P., Rodriguez-Perez M.A., Petersen R.R., Østergaard M.B., Iversen N., Yue Y., Spreitzer M. Synthesis and properties of open- and closed-porous foamed glass with a low density. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 247. 118574. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2020.118574](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118574)
4. Zhu M., Ji R., Li Z., Wang H., Liu L., Zhang Z. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 112. Pp. 398–405. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183)
5. Cao J., Lu J., Jiang L., Wang Z. Sinterability, microstructure and compressive strength of porous glass-ceramics from metallurgical silicon slag and waste glass. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. No. 8. Pp. 10079–10084. doi:[10.1016/j.ceramint.2016.03.113](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.113)
6. Kyaw Oo D'Amore G., Caniato M., Travan A., Turco G., Marsich L., Ferluga A., Schmid C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 165. Pp. 1306–1315. doi:[10.1016/j.jclepro.2017.07.214](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.214)
7. Yatsenko E.A., Ryabova A.V., Goltsman B.M. Razrabotka steklokompozicionnyh pokrytij dlya zashchity stal'nyh nefteprovodov ot vnutrennej i vneshnej korrozii [Development of fiber-glass composite coatings for protection of steel oil pipelines from internal and external corrosion]. *Chernye metally* [Ferrous metals]. 2019. No. 12. Pp. 46–51.
8. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Kosarev A.S., Karandashova N.S., Smolii V.A., Yatsenko L.A. Sintez penoshlakostekla na osnove glicerinovoj poroobrazuyushchej smesi [The synthesis of foamed slag glass based on the glycerol pore-forming mixture]. *Sbornik tezisov mezhdunarodnoj konferencii: «Steklo: nauka i praktika»* [Collection of abstracts of the international conference: "Glass: science and practice"]. Saint Petersburg: LEMA, 2017. Pp. 214–215.
9. Ji R., Zheng Y., Zou Z., Chen Z., Wei S., Jin X., Zhang M. Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 215. Pp. 623–632. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226)
10. Jia R., Deng L., Yun F., Li H., Zhang X., Jia X. Effects of SiO₂/CaO ratio on viscosity, structure, and mechanical properties of blast furnace slag glass ceramics. *Materials Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 233. Pp. 155–162. doi:[10.1016/j.matchemphys.2019.05.065](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.05.065)
11. Hisham N.A.N., Zaid M.H.M., Aziz S.H.A., Muhammad F.D. Comparison of foam glass-ceramics with different composition derived from ark clamshell (ACS) and soda lime silica (SLS) glass bottles sintered at various temperatures. *Materials*. 2021. Vol. 14. No. 3. 570. doi:[10.3390/ma14030570](https://doi.org/10.3390/ma14030570)
12. Zeng L., Sun H., Peng T., Zheng W. Preparation of porous glass-ceramics from coal fly ash and asbestos tailings by high-temperature pore-forming. *Waste Management*. 2020. Vol. 106. Pp. 184–192. doi:[10.1016/j.wasman.2020.03.008](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.008)
13. Romero A.R., Toniolo N., Boccaccini A.R., Bernardo E. Glass-ceramic foams from 'weak alkali activation' and gel-casting of waste glass/fly ash mixtures. *Materials*. 2019. Vol. 12. No. 4. 588. doi:[10.3390/ma12040588](https://doi.org/10.3390/ma12040588)
14. Ivanov K.S. Metody aktivacii shihty pri poluchenii penosteklokeramiki [Methods of the burden materials activation when the foam glass-ceramics manufacturing]. *Novye ognepuory* [New refractories]. 2018. No. 4. Pp. 107–110. doi:[10.17073/1683-4518-2018-4-107-110](https://doi.org/10.17073/1683-4518-2018-4-107-110)

15. Kazantseva L.K., Rashchenko S.V. Optimization of porous heat-insulating ceramics manufacturing from zeolitic rocks. *Ceramics International*. 2016. Vol. 42. No. 16. Pp. 19250–19256. doi: [10.1016/j.ceramint.2016.09.091](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.09.091)
16. Yatsenko E.A., Goltsman B.M., Klimova L.V., Yatsenko L.A. Peculiarities of foam glass synthesis from natural silica-containing raw materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2020. Vol. 142. No. 1. Pp. 119–127. doi: [10.1007/s10973-020-10015-3](https://doi.org/10.1007/s10973-020-10015-3)
17. Zhimalov A.A., Bondareva L.N., Igitkhanyan Y.G., Ivashchenko Y.G. Use of Amorphous Siliceous Rocks – Opokas to Obtain Foam Glass with Low Foaming Temperature. *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 174. Pp. 13–15. doi: [10.1007/s10717-017-9916-1](https://doi.org/10.1007/s10717-017-9916-1)
18. Kruszewski Ł., Palchik V., Vapnik Y., Nowak K., Banasik K., Galuskina I. Mineralogical, geochemical, and rock mechanic characteristics of zeolite-bearing rocks of the hatrurim basin, Israel. *Minerals*. 2021. Vol. 11. No. 10. 1062. doi: [10.3390/min11101062](https://doi.org/10.3390/min11101062)
19. Erofeev V.T., Rodin A.I., Kravchuk A.S., Ermakov A.A. Fiziko-mekhanicheskie i teplofizicheskie svojstva penosteklokeramiki na osnove kremnezemsoderzhashchej porody [Physico-mechanical and thermophysical properties of foam-glass ceramics based on silica rock]. *Vestnik BGТУ im. V.G. Shuhova* [Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov]. 2019. No. 5. Pp. 8–15. doi: [10.34031/article_5cd6df461d0fd5.98177374](https://doi.org/10.34031/article_5cd6df461d0fd5.98177374)
20. Rodin A.I., Ermakov A.A. Fiziko-mekhanicheskie svojstva penosteklokeramiki na osnove kremnistyh porod s vysokim soderzhanijem CaCO₃ [Physico-mechanical properties of silica-based foam glass ceramics with high content of CaCO₃]. *Ogarev-online*. 2021. No. 6. Access mode: <http://journal.mrsu.ru/arts/fiziko-mexanicheskie-svojstva-penosteklokeramiki-na-osnove-kremnistyx-porod-s-vysokim-soderzhanijem-caco3>
21. Rodin A.I., Ermakov A.A. Teplofizicheskie svojstva penosteklokeramiki na osnove kremnistyh porod [Thermophysical properties of silica-based foam glass ceramic]. *Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovanie* [PGUAS Bulletin: construction, science and education]. 2020. No. 2(11). Pp. 49–55.
22. Costa F.P.D., Morais C.R.D.S., Pinto H.C., Rodrigues A.M. Microstructure and physico-mechanical properties of Al₂O₃-doped sustainable glass-ceramic foams. *Materials Chemistry and Physics*. 2020. Vol. 256. 123612. doi: [10.1016/j.matchemphys.2020.123612](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123612)
23. Keyvani N., Marghussian V.K., Rezaie H.R., Kord M. Effect of Al₂O₃ content on crystallization behavior, microstructure, and mechanical properties of SiO₂–Al₂O₃–CaO–MgO glass-ceramics. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 2011. Vol. 8. No. 1. Pp. 203–213. doi: [10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x)
24. Erofeev V.T., Rodin A.I., Kravchuk A.S., Ermakov A.A. Issledovanie fazovyh prevrashche-nij v shihte (trepel : Na₂CO₃) dlya penosteklokeramiki [Study of phase transformations in charge (tripoli: Na₂CO₃) for glass ceramic foams]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Engineering]. 2019. No. 3(40). Pp. 16–23.
25. Millo J. *Geologiya glin (vyvetrivanie, sedimentologiya, geohimiya)* [Geology of clays (weathering, sedimentology, geochemistry)]. Leningrad: Nedra, 1968. 369 p.

Информация об авторах:

Родин Александр Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий.
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Ермаков Анатолий Анатольевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,
аспирант кафедры строительных материалов и технологий.
E-mail: anatoly.ermakov97@mail.ru

Абрашин Павел Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,
лаборант кафедры строительных материалов и технологий.
E-mail: abrashin00@mail.ru

Ерофеев Владимир Трофимович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий.
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Information about authors:

Rodin Aleksander I.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate of technical sciences, docent, associate professor of the department of building materials and technologies.
E-mail: AL_Rodin@mail.ru

Ermakov Anatoly A.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
postgraduate student of the department of building materials and technologies.
E-mail: anatoly.ermakov97@mail.ru

Abrashin Pavel I.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
laboratory assistant of the department of building materials and technologies.
E-mail: abrashin00@mail.ru

Erofeev Vladimir T.

National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia,
doctor of technical sciences, professor, head of the department of building materials and technologies.
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

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. Орел, 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. Орел, ул. Московская, 77.
+79065704999

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

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции.
Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор О.В. Юрова
Компьютерная верстка О.В. Юрова

Подписано в печать

Дата выхода в свет

Формат 70×108/16. Печ. л. 8,25

Цена свободная. Тираж 1000 экз.

Заказ №

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