

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)*

Редакция:

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 Э., *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)*

Реболл Дж., *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 №ФС 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

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТУ РААСН, ПРОФ. В.И. КОЛЧУНОВУ – 70 ЛЕТ!

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Авдеев К.В., Мамин А.Н., Бобров В.В., Бамматов А.А., Мартыанов К.В., Пряхин С.Н.** Петлевые стыки стержневой арматуры. История развития, проблемы и актуальность 4
- Дёминов П.Д.** Вероятностные параметры жесткости железобетонной балки, лежащей на стохастически неоднородном основании 12
- Колчунов В.И.** Деформационная модель сопротивления бетона и железобетона от дислокаций до трещин 22
- Лукина А.В., Лисятников М.С., Мартынов В.А., Рощина С.И.** Прочность и деформативность сырьевой древесины после огневого воздействия 40
- Мурашкин В.Г.** Коэффициент секущего модуля для реконструируемого железобетона 50
- Овсянников С.Н., Лелюга О.В., Самохвалов А.С., Лымарева Е.А., Большанина Т.С.** Экспериментальные исследования упруго-диссипативных свойств конструкционных и герметизирующих материалов светопрозрачных конструкций 56
- Орлович Р.Б., Зимин С.С.** Устройство сквозных проемов в каменных сводах исторических зданий 69
- Тур В.В., Надольский В.В.** Концепция проектирования строительных конструкций на основе численных моделей сопротивления 78
- Царитова Н.Г., Курбанов А.И., Курбанова А.А.** Энергоэффективные здания на основе трансформируемых каркасов 91
- #### Безопасность зданий и сооружений
- Алексейцев А.В., Курченко Н.С., Антонов М.Д., Морозова Д.В.** Несущая способность аварийно нагружаемых железобетонных колонн с начальными несовершенствами 104
- Ву Н.Т., Федорова Н.В.** Вариант теории пластичности бетона применительно к статико-динамическому режиму деформирования 116
- Терехов И.А.** Критерии оценки технического состояния железобетонных плит при коррозии арматуры 128

Строительные материалы и технологии

- Ткач Е.В., Рахимов А.М.** Пеностеклокристаллический пористый заполнитель на основе техногенных отходов для легких бетонов 140

BUILDING AND RECONSTRUCTION

Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.
№6 (104) 2022

The founder – Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education
«Orel State University named after I.S. Turgenev»
(Orel State University)

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)

Treschev 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

Corresponding member of RAACS prof. V.I. Kolchunov celebrates 70!

Theory of engineering structures. Building units

Avdeev K.V., Mamin A.N., Bobrov V.V., Bammatov A.A., Martyanov K.V., Pryakhin S.N. The loop joins of rebars. Development history, problems and relevance.....	4
Deminov P.D. Probabilistic stiffness parameters of a reinforced concrete beam lying on a stochastically inhomogeneous foundation.....	12
Kolchunov V.I. Deformation model of reinforced concrete structures' resistance - from dislocations to cracks.....	22
Lukina A.V., Lisyatnikov M.S., Martinov V.M., Roschina S.I. Strength and deformability of raw wood after fire exposure.....	40
Murashkin V.G. Secant modulus ratio for reconstructable reinforced concrete.....	50
Ovsyannikov S.N., Lelyuga O.V., Samokhvalov A.S., Lymareva E.A., Bolshanina T.S. Experimental studies of elastic-dissipative properties of structural and sealing materials of translucent structures.....	56
Orlovich R.B., Zimin S.S. Arranging of through openings in the stone vault of historical buildings.....	69
Tur V.V., Nadolski V.V. The concept of design of building structures based on numerical resistance models.....	78
Tsaritova N.G., Kurbanov A.I., Kurbanova A.A. Energy-efficient buildings based on transformable frames.....	91

Building and structure safety

Alekseytsev A.V., Kurchenko N.S., Antonov M.D., Morozova D.V. Bearing capacity of emergency loaded reinforced concrete columns with initial imperfections.....	104
Vu N.T., Fedorova N.V. Variant of the plasticity theory for concrete in relation to the static-dynamic deformation regime.....	116
Terekhov I.A. Criteria for assessing the technical condition of reinforced concrete slabs during reinforcement corrosion.....	128

Construction materials and technologies

Tkach E.V., Rakhimov A.M. Heavy concrete based on polydisperse binder with complex polymer modifier with increased performance indicators.....	140
---	-----

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.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТУ РААСН, ЧЛЕНУ РЕДКОЛЛЕГИИ ЖУРНАЛА СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ, ВЛАДИМИРУ КОЛЧУНОВУ – 70 ЛЕТ!



9 ноября 2022 года исполнилось 70 лет со дня рождения Владимира Ивановича Колчунова – члена-корреспондента РААСН одного из известных советских и российских ученых в области теории железобетона, расчета и проектирования зданий и сооружений.

Окончил Брянский технологический институт (ныне технологический университет) по специальности «Промышленное и гражданское строительство». В 1983 г. окончил аспирантуру НИИ строительных конструкций Госстроя СССР по научной специальности 05.23.01. Строительные конструкции зданий и сооружений. Кандидатскую диссертацию защитил в 1983 г., а докторскую диссертацию на тему «Физические модели стержневых железобетонных конструкций» защитил в 1998 году.

Свою научно-творческую деятельность Колчунов Вл.И. начал в НИИ строительных конструкций Госстроя СССР (НИИСК Госстроя СССР) в 1975 г., в должности младшего, затем старшего научного сотрудника лаборатории теории железобетона и вся его последующая научная деятельность была связана с исследованиями в области теории железобетона и преподавательской работой в вузах СССР, Украины (Университет транспорта, Национальный Авиационный университет (доцент, профессор, зав. кафедрой)).

В настоящее время Вл.И. Колчунов является профессором кафедры «Уникальных зданий и сооружений» (г. Курск), членом двух диссертационных советов, членом ред. коллегии двух научно-технических журналов.

Основные направления научной деятельности: теория железобетона и методы расчета железобетонных конструкций; механика железобетона; механика разрушения и строительная механика. Им опубликовано более 300 научных трудов, в том числе 22 монографий, учебников и учебных пособий. Написанные им и в соавторстве учебники и учебные пособия широко известны в вузах России и Украины.

Профессиональные заслуги Вл.И. Колчунова отмечены рядом ведомственных наград, дипломов и грамот. В их числе «Краткий справочник инженера конструктора. Жилые и общественные здания», двухтомное «Справочное пособие по строительной механике» и монография «Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений» награждены дипломом, серебряной (2013 год) и золотой (2021 год) медалями Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН). Владимир Иванович является членом авторского коллектива национальных нормативных документов России и Украины. При научных консультациях В.И. Колчунова подготовлено и защищено 2-е докторских и при научном руководстве - 23 кандидатских диссертации.

Ред. коллегия журнала «Строительство и реконструкция» поздравляет Вл.И. Колчунова с 70-летним юбилеем и желает доброго здоровья, активного творческого долголетия и новых успехов в научной и педагогической деятельности.

К.В. АВДЕЕВ¹, А.Н. МАМИН^{1,2}, В.В. БОБРОВ^{1,2}, А.А. БАММАТОВ²,
К.В. МАРТЬЯНОВ³, С.Н. ПРЯХИН³

¹АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия

³Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, г. Москва, Россия

ПЕТЛЕВЫЕ СТЫКИ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ

Аннотация. Соединение стержневой арматуры железобетонных конструкций загибом арматуры в «петли» с образованием ядра стыка было разработано в начале прошлого века, однако активного применения так и не нашло, ввиду сложности работы и отсутствию методик расчета.

В статье представлен обзор истории создания, практического применения, отечественных и зарубежных научных исследований петлевых стыков арматуры в железобетонных конструкциях. В статье описаны преимущества и недостатки таких соединений, дана краткая информация об основных параметрах стыков и принцип работы. Представлены предложения по направлениям дальнейшего изучения работы петлевых стыков стержневой арматуры, поставлены цели для натурных и численных экспериментальных исследований, направленные на разработку методик расчета и конструирования петлевых стыков с целью их дальнейшего более широкого внедрения их в строительную практику.

Ключевые слова: петлевые стыки, соединения арматуры, бетонное ядро.

K.V. AVDEEV¹, A.N. MAMIN^{1,2}, V.V. BOBROV^{1,2}, A.A. BAMMATOV²,
K.V. MARTYANOV³, S.N. PRYAKHIN³

¹AO «CNIIPromzdaniy», Moscow, Russia

²Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia

³JSC «Rosenergoatom» branch of capital projects implementation, Moscow, Russia

THE LOOP JOINS OF REBARS. DEVELOPMENT HISTORY, PROBLEMS AND RELEVANCE

Abstract. The connection of rebar of concrete structures by looping rebars with the formation of the joint core was developed at the beginning of the last century, but it has not been actively used due to the complexity of the work and the lack of calculation methods.

The article presents a review of the history of the creation, practical application, national and foreign scientific research of the loop joints of rebar in concrete structures. The article describes advantages and disadvantages of such joints, gives brief information about the main parameters of the joints and the principle of operation. Suggestions for the directions of further study of the looped joints of reinforcing bars operation are presented, the goals for full-scale and numerical experimental research aimed at the development of calculation and design methods of looped joints for their further wider introduction into the construction practice are set.

Keywords: loop joints, reinforcement connections, concrete core.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов И.Н., Мешков В.З., Расторгуев Б.С. «Проектирование армирования железобетона». М. 2015. 276 с.
2. Передерия Г.П. Методы проектирования сборных железобетонных мостов. М.: Изд. «Трансжелдориздат», 1946.
3. Мельников Ю.Л., Захаров Л.В. Стыки элементов сборных железобетонных мостовых конструкций. М.: Изд. «Транспорт», 1971.
4. Киреева Э.И. «Крупнопанельные здания с петлевыми соединениями конструкций» // Научно-производственный и технологический журнал «Жилищное строительство». 2013. № 9. С. 47-51.
5. Технический отчет: «Анализ отечественного опыта применения бесшовных петлевых стыков» АО «НИИЭС». М., 2015.
6. Николаев В.Б., Рубин О.Д., Селезнев С.В. Расчет прочности и конструирование петлевых стыков сборных элементов // Бетон и железобетон. 1987. № 1. С. 38-40.
7. Николаев В.Б. и др. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций АЭС с модифицированными петлевыми стыками на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа // Безопасность энергетических сооружений. 2016. № 1. С. 66-81.
8. Климов Е.А., Николаев В.Б. Совершенствование методики расчета промышленных бесшовных петлевых стыков арматуры железобетонных конструкций ГЭС и АЭС по предельным состояниям // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 5. С. 3-10.
9. РУ 1.3.2.17.1106-2016. Руководство «Расчет и конструирование бесшовных петлевых стыков железобетонных конструкций АЭС с учетом сейсмических воздействий». 2016. С. 43
10. De Lima Araújo D., Curado M.C., Rodrigues P.F. Loop connection with fibre-reinforced precast concrete components in tension // Engineering structures. 2014. Т. 72. С. 140-151.
11. Dragosavić M. et al. Loop connections between precast concrete components loaded in bending // HERON. 1975. № 20. С. 3-36.
12. Малахов В.В. Испытания балок с петлевыми стыками многократно повторяющимися нагрузками // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2015. № 60. С. 195-201.
13. Дорофеев В.С., Шеховцов И.В., Петраш С.В., Малахов В.В. Прочность и деформативность балок со стыком «Передерия». (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса) Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. Рівне, 2011. Вип. 22. С. 328.
14. Дорофеев В.С., Малахов В.В., Нестеренко С.С. Анализ работы петлевых стыков различных конфигураций // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2012. № 47. С. 96-102.
15. Дорофеев В.С., Мишутин А.В., Петраш С.В., Шеховцов И.В. К вопросу численного исследования работы петлевого стыка // Сборник трудов 74-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу академії. 2018. С. 252-253.
16. Дорофеев В.С., Малахов В.В. К вопросу о напряженно-деформируемом состоянии петлевых стыков изгибаемых элементов // Вісник ОДАБА : наук.-техн. зб – Серія: Технічні науки. Одеса: ОДАБА, 2014. Вип. 54. С. 104-109.
17. Ong K. C.G., Hao J.B., Paramasivam P. A strut-and-tie model for ultimate loads of precast concrete joints with loop connections in tension // Construction and Building Materials. 2006. Т. 20. № 3. С. 169-176.
18. Joergensen H.B., Hoang L.C. Tests and limit analysis of loop connections between precast concrete elements loaded in tension // Engineering Structures. 2013. Т. 52. С. 558-569.
19. Sørensen J.H. et al. Tensile capacity of U-bar loop connections with precast fiber reinforced dowels // Fib Symposium 2016: Performance-based approaches for concrete structures. С. 102-114.

REFERENCES

1. Tihonov I.N., Meshkov V.Z., Rastorguev B.S. «Designing reinforcement of reinforced concrete». М. 2015. 276 с.
2. Perederiya G.P. Design methods for precast concrete bridges. IZD «Transjeldorizdatt». М. 1946 (in rus).
3. Melnikov L., Zakharov L.V. Joints of elements of precast reinforced concrete bridge structures. Izd. "Transport". М., 1971.
4. Kireeva E.I. "Large-panel buildings with hinged connections of structures" // Scientific-production and technological journal "Housing Construction". 2013. No. 9. Pp. 47-51.
5. Technical report: "Analysis of domestic experience in the application of non-welded loop joints" АО НИЕС. М., 2015.
6. Nikolaev V.B., Rubin O.D., Seleznev S.V. Calculation of Strength and Design of Loop Joints of Prefabricated Elements // Beton i jelozobeton. 1987. No. 1. Pp. 38-40. (in rus).

7. Nikolaev V.B. et al. Experimental Investigations of Reinforced Concrete Structures of NPPs with Modified Loop Joints on Large-Scale Reinforced Concrete Beam Models // Bezopasnost energeticheskikh sooruzheniy. 2016. No. 1. Pp. 66-81 (in rus).
8. Klimov E.A., Nikolaev V.B. Improvement of calculation methods of industrial non-welded loop joints of reinforcement of reinforced concrete structures of HPP and NPP on the limiting states // Stroitel'naya mekhanika inzhenernih konstruksii i sooruzheniy. 2016. No. 5. (in rus).
9. RU 1.3.2.17.1106-2016. Guide "Calculation and design of non-welded loop joints of reinforced concrete structures of nuclear power plants, taking into account seismic effects". 2016. Pp. 43.
10. De Lima Araújo D., Curado M.C., Rodrigues P.F. Loop connection with fibre-reinforced precast concrete components in tension // Engineering structures. 2014. Vol. 72. Pp. 140-151.
11. Dragosavić M. et al. Loop connections between precast concrete components loaded in bending. // HERON. 1975. No. 20. Pp. 3-36.
12. Malakhov V.V. Testing of beams with looped joints by repeated loads. // Bulletin of the Odessa State Academy of construction and architecture. 2015. No. 60. Pp. 195-201.
13. Dorofeev V.S., Shehovtsov I.V., Petrash S.V., Malakhov V.V. Strength and deformability of beams with "Perederiya" joint. (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa) Rusurseeconomic materials, structures, buildings and ponds: Collection of scientific works. Rivne, 2011. Vin. 22. Pp. 328.
14. Dorofeev V.S., Malakhov V.V., Nesterenko S.S. Analysis of loop joints of different configurations. // Bulletin of the Odessa State Academy of construction and architecture. 2012. No. 47. Pp. 96-102.
15. Dorofeev V.S., Mishutin A.V., Petrash S.V., Shehovtsov I.V. On the issue of numerical study of loop junction operation // Proceedings of the 74th scientific and Technical Conference of the Academy's teaching staff. 2018. Pp. 252-253.
16. Dorofeev V.S., Malakhov V.V. On the stress-strain state of hinged joints of bending elements. // Vestnik ODABA: Nauk.-tekhn. SB – series: Tekhnicheskie nauki. Odessa: ODABA publ., 2014. Issue 54. Pp. 104-109.
17. Ong K.C.G., Hao J.B., Paramasivam P. A strut-and-tie model for ultimate loads of precast concrete joints with loop connections in tension // Construction and Building Materials. 2006. Vol. 20. No. 3. Pp. 169-176.
18. Joergensen H.B., Hoang L.C. Tests and limit analysis of loop connections between precast concrete elements loaded in tension // Engineering Structures. 2013. Vol. 52. Pp. 558-569.
19. Sørensen J.H. et al. Tensile capacity of U-bar loop connections with precast fiber reinforced dowels // Fib Symposium 2016: Performance-based approaches for concrete structures. Pp. 102-114.

Информация об авторах:

Авдеев Кирилл Владимирович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
заместитель генерального директора - главный инженер.
E-mail: 6136133@mail.ru

Мамин Александр Николаевич

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, начальник отдела обследований зданий и сооружений.
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
профессор кафедры Железобетонные и каменные конструкции.
E-mail: otozs@yandex.ru

Бобров Владимир Викторович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заведующий сектором.
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
доцент кафедры Железобетонные и каменные конструкции.
E-mail: vbobrov1985@bk.ru

Бамматов Арслан Асельдерович

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет (НИУ МГСУ),
г. Москва, Россия,
аспирант кафедры Железобетонные и каменные конструкции.
E-mail: a.bammatof@yandex.ru

Мартьянов Кирилл Владимирович

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, г. Москва, Россия, начальник отдела технологий строительства.

E-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

Пряхин Сергей Николаевич

Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» по реализации капитальных проектов, г. Москва, Россия, главный эксперт отдела технологий строительства.

E-mail: pryakhin-sn@rosenergoatom.ru

Information about authors:

Avdeev Kirill V.

АО «ЦНИИПромзданий», Moscow, Russia, deputy General Director - Chief Engineer.

E-mail: 6136133@mail.ru

Mamin Aleksandr N.

АО «ЦНИИПромзданий», Moscow, Russia, doctor of technical sciences, professor, head of the Department of Surveys of Buildings and Structures. Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia, professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: otozs@yandex.ru

Bobrov Vladimir V.

АО «ЦНИИПромзданий», Moscow, Russia, candidate of technical sciences, head of the sector. Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia, associate professor of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: vbobrov1985@bk.ru

Bammatov Arslan As.

Moscow State University of Civil Engineering (NIU MGSU), Moscow, Russia, postgraduate student of the Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: a.bammatof@yandex.ru

Martyanov Kirill V.

JSC «Rosenergoatom» branch of capital projects implementation, Moscow, Russia, head of the Construction Technologies Department.

E-mail: martyanov-kv@rosenergoatom.ru

Pryakhin Sergey N.

JSC «Rosenergoatom» branch of capital projects implementation, Moscow, Russia, chief expert of the Construction Technologies Department.

E-mail: pryakhin-sn@rosenergoatom.ru

П.Д. ДЁМИНОВ¹¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ, ЛЕЖАЩЕЙ НА СТОХАСТИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОМ ОСНОВАНИИ

Аннотация. Представлены результаты определения вероятностных параметров прочностных характеристик бетона при контроле кубиковой прочности и прочности при растяжении, а также вероятностных параметров распределения модуля деформации бетона. Проведена оценка влияния стохастической неоднородности бетона на приведенный момент инерции железобетонного сечения и получены вероятностные параметры распределения начальной изгибной жесткости балки. Проведена оценка влияния статистического характера прочности бетона на высоту сжатой зоны бетона и упругопластический момент сопротивления сечения балки и получены вероятностные параметры распределения момента образования нормальных трещин. Определена вероятность образования нормальных трещин в фундаментной балке для случаев контроля кубиковой прочности бетона и прочности бетона на растяжение. Получены характеристики распределения длины зон с трещинами в фундаментной балке, нагруженной рядом сосредоточенных случайных сил для случаев контроля кубиковой прочности бетона и прочности бетона на растяжение, что открывает возможность решения уравнения изгиба балки на упругом основании с кусочно-постоянной жесткостью в замкнутом виде.

Ключевые слова: железобетонная балка, упругое основание, момент трещиностойкости, нормальное распределение, вероятностные параметры, зоны с трещинами.

P.D. DEMINOV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

PROBABILISTIC STIFFNESS PARAMETERS OF A REINFORCED CONCRETE BEAM LYING ON A STOCHASTICALLY INHOMOGENEOUS FOUNDATION

Abstract. The results of determining the probabilistic parameters of the strength characteristics of concrete in the control of cubic strength and tensile strength, as well as the probabilistic parameters of the distribution of the concrete deformation modulus are presented. The influence of stochastic inhomogeneity of concrete on the reduced moment of inertia of a reinforced concrete section has been evaluated, and the probabilistic parameters of the distribution of the initial bending stiffness of the beam have been obtained. The influence of the statistical nature of concrete strength on the height of the compressed zone of concrete and the elastic-plastic section modulus of the beam was evaluated, and the probabilistic parameters of the distribution of the moment of normal cracking were obtained. The probability of formation of normal cracks in the foundation beam is determined for the cases of control of the cubic strength of concrete and the tensile strength of concrete. The characteristics of the distribution of the length of zones with cracks in a foundation beam loaded with a number of concentrated random forces are obtained for the cases of controlling the cubic strength of concrete and the tensile strength of concrete, which opens up the possibility of solving the equation of beam bending on an elastic foundation with piecewise constant stiffness in a closed form.

Keywords: reinforced concrete beam, elastic foundation, crack resistance moment, normal distribution, probability parameters, zones with cracks.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов В.И., Дегтярь А.Н., Осовских Е.В. К оптимизации надежности внезапно поврежденных конструктивно нелинейных железобетонных конструкций // Доклады пятого всероссийского семинара «Проблемы оптимального проектирования сооружений». Новосибирск: 2005. С. 181-189.
2. Горбунов И.А., Капустин Д.Е. Расчетное сопротивление бетона и сталефибробетона в вероятностной трактовке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 1. С. 58–64.
3. Благонядин В.Л., Кудрявцев Е.П. Статистическое исследование деформаций песчаных оснований и трубопроводов подземных волноводных линий связи // Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1964-1965 г. Секция динамики и прочности машин. М., МЭИ, 1965. С.78-86.
4. Болотин В.В. Об упругих деформациях подземных трубопроводов, прокладываемых в статистически неоднородном грунте // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 1. С. 4-8.
5. Гасратова Н.А., Неверова Е.Г. Расчет надежности железобетонных элементов конструкций // Молодой ученый. 2016. № 9 (113). С. 1-10.
6. Раскатов С.Н. Расчёт балочных и плитных свайных ростверков на упругом стохастическом основании: дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1976. 135 с.
7. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 98-105.
8. Тамразян А.Г., Дудина И.В. Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления // Жилищное строительство. 2001. № 1. С. 16-17.
9. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях [Deformation models of reinforced concrete under special effects] // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
10. Деминов П.Д. К оценке статистических параметров железобетонной балки на упругом основании, имеющем стохастические характеристики // Строительство и реконструкция. 2018. № 5 (79). С. 5-12.
11. Деминов П.Д. Оценка вероятностных характеристик плотности вероятности предельной поперечной силы в изгибаемых железобетонных элементах // Строительство и реконструкция. 2019. №5 (85). С. 11-16.
12. Деминов П.Д. Оценка вероятности разрушения железобетонной балки, лежащей на стохастическом упругом основании с двумя коэффициентами постели по наклонному сечению от поперечной силы // Строительство и реконструкция. 2021 № 1 (93). С. 16-25.
13. Деминов П.Д. Оценка вероятности образования чрезмерных прогибов после образования трещин в железобетонной балке на стохастическом основании // Строительство и реконструкция. 2022 № 1 (99). С. 1-7.
14. Сморгачев А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Влияние коэффициента вариации на надёжность строительных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 164-167.
15. Рекомендации по оценке и обеспечению надежности транспортных сооружений. ЦНИИС Минтрансстрой СССР, М., 1989. С. 8.
16. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
17. Deminov P.D., Danilkiv F.J. Evaluation of the reliability of reinforced concrete beams on a stochastically inhomogeneous elastic foundation under the action of a non-stationary random load / XXII International Scientific Conference Civil Engineering, Tashkent, april 18-21, 2019. E3S Web Conf, Volum 97, 04052 (2019). URL:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704052> (дата обращения 15.10.2019).
18. Kanwal R.P. Generalized functions: Theory and Technique // Mathematics in Science and Engineering, 1983. Vol. 171. Pp. 1-4.
19. Киселев В.А. Расчет балок на упругом основании. М., Издательство МАДИ, 1981. С. 39-40.
20. Вержбицкий В.М. Численные методы. Математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения. Высшая школа. М., 2001. С. 255-259.
21. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., 2019.

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Degtyar' A.N., Osovskih E.B. K optimizacii nadezhnosti vnezapno povrezhdennykh konstruktivno nelinejnyh zhelezobetonnykh konstrukcij [To optimization of reliability of suddenly damaged structurally non-linear reinforced concrete structures] // Doklady pyatogo vserossijskogo seminaru «Problemy optimal'nogo proektirovaniya sooruzhenij». Novosibirsk: 2005. Pp. 181-189. (in rus)
2. Gorbunov I.A., Kapustin D.E. Raschetnoe soprotivlenie betona i stalefibrobetona v veroyat-nostnoj traktovke [Calculated resistance of concrete and steel fiber concrete in a probabilistic interpretation] // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. Belgorod: 2019. No. 1. Pp. 58–64. (in rus)

3. Blagonadyozhin V.L., Kudryavcev E.P. Statisticheskoe issledovanie deformatsij peschanyh osno-vanij i truboprovodov podzemnyh volnovodnyh linij svyazi [Statistical study of deformations of sandy foundations and pipelines of underground waveguide communication lines] // Doklady nauchno-tekhnicheskoj konferencii po itogam nauchno-issledovatel'skih rabot za 1964-1965 g. Sekciya dinamiki i prochnosti mashin. Moscow., MEI, 1965. Pp.78-86. (in rus)
4. Bolotin V.V. Ob uprugih deformatsiyah podzemnyh truboprovodov, prokladyvaemyh v statisticheski neodnorodnom grunte [On elastic deformations of underground pipelines laid in statistically heterogeneous soil] // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1965. No. 1. Pp. 4-8. (in rus)
5. Gasratova N.A., Neverova E.G. Raschet nadezhnosti zhelezobetonnyh elementov konstrukcij [Calculation of the reliability of reinforced concrete structural elements] // Molodoj uchenyj. 2016. No. 9 (113). Pp. 1-10. (in rus)
6. Raskatov S.N. Raschyot balochnyh i plitnyh svajnyh rostverkov na uprugom stohasticheskom osnovanii [Calculation of beam and slab pile grillages on an elastic stochastic foundation] : dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow: MISI, 1976. 135 p.
7. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Eksperimental'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov s treshchinami [Experimental studies of the stress-strain state of reinforced concrete bending elements with cracks] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. No. 6 (53). Pp. 98-105. (in rus)
8. Tamrazyan A.G., Dudina I.V. Vliyanie izmenchivosti kontroliruemyh parametrov na nadezhnost' prednapryazhennyh balok na stadii izgotovleniya [Influence of Variability of Controlled Parameters on the Reliability of Prestressed Beams at the Manufacturing Stage] // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2001. No. 1. Pp. 16-17. (in rus)
9. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri oso-byh vozdeystviyah [Deformation models of reinforced concrete under special effects] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. No. 8. Pp. 54-60. (in rus)
10. Deminov P.D. K ocenke statisticheskikh parametrov zhelezobetonnoj balki na uprugom osnova-nii, imeyushchem stohasticheskie harakteristiki [On the evaluation of the statistical parameters of a reinforced concrete beam on an elastic foundation with stochastic characteristics] // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2018. No. 5 (79). Pp. 5-12. (in rus)
11. Deminov P.D. Ocenka veroyatnostnyh harakteristik plotnosti veroyatnosti predel'noj pope-rechnoj sily v izgibaemyh zhelezobetonnyh elementah [Estimation of probabilistic characteristics of the probability density of the limiting transverse force in bending reinforced concrete elements] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 5 (85). Pp. 11-16. (in rus)
12. Deminov P.D. Ocenka veroyatnosti razrusheniya zhelezobetonnoj balki, lezhashchej na stohasticheskom uprugom osnovanii s dvumya koeffitsientami posteli, s po naklonnomu secheniyu ot pope-rechnoj sily [Estimation of the probability of destruction of a reinforced concrete beam lying on a stochastic elastic foundation with two bed coefficients, along an oblique section from a shear force] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2021. No. 1 (93). Pp. 16-25. (in rus)
13. Deminov P.D. Ocenka veroyatnosti obrazovaniya chrezmeryh progibov posle obrazovaniya tre-shchin v zhelezobetonnoj balke na stohasticheskom osnovanii [Estimation of the probability of excessive deflection formation after the formation of cracks in a reinforced concrete beam on a stochastic foundation] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2022. No. 1 (99). Pp. 1-7. (in rus)
14. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Vliyanie koeffitsienta variacii na nadyozhnost' stroitel'nyh konstrukcij [Influence of the coefficient of variation on the reliability of building structures] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universi-teta. 2013. No. 5 (50). Pp. 164-167. (in rus)
15. Rekomendacii po ocenke i obespecheniyu nadezhnosti transportnyh sooruzhenij [Recommendations for assessing and ensuring the reliability of transport facilities]. CNIIS Min-transstroya SSSR, M., 1989. S. 8.
16. Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika [Applied mathematical statistics]. Moscow: FIZMATLIT, 2006. 816 p.
17. Deminov P.D., Danilkiv F.J. Evaluation of the reliability of reinforced concrete beams on a stochastically inhomogeneous elastic foundation under the action of a non-stationary random load / XXII International Scientific Conference Civil Engineering, Tashkent, april 18-21, 2019. E3S Web Conf, Volum 97, 04052 (2019). URL:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199704052> (дата обращения 15.10.2019).
18. Kanwal R.P. Generalized functions: Theory and Technique // Mathematics in Science and Engineering. 1983. Vol. 171. Pp. 1-4.
19. Kiselev V.A. Raschet balok na uprugom osnovanii [Calculation of beams on an elastic foundation]. Moscow: Izdatel'stvo MADI, 1981. Pp. 39-40. (in rus)
20. Verzhbickij V.M. Chislennyye metody. Matematicheskij analiz i obyknovennyye differenci-al'nyye uravneniya [Numerical methods. Mathematical analysis and ordinary differential equations]. Moscow: Vysshaya shkola, 2001. Pp. 255-259. (in rus)
21. SP 63.13330.2018 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnyye polozheniya [Concrete and reinforced concrete structures. Key points]. Moscow, 2019. (in rus)

Информация об авторе:

Дёминов Павел Дмитриевич

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

E-mail: p-deminov@mail.ru

Information about author:

Deminov Pavel D.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

E-mail: p-deminov@mail.ru

В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}¹ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

ДЕФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ОТ ДИСЛОКАЦИЙ ДО ТРЕЩИН

Аннотация. Для структуры кристаллов двухкомпонентного материала (бетона и стали) разработана общая деформационная модель октаэдрических граней при чистых сдвигах равных $0,6 R_{bt}$ во всех плоскостях. При этом в теле шара скольжения от предельных касательных напряжений записано выражение для суммирования его объемных секторов, шара, различных уровней, рассмотрена также альтернатива, принадлежащая профессору В.В. Новожилову в виде энергетической интерпретации для интеграла среднего квадратичного значения касательных напряжений. Показан вариант получения в зоне микротрещины угловые и линейные деформации, при повышении интенсивности микротрещинообразования в представительном объеме бетона. Для магистральных трещин в механике разрушения железобетона предложены двухконсольные элементы. Моделирующая область растяжения, сжатия, поперечного сдвига и кручения для внутренних параметров в окрестности макротрещины.

В качестве условия прочности бетона используется предельное значение интенсивности касательных напряжений и интенсивности деформаций сдвига для рассматриваемого вида напряженного состояния.

В свете рассматриваемого подхода дана физическая интерпретация модуля дилатации бетона и предложена алгебраическая функция для описания этого параметра. Определен коэффициент поперечных деформаций бетона на разных уровнях нагружения от бетона в стадиях от уровня микротрещин до макротрещин.

Ключевые слова: модель, внутренние напряжения, принцип, бетон, железобетонные конструкции, дислокации, трещины, дилатации.

V.I. KOLCHUNOV¹¹Southwestern State University, Kursk, Russia²Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN, Moscow, Russia

DEFORMATION MODEL OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES' RESISTANCE - FROM DISLOCATIONS TO CRACKS

Abstract. The article provides a model of "internal stresses" for concrete matrix of reinforced concrete structures from dislocations, microcracks to macrocracks. The energy theory on the surface of the sphere and the definition of the integral for the mean square value of tangential stresses from plasticity theory are used. An alternative to the general model of the "eight" in the form of a paraboloid from the summation of the volume sectors, levels - radii for the matrix of sliding planes (including octahedral and pure shear) is developed. In the environment of different materials, the model is constructed based on the structure of crystals and dislocations from microcracks to macrocracks, and its working assumptions are formulated. The important principle for displacement (deformation) processes of summation and reduction of relaxing stresses from the stress-strain diagram of concrete is taken into account. The internal total stresses at the rupture of the "figure of eight" (of two contour rings) are obtained for combinations of tetrahedrons or layers-strips from the tangle-paraboloid. The lower boundaries of concrete micro-cracking depend on stresses (deformations), growth rate, energy in crack advancement for a prism or a standard "figure of eight". Displacements from shear, opening widths and crack development heights are obtained from the criteria and connecting parameters in a "representative" volume of concrete. As a result, the dilatation moduli for the stages of the stress-strain

state of reinforced concrete are determined, and the equality for the second stage and the dual console elements from the fracture mechanics are obtained.

Keywords: *model, internal stresses, principle, concrete, reinforced concrete structures, dislocations, cracks, dilatations.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов. Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
2. Гольшев А.Б., Колчунов. Вл.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа. 2009. 432 с.
3. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
4. Верюжский Ю.В., Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И., Ключева Н.В., Лисицин Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А. Справочное пособие по строительной механике. В двух томах: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2014. 432 с.
5. Колчунов Вл.И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 8. С. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>.
6. Верюжский Ю.В., Колчунов Вл.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с.
7. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов Вл.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. № 6(80). С. 32-43.
8. Баширов Х.З., Колчунов Вл.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. М.: АСВ, 2017. 248 с.
9. Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И. Сопротивление железобетонных конструкций, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях (монография). Киев: Основа, 2010. 286 с.
10. Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях. Киев: Талком, 2015. 371 с.
11. Петров В.В. Нелинейная инкрементальная строительная механика. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 480 с.
12. Кадашевич Ю.И., Новожилов В.В. Теория пластичности, учитывающая остаточные микронапряжения // Прикладная математика и механика. 1958. № 1. С. 78–89.
13. Бараз В.Р., Левченко В.П., Повзнер А.А. Строение и физические свойства кристаллов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 164 с.
14. Остаповец А., Пайдар В. Оценка напряжения Пайерлса для граничных дислокаций // Физика металлов и металловедение. 2011. № 3. С. 235-241.
15. Благовещенский В.В., Панин И.Г. Исследование модели дислокационного источника Франка-Рида // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2012. № 1. С. 40-45.
16. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 316 с.
17. Митасов В.М., Стаценко Н.В. Особенности развития трещин в железобетонных балках с организованными трещинами // Политранспортные системы. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения. 2020. С. 230-235.
18. Митасов В.М. Образование и развитие стохастических трещин в хрупких и квазихрупких материалах (на примере железобетонных конструкций) // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-24-2018). Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. С. 105-109.
19. Петров В.В., Селяев П.В. Инкрементальная модель взаимодействия нелинейно деформируемых материалов с агрессивными средами // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. 2014. С. 145-151.
20. Петров В.В. Методы выделения главной части решения при расчете нелинейно деформируемых балок // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 3(61). С. 160-169.
21. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Ключева Н.В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2004. 216 с.
22. Колчунов Вл.И. Физическая суть сопротивления бетона и железобетона от дислокаций до трещин // Строительство и реконструкция. 2022. № 4(102). С. 15-35.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov. V.I. Calculation models of the force resistance of reinforced concrete. M.: ASV, 2004. 472 p.

2. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance. K: Osnova. 2009. 432 p.
3. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. M.: Stroyizdat, 1996. 410 p.
4. Veryuzhskiy Yu.V., Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Lisitsin B.M., Mashkov I.L., Yakovenko I.A. Reference manual on structural mechanics. In two volumes. M. : ASV, 2014. 432 p.
5. Kolchunov V.I., Fedorov V.S. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structur. Industrial and civil engineering, 2020. No. 8. Pp. 16–23.
6. Veryuzhskij YU.V., Kolchunov V.I. Methods of mechanics of reinforced concrete. K.: NAU, 2005. 653 p.
7. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. The results of experimental studies of structures square and box sections in torsion with bending // Building and reconstruction. 2018. No. 6(80). Pp. 32-43.
8. Bashirov H.Z., Kolchunov V.I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. Reinforced Concrete Composite Structures of Buildings and Structures. M.: ACB, 2017. 248 p.
9. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete structures erected in complex engineering and geological conditions. Kiev: Osnova, 2010. 286 p.
10. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. Resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in complex engineering and geological conditions. Kiev: Talkom, 2015. 371 p.
11. Petrov V.V. Nonlinear incremental structural mechanics. Moscow: Infra-Engineering, 2014. 480 p.
12. Kadashovich Yu.I., Novozhilov V.V. The theory of plasticity, taking into account residual microstresses // Applied mathematics and mechanics. 1958. No. 1. Pp. 78-89.
13. Baraz V.R., Levchenko V.P., Povzner A.A. Structure and physical properties of crystals Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 164 p.
14. Ostapovets A., Paydar V. Evaluation of Pyerls stress for boundary dislocations // Physics of Metals and Metal Science. 2011. No. 3. Pp. 235-241.
15. Blagoveschensky V.V., Panin I.G. Study of Frank–Read dislocation source model // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Materials of Electronics Engineering. 2012. No. 1. Pp. 40-45.
16. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Theory of Plasticity of Concrete and Reinforced Concrete. M: Stroyizdat, 1974. 316 p.
17. Mitasov V.M., Statsenko N.V. Peculiarities of Cracking Development in Reinforced Concrete Beams with Organized Cracks // Polytransport Systems. Novosibirsk: Siberian State University of Railway Transport, 2020. Pp. 230-235.
18. Mitasov V.M. Formation and development of stochastic cracks in brittle and quasi-brittle materials (on the example of reinforced concrete structures) // Natural and intellectual resources of Siberia (SIBRESURS-24-2018). Tomsk: Publishing house of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 2018. Pp. 105-109.
19. Petrov V.V., Selyaev P.V. Incremental Model of Interaction of Nonlinearly Deformable Materials with Aggressive Medium // Durability of Building Materials, Products and Constructions. Saransk: N. P. Ogarev Mordovian State University. 2014. Pp. 145-151.
20. Petrov V.V. Methods of selecting the main part of the solution in the calculation of nonlinearly deformed beams // Bulletin of the Saratov State Technical University. 2011. No. 3(61). Pp. 160-169.
21. Geniev G.A., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Nikulin A.I., Pyatikrestovsky K.P. Strength and Deformability of Reinforced Concrete Structures under Beyond Design Influences. Moscow: ABC, 2004. 216 p.
22. Kolchunov V.I. Physical essence of resistance of concrete and reinforced concrete from dislocations to cracks // Building and reconstruction. 2022. No. 4(102). Pp. 15-35.

Информация об авторе:

Колчунов Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры уникальных зданий и сооружений.

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,
ведущий научный сотрудник.

E-mail: vlik52@mail.ru

Information about author:

Kolchunov Vladimir Iv.

Southwestern state university, Kursk, Russia,
corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Unique Buildings and Structures.
Scientific Research Institute of Construction Physics RAASN, Moscow, Russia,
leading researcher.

E-mail: vlik52@mail.ru

А.В. ЛУКИНА¹, М.С. ЛИСЯТНИКОВ¹, В.А. МАРТЫНОВ¹, С.И. РОЩИНА¹
¹ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия

ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ СЫРЬЕВОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПОСЛЕ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Изучение древесины со сниженными физико-механическими характеристиками, в том числе древесины подверженной огневому воздействию, является важным шагом к бережливому и рациональному природопользованию. Пожары вызывают изменения физико-механических свойств древесины: влажности, плотности и прочности. Провели испытания на статический изгиб, сжатие и растяжение вдоль волокон. Снижение плотности и прочности в древесине, подверженной пожару происходят по всей высоте ствола. Наблюдается следующая закономерность: в комлевой части плотность выше, чем в срединной части. Снижение прочности в срединной и комлевой частях составляет: при сжатии вдоль волокон 15-18%; при растяжении вдоль волокон до 24%. Самая высокая потеря прочности произошла в испытаниях на статический изгиб: в вершинной части до 42%, в срединной части до 29%, в комлевой части до 23%. Наименьшее снижение прочности по всем испытаниям произошло в образцах, взятых из комлевой части.

Ключевые слова: древесина, деревянные конструкции, прочность, деформации.

A.V. LUKINA¹, M.S. LISYATNIKOV¹, V.M. MARTINOV¹, S.I. ROSCHINA¹
¹Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

STRENGTH AND DEFORMABILITY OF RAW WOOD AFTER FIRE EXPOSURE

Abstract. The study of wood with reduced physical and mechanical characteristics, including wood exposed to fire, is an important step towards economical and rational environmental management. Fires cause changes in the physical and mechanical properties of wood: moisture content, density and strength. Conducted tests for static bending, compression and tension along the fibers. Decrease in density and strength in fire-prone wood occurs along the entire height of the trunk. The following pattern is observed: in the butt part, the density is higher than in the middle part. The decrease in strength in the middle and butt parts is: in compression along the fibers 15-18%; when stretched along the fibers up to 24%. The highest loss of strength occurred in tests for static bending: in the top part up to 42%, in the middle part up to 29%, in the bottom part up to 23%. The smallest decrease in strength in all tests occurred in samples taken from the bottom.

Keywords: wood, wooden structures, strength, deformation.

© Лукина А.В., Лисятников М.С., Мартынов В.А., Рощина С.И., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xu K., Huang S., He F. Modeling fire hazards for the maintenance of long-term forest inventory plots in Alberta, Canada. For. Ecol. Manage. 2022. No. 513. Pp. 650-663. doi:10.1016/j.foreco.2022.120206.
2. Pontes-Lopes A., Dalagnol R., Dutra A.C., De Jesus Silva C.V., De Alencastro Graça P.M.L., de Oliveira e Cruz de L.E. Quantifying Post-Fire Changes in the Aboveground Biomass of an Amazonian Forest Based on Field and Remote Sensing Data. Remote Sens. 2022. No. 14. doi:10.3390/rs14071545.
3. Подсчитан ущерб от лесных пожаров в США [Электронный ресурс]. URL: <https://lenta.ru/news/2022/05/13/fiire/> (дата обращения: 15.10.2022).

4. В Минприроды оценили экономический ущерб от лесных пожаров в России в 2021 году [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13265341> (дата обращения: 15.10.2022).
5. Леса горят... Разрушительные пожары 2018 года – следствие глобального потепления [Электронный ресурс]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5165> (дата обращения: 15.10.2022).
6. Giddey B.L., Baard J.A., Kraaij T. Fire severity and tree size affect post-fire survival of Afrotropical forest trees. *Fire Ecol.* 2022. No. 18. doi:10.1186/s42408-022-00128-5.
7. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J., Morris S., Meyer M.D., Hood S.M. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 511. doi:10.1016/j.foreco.2022.120110.
8. Peterson D., Finney M., Skinner C., Kaufmann M., Johnson M., Shepperd W., Harrington M., Keane R., McKenzie D., Reinhardt E., Reinhardt E., Ryan K. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. USDA For. Serv. - Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR. 2004. Pp. 1-49.
9. Hugi E., Wuersch M., Risi W., Ghazi Wakili K. Correlation between charring rate and oxygen permeability for 12 different wood species. *J. Wood Sci.* 2007. No. 53. Pp. 71-75. doi:10.1007/s10086-006-0816-1.
10. Harada T. Charring of wood with thermal radiation II. Charring rate calculated from mass loss rate. *Mokuzai Gakkaishi/Journal Japan Wood Res. Soc.* 1996. No. 42. Pp. 194-201.
11. Martin F. The Hamptons at MetroWest, a case study of structural repairs to rot-damaged wood condominium buildings. *Structures Congress 2014 - Proceedings of the 2014 Structures Congress.* Pp. 1244-1254. doi:10.1007/978-3-030-42351-3_14.
12. Платонов А.Д., Курьянова Т.К., Снегирева С.Н., Макаров В.А. Изменение плотности древесины сосны, поврежденной пожаром при длительном хранении в различных условиях // *Лесотехнический журнал.* 2014. Т. 4. № 1 (13). С. 133-135. doi:10.12737/3356.
13. Galyautdinov, A., Chernykh, A., Glukhikh, V., Furman, E., Polozhencev, V. Method of Calculation and Placement of Spring Force Compensators in Log Structures of Wooden Housing Construction. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_12.
14. Sergeev M., Lukina A., Zdravovic N., Reva D. Stress–Strain State of a Wood-Glued Three-Span Beam with Layer-By-Layer Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_43.
15. Lukina A., Roshchina S., Lisyatnikov M., Zdravovic N., Popova O. Technology for the Restoration of Wooden Beams by Surface Repair and Local Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-96383-5_153.
16. Lukina A., Roshchina S., Gribanov A. Method for Restoring Destroyed Wooden Structures with Polymer Composites. 2021. doi:10.1007/978-3-030-72404-7_45.
17. Lisyatnikov M., Lukina A., Chibrikov D., Labudin, B. The Strength of Wood-Reinforced Polymer Composites in Tension at an Angle to the Fibers. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_46.
18. Roshchina S., Gribanov A., Lukin M., Lisyatnikov, M., Strelkalkin, A. Calculation of wooden beams reinforced with polymeric composites with modification of the wood compression area. *MATEC Web of Conferences* 2018. doi:10.1051/mateconf/201825104029.
19. Lukina A., Lisyatnikov M., Martinov V. [et al.]. Mechanical and Microstructural changes in post-fire raw wood. *Architecture and Engineering.* 2022. Vol. 7. No 3. Pp. 44-52. doi:10.23968/2500-0055-2022-7-3-44-52.
20. Платонов А.Д., Огурцов В.А., Туркина Ю.О. Изменение плотности древесины сосны после повреждения пожаром // *Лесотехнический журнал.* 2012. № 3 (7). С. 7-11.

REFERENCES

1. Xu K., Huang S., He F. Modeling fire hazards for the maintenance of long-term forest inventory plots in Alberta, Canada. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 513. Pp. 650-663. doi:10.1016/j.foreco.2022.120206.
2. Pontes-Lopes A., Dalagnol R., Dutra A.C., De Jesus Silva C.V., De Alencastro Graça P.M.L., de Oliveira e Cruz de L.E. Quantifying Post-Fire Changes in the Aboveground Biomass of an Amazonian Forest Based on Field and Remote Sensing Data. *Remote Sens.* 2022. No. 14. doi:10.3390/rs14071545.
3. Estimated damage from forest fires in the US. [Online]. URL <https://lenta.ru/news/2022/05/13/fiire/> (date of application: 15.10.2022).
4. The Ministry of Natural Resources estimated the economic damage from forest fires in Russia in 2021 [Online]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/13265341> (date of application: 15.10.2022).
5. The forests are burning... The devastating fires of 2018 are a consequence of global warming [Online]. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5165> (date of application: 15.10.2022).
6. Giddey B.L., Baard J.A., Kraaij T. Fire severity and tree size affect post-fire survival of Afrotropical forest trees. *Fire Ecol.* 2022. No. 18. doi:10.1186/s42408-022-00128-5.
7. Shive K.L., Wuenschel A., Hardlund L.J., Morris S., Meyer M.D., Hood S.M. Ancient trees and modern wildfires: Declining resilience to wildfire in the highly fire-adapted giant sequoia. *For. Ecol. Manage.* 2022. No. 511. doi:10.1016/j.foreco.2022.120110.

8. Peterson D., Finney M., Skinner C., Kaufmann M., Johnson M., Shepperd W., Harrington M., Keane R., McKenzie D., Reinhardt E., Reinhardt E., Ryan K. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. USDA For. Serv. - Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR. 2004. Pp. 1-49.
9. Hugi E., Wuersch M., Risi W., Ghazi Wakili K. Correlation between charring rate and oxygen permeability for 12 different wood species. J. Wood Sci. 2007. No. 53. Pp. 71-75. doi:10.1007/s10086-006-0816-1.
10. Harada T. Charring of wood with thermal radiation II. Charring rate calculated from mass loss rate. Mokuzai Gakkaishi/Journal Japan Wood Res. Soc. 1996. No. 42. Pp. 194-201.
11. Martin F. The Hamptons at MetroWest, a case study of structural repairs to rot-damaged wood condominium buildings. Structures Congress 2014 - Proceedings of the 2014 Structures Congress. Pp. 1244-1254. doi:10.1007/978-3-030-42351-3_14.
12. Platonov A.D., Kuriyanova T.K., Snegireva S.N., Makarov V.A. Izmenenie plotnosti drevesiny sosny, povrezhdennoj pozharom pri dlitel'nom hranenii v razlichnyh usloviyah [Change in the density of pine wood damaged by fire during long-term storage under various conditions]. Forestry magazine. 2014. Vol. 4. No. 1 (13). Pp. 133-135. doi:10.12737/3356. (rus).
13. Galyautdinov A., Chernykh A., Glukhikh V., Furman E., Polozhencev V. Method of Calculation and Placement of Spring Force Compensators in Log Structures of Wooden Housing Construction. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_12.
14. Sergeev M., Lukina A., Zdravovic N., Reva D. Stress-Strain State of a Wood-Glued Three-Span Beam with Layer-By-Layer Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_43.
15. Lukina A., Roshchina S., Lisiatnikov M., Zdravovic N., Popova O. Technology for the Restoration of Wooden Beams by Surface Repair and Local Modification. 2022. doi:10.1007/978-3-030-96383-5_153.
16. Lukina A., Roshchina S., Gribanov A. Method for Restoring Destroyed Wooden Structures with Polymer Composites. 2021. doi:10.1007/978-3-030-72404-7_45.
17. Lisiatnikov M., Lukina A., Chibrikov D., Labudin B. The Strength of Wood-Reinforced Polymer Composites in Tension at an Angle to the Fibers. 2022. doi:10.1007/978-3-030-85236-8_46.
18. Roschina S., Gribanov A., Lukin M., Lisiatnikov M., Strekalkin A. Calculation of wooden beams reinforced with polymeric composites with modification of the wood compression area. MATEC Web of Conferences 2018. doi:10.1051/mateconf/201825104029.
19. Lukina A., Lisiatnikov M., Martinov V. [et al.]. Mechanical and Microstructural changes in post-fire raw wood. Architecture and Engineering. 2022. Vol. 7. No 3. Pp. 44-52. doi:10.23968/2500-0055-2022-7-3-44-52.
20. Platonov A.D., Ogurtsov V.A., Turkina Yu.O. Izmenenie plotnosti drevesiny sosny posle povrezhdenija pozharom [Change in density of pine wood after fire damage]. Forestry magazine. 2012. No. 3 (7). Pp. 7-11. (rus).

Информация об авторах:

Лукина Анастасия Васильевна

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.
E-mail: pismo.33@yandex.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: mlisiatnikov@mail.ru

Мартынов Владислав Алексеевич

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир, Россия,
аспирант кафедры строительных конструкций.
E-mail: martinov3369@gmail.com

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:

Lukina Anastasiya V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, candidate of technical science, associated professor of the department of building construction.
E-mail: pismo.33@yandex.ru

Lisyatnikov Mikhail S.

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

Martinov Vladislav Al.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia, assistant of the department of building construction.
E-mail: martinov3369@gmail.com

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

В.Г. МУРАШКИН¹

¹ООО «Риэлтстрой», г. Самара, Россия

КОЭФФИЦИЕНТ СЕКУЩЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ РЕКОНСТРУИРУЕМОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Аннотация. При реконструкции, либо по истечении срока эксплуатации, а также в связи с внешним воздействием - железобетонные конструкции требуют обследования и проведения поверочных расчетов. Наиболее современные и точные расчеты построены на диаграммных методах. Существующие диаграммы деформирования бетона ориентированы на проектирование новых конструкций и не адаптированы для бетонов, изменившим свои прочностные и деформационные свойства с течением времени или от внешнего воздействия. Основной параметр, описывающий деформативность бетона это коэффициент секущего модуля. Предложена методика определения коэффициента секущего модуля. Она основана на применении экспоненциальной модели деформирования бетона. Полученный коэффициент, может быть использован для общепринятого описания диаграммы деформирования бетона. Методика рассмотрена на конкретном примере. Предложенная методика позволит значительно расширить диапазон применения диаграммных методов расчета и распространить их на бетоны после длительной эксплуатации или внешнего воздействия.

Ключевые слова: диаграмма деформирования бетона, диаграммный метод, коэффициент секущего модуля, реконструкция.

V.G. MURASHKIN¹

¹ООО «Rieltstroy», Samara, Russia

SECANT MODULUS RATIO FOR RECONSTRUCTABLE REINFORCED CONCRETE

Abstract. During the reconstruction, or upon expiration of the service life, as well as after external impact, reinforced concrete structures require examination and verification calculations. The most modern and accurate calculations are based on diagram methods. Existing diagrams of concrete deformation are focused on designing new structures and are not adapted to the concretes that have changed their strength and deformation properties over time or because of external influences. The main parameter describing the deformability of concrete is the secant modulus ratio. A technique for determining the secant modulus ratio is proposed in this arctical. The technique is based on using the exponential concrete deformation model. The obtained secant modulus ratio can be used for the widely adopted description of the concrete deformation diagram. The technique is illustrated on a specific example. The proposed technique significantly expands the application range of diagram methods and extend them to concrete after long-term operation or external impact.

Keywords: stress-strain diagram of concrete, diagram method, secant modulus ratio, reconstruction.

© Мурашкин В.Г., 2022

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мурашкин В.Г., Мурашкин Г.В., Травуш В.И. Расчет несущей способности конструкций зданий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 5 (383). С. 222-228.

2. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона и схемы напряженно-деформированного состояния // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1997. № 10. С. 4.
3. Мурашкин Г.В., Мурашкин В.Г. Моделирование диаграммы деформирования бетона // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2-14. С. 86-88.
4. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. Москва: Стройиздат, 1996. 416 с.
5. Карпенко С.Н., Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н. Диаграммный метод расчета стержневых железобетонных конструкций, эксплуатируемых при воздействии низких климатических (до -70°C) и технологических (до -150°C) температур // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 104-108.
6. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчета деформаций стержневых элементов и ее частных случаях // Бетон и железобетон. Москва. Лада. 2012. № 6. С. 20–27.
7. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаikin О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // Строительство и реконструкция. Орел: ОГТУ, 2012. № 2. С. 11–20.
8. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2012. 147 с.
9. Пособие к СП 52-101-2003. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры. Москва: ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2005. 217 с.
10. Гениев Г.А. Обобщенный критерий длительной прочности тяжелых бетонов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. 2007. № 2-14. С. 17-24.
11. Гениев Г.А. Зависимость прочности бетона от времени // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 15-17.
12. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направление развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // ПГС. 2013. № 2. С. 28-32.
13. Селяев В.П., Низина Т.А. Оценка долговечности железобетонных конструкций с применением метода деградационных функций // Второй международный симпозиум. Проблемы современного бетона и железобетона. Минск, 2009. С. 369–385.
14. Баженов Ю.М. Технология бетона. Москва: АСВ, 2003. 500 с.
15. Баженов Ю.М., Мурашкин В.Г. Учет изменения прочности бетона при проектировании железобетонных конструкций // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017. № 20. С. 244-251.
16. Петров В.В. К вопросу построения моделей расчета долговечности конструкций // Сб. Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Саранск: СГУ, 2014. С. 136-144.
17. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (ВСЕЕ2-2015) [Электронный ресурс]. URL:<https://www.researchgate.net/publication/307858837> (дата обращения: 01.11.2021).
18. Селяев В.П., Низина Т.А., Балыков А.С., Низин Д.Р., Балбакин А.В. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 1. С. 129–146.
19. Низина Т.А., Балбакин А.В. Влияние минеральных добавок на реологические и прочностные характеристики цементных композитов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2. С. 148–153.
20. Мурашкин В.Г. Особенности нелинейного деформирования бетона // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 1. С. 128-132.

REFERENCES

1. Murashkin V.G., Murashkin G.V., Travush V.I. Raschet nesushhej sposobnosti konstruksij zdaniy tekstil'noj promyshlennosti [Calculation of the bearing capacity of structures of buildings of the textile industry] Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2019. No. 5. Pp. 222-228.
2. Murashkin G.V., Murashkin V.G. Modelirovanie diagrammy deformirovaniya betona i skhemy napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 1997. No. 10. Pp. 4.
3. Murashkin G.V., Murashkin V.G. Modelirovanie diagrammy deformirovaniya betona // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. 2007. No. 2-14. Pp. 86-88.
4. Karpenko N.I. Obwie modeli mehaniki zhelezobetona. Moskva: Strojizdat, 1996. 416 p.
5. Karpenko S.N., Karpenko N.I., Yarmakovskij V.N. Diagrammnyj metod rascheta sterzhne-vykh zhelezobetonnykh konstruksij, ehkspluatiruemykh pri vozdejstvii nizkikh klimati-cheskikh (do -70°S) i tekhnologicheskikh (do -150°S) temperature [The Diagram Method of Rod's Reinforced Concrete Structures Account

which are Exploited in the Action of Low Negative Temperatures] Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2017. No. 1. Pp. 104-108.

6. Karpenko N.I., Karpenko S.N. O diagrammnoj metodike rascheta deformatsij sterzhnykh ehlementov i ee chastnykh sluchayakh // Beton i zhelezobeton. Moskva. Lad'ya. 2012. No. 6. Pp. 20–27.

7. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radajkin O.V. K opredeleniyu deformatsij izgibaemykh zhelezobetonnykh ehlementov s ispol'zovaniem diagramm deformirovaniya betona i armatury // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. Orel: OGTU, 2012. No. 2. Pp. 11–20.

8. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya [Concrete and won concrete construction. Design requirements]. Moskva: GUP NIIZhB Gosstroja Rossii, 2012. 147 p.

9. Posobie k SP 52-101-2003. Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksij iz tyazhelogo be-тона bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury [Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete without prestressing reinforcement]. Moskva: GUP NIIZhB Gosstroja Rossii, 2005. 217 p.

10. Geniev G.A. Obobshhennyj kriterij dlitel'noj prochnosti tyazhelykh betonov // Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i transport. 2007. No. 2-14. Pp. 17-24.

11. Geniev G.A. Zavisimost' prochnosti betona ot vremeni // Beton i zhelezobeton. 1993. No. 1. Pp. 15-17.

12. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Kontseptsiya i napravlenie razvitiya teorii konstruktiv-noj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovykh i sredovykh vozdeystviyakh // PGS. 2013. No.2. Pp. 28-32.

13. Selyaev V.P., Nizina T.A. Otsenka dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruksij s primeneniem metoda degradatsionnykh funktsij // Vtoroj mezhdunarodnyj simpozium. Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona. Minsk, 2009. Pp. 369–385.

14. Bazhenov Y.M. Tekhnologiya betona // Moskva: ASV, 2003. 500p.

15. Bazhenov Y.M., Murashkin V.G. Uchet izmeneniya prochnosti betona pri proektirovanii zhelezobetonnykh konstruksij // Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. 2017. No. 20. Pp. 244-251.

16. Petrov V.V. K voprosu postroeniya modelej rascheta dolgovechnosti konstruksij // Sb. Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, izdelij i konstruksij. Saransk: SGU, 2014. Pp. 136-144.

17. Mushtaq Sadiq Radhi, Shakir Ahmed Al-Mishhadani, Hasan Hamodi Joni. Effect of Age on Concrete Core Strength Results // The 2nd International Conference of Buildings, Construction and Environmental Engineering (BCEE2-2015) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307858837> (data obrashheniya: 01.11.2021).

18. Selyaev V.P., Nizina T.A., Balykov A.S., Nizin D.R., Balbalin A.V. Fraktal'nyj analiz krivykh deformirovaniya dispersno-armirovannykh melkozernistykh betonov pri szhatii [Fractal Analysis of Deformation Curves of Dispersed-Reinforced Fine-Grained Concrete under Compression]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika. 2016. No. 1. Pp. 129–146.

19. Nizina T.A., Balbalin A.V. Vliyanie mineral'nykh dobavok na reologicheskie i prochnostnye harakteristiki tsementnykh kompozitov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2012. No. 2. Pp. 148–153.

20. Murashkin V.G. Osobennosti nelinejnogo deformirovaniya betona // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2019. No.1. Pp. 128-132.

Информация об авторе:

Мурашкин Василий Геннадьевич

ООО «Риэлтстрой», г. Самара, Россия,

кандидат технических наук, доцент, заместитель директора.

E-mail: murvag@mail.ru

Information about author:

Murashkin Vasily G.

ООО «Riehlstroy», Samara, Russia,

candidate of technical sciences, docent, deputy director.

E-mail: murvag@mail.ru

С.Н. ОВСЯННИКОВ^{1,2}, О.В. ЛЕЛЮГА^{1,2}, А.С. САМОХВАЛОВ^{1,2},
Е.А. ЛЫМАРЕВА^{1,2}, Т.С. БОЛЬШАНИНА^{1,2}

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Аналитическое решение задачи прохождения звука и вибрации по конструкциям и через стыки требует определения упруго-диссипативных свойств конструкционных и герметизирующих материалов светопрозрачных конструкций: динамического модуля упругости и коэффициента потерь. В данной работе исследованы и экспериментально установлены параметры динамического модуля упругости и коэффициента потерь некоторых строительных материалов в сравнении с ранее полученными данными других авторов. Для автоматизации и повышения точности измерения модуля упругости и коэффициента потерь конструкционных материалов была использована методика измерения с применением программного обеспечения и измерительной аппаратуры Zetlab. При проведении измерений динамического модуля упругости герметизирующих материалов применялось измерительное оборудование компании LDS. Получены уточненные значения динамического модуля упругости и коэффициента потерь материалов.

Ключевые слова: звукоизоляция, динамический модуль упругости, коэффициент внутренних потерь, резонансная частота, светопрозрачные конструкции.

S.N. OVSYANNIKOV^{1,2}, O.V. LELYUGA^{1,2}, A.S. SAMOKHVALOV^{1,2},
E.A. LYMAREVA^{1,2}, T.S. BOLSHANINA^{1,2}

¹Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

²Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences, Moscow, Russia

EXPERIMENTAL STUDIES OF ELASTIC-DISSIPATIVE PROPERTIES OF STRUCTURAL AND SEALING MATERIALS OF TRANSLUCENT STRUCTURES

Abstract. The analytical solution of the problem of sound and vibration passage through structures and joints requires determining the elastic-dissipative properties of structural and sealing materials of translucent structures: the dynamic modulus of elasticity and loss factor. In this paper, the parameters of the dynamic modulus of elasticity and loss coefficient of some well-known building materials are investigated and experimentally established in comparison with previously obtained data from other authors. To automate and accurately measure the coefficient of dynamic characteristics of materials, a measurement technique was used, using Zetlab software and measuring equipment. When measuring the dynamic modulus of elasticity of sealing materials, LDS measuring equipment was used. The refined values obtained for the dynamic modulus of elasticity and the loss factor of materials allow them to be used in vibroacoustic calculations of translucent structures.

Keywords: sound insulation, dynamic modulus of elasticity, internal loss coefficient, resonance frequency, translucent structures.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова А.В., Кочкин Н.А., Шубин И.Л., Кочкин А.А. Проектирование звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов с вибропоглощением // Жилищное строительство. 2022. № 6. С. 3-7.
2. Мониц Д.В. Методология расчета звукоизоляции и разработки рациональных конструктивных решений легких ограждающих конструкций // Приволжский научный журнал. 2022. № 1 (61). С. 52-61.
3. Кочкин А.А., Шашкова Л.Э., Кочкин Н.А., Иванова А.В. Способы повышения звукоизоляции ограждающих конструкций зданий // Приволжский научный журнал. 2022. № 1 (61). С. 41-51.
4. Monich D.V., Matveeva I.V., Grebnev P.A., Kuzmin D.S. Research of the influence of geometric parameters of rooms for sound insulation of lightweight partitions // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2022. No. 3 (55). Pp.7-18.
5. Лелюга О.В. Теоретические и экспериментальные исследования виброакустических систем с малым количеством элементов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 3. С. 144-157.
6. Овсянников С.Н., Большанина Т.С. Статистическая энергетическая модель прохождения внешнего шума в помещения здания // Жилищное строительство. 2021. № 11. С. 34-39.
7. Овсянников С.Н., Самохвалов А.С. Виброакустический подход к расчету звукоизоляции многослойных остеклений. Материалы XI Международной научно-практической конференции «Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения». Томск, 2021. С. 410-416.
8. Cremer L., Heckl M., Ungar E. Structure-borne sound. Springer Verlag, 1973. 528 p.
9. Овсянников С.Н. Распространение звуковой вибрации в гражданских зданиях. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2000. 378 с.
10. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Л.: Судостроение, 1986. 368 с.
11. Юдин Е.Я., Осипов Г.Л., Федосеева Е.Н. и др. Звукопоглощающие звукоизоляционные материалы. М.: Стройиздат, 1966. 248 с.
12. Крейтан В.Г., Смирнов А.Е., Симбирский В.И. Методика и результаты исследований коэффициентов потерь на крупных бетонных образцах. Жилищно-гражданское строительство (отечественный и зарубежный опыт): Экспресс-информация. ЦНТИ Госгражданстроя. 1983. Вып. 6. С. 15-20.
13. Heckl M.A. Investigation on the vibration of grillages and other simple beam structures. J. of the Acoustical Society of America. 1964. V. 36. No. 7. Pp. 1335-1343.
14. Старцева О.В. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции перегородок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2 (39). С. 176-184.
15. Старцева О.В. Исследование звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 43-46.
16. Овсянников С.Н., Лелюга О.В., Махмудов У.А.У. Исследование модуля упругости конструкционных материалов звукоизолирующих конструкций // Материалы X Международной научно-практической конференции «Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения». Томск, 2020. С. 381-387.
17. Kirsten Th., Muller H.W. Berichte des Beirats fur Bauforschung beim Bundesminister fun Wohnungsbau, 13, Korperschall in Gebauden Berlin Ernst & Sohn, 1960.
18. Овсянников С.Н. Лелюга О.В., Махмудов У.А., Щурова Н.Е. Исследование упруго-диссипативных свойств конструкционных материалов ограждающих конструкций // Бюллетень строительной техники. 2020. № 6(1030). С. 28-31.
19. Ovsianikov S.N., Leliuga O.V., Makhmudov U.A. Experimental studies of the elastic-dissipative properties of structural materials and the calculation of sound insulation of building envelopes based on refined characteristics by the SEA method. International Scientific and Technology Conference "Far East Con". Vladivostok, 2020. Vol. 1079, 042063. 8 p. doi:10.1088/1757-899X/1079/4/042063
20. . Росин Г.С. Установка для измерений динамических характеристик упругих материалов резонансным методом // Заводская лаборатория. 1960. Т. 26. № 10. С. 1180-1181.
21. . Заборов В.И., Росин Г.С. Измерение динамических параметров звукоизолирующих материалов // Акустический журнал. 1961. Т. 7. № 1. С. 92-94.
22. Скрипченко Д.С. Исследование динамических характеристик звукоизоляционных материалов при различных видах нагрузок // Материалы II Международной научной конференция «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы». Томск, 2015. С. 139-142.
23. Овсянников С.Н., Скрипченко Д.С. Исследование звукоизоляционных свойств материалов при различных статических нагрузках // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 4 (364). С. 40-44.

24. Шубин И.Л., Скрипченко Д.С., Кочкин Н.А. Исследование динамических характеристик вибродемпфирующих материалов // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. № 6 (994). С. 18-19.

REFERENCES

1. Ivanova A.V., Kochkin N.A., Shubin I.L., Kochkin A.A. Proektirovanie zvukoizolyatsii dvoynykh ograzhdayushchikh konstruksii iz sloistykh elementov s vibropogloshcheniem [Sound insulation design for double enclosing structures made of layered elements with vibration absorption]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2022. No. 6. Pp. 3-7. (in rus).
2. Monich D.V. Metodologiya rascheta zvukoizolyatsii i razrabotki ratsional'nykh konstruktivnykh reshenii legkikh ograzhdayushchikh konstruksii [Methodology for calculating sound insulation and developing rational design solutions for lightweight building envelopes]. *Privolzhsky scientific journal*. 2022. No. 1 (61). Pp. 52-61. (in rus).
3. Kochkin A.A., Shashkova L.E., Kochkin N.A., Ivanova A.V. Sposoby povysheniya zvukoizolyatsii ograzhdayushchikh konstruksii zdaniy [Methods for improving the sound insulation of building envelopes]. *Privolzhsky scientific journal*. 2022. No. 1 (61). Pp. 41-51. (in rus).
4. Monich D.V., Matveeva I.V., Grebnev P.A., Kuzmin D.S. Research of the influence of geometric parameters of rooms for sound insulation of lightweight partitions. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2022. No. 3 (55). Pp. 7-18.
5. Lelyuga O.V. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya vibroakusticheskikh sistem s malym kolichestvom elementov [Theoretical and experimental studies of vibroacoustic systems with a small number of elements]. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 144-157. (in rus).
6. Ovsyannikov S.N., Bolshanina T.S. Statisticheskaya energeticheskaya model' prokhozhdeniya vneshnego shuma v pomeshcheniya zdaniya [Statistical energy model of the passage of external noise into the premises of the building]. *Housing construction*. 2021. No. 11. Pp. 34-39. (in rus).
7. Ovsyannikov S.N., Samokhvalov A.S. Vibroakusticheskii podkhod k raschetu zvukoizolyatsii mnogoslownykh osteklenii [Vibroacoustic approach to the calculation of sound insulation of multi-layer glazing]. *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference "Investments, urban planning, real estate as drivers of the socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population."* Tomsk, 2021. Pp. 410-416.
8. Cremer L., Heckl M., Ungar E. *Structure-borne sound*. Springer Verlag, 1973. 528 p.
9. Ovsyannikov S.N. *Rasprostraneniye zvukovoi vibratsii v grazhdanskikh zdaniyakh* [Propagation of sound vibration in civil buildings]. Tomsk: Publishing House of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2000. 378 p. (in rus).
10. Bogolepov I.I. *Promyshlennaya zvukoizolyatsiya* [Industrial soundproofing]. L.: Shipbuilding, 1986. 368 p. (in rus).
11. Yudin E.Ya., Osipov G.L., Fedoseeva E.N. etc. *Zvukopogloshchayushchie zvukoizolyatsionnye materialy* [Sound-absorbing sound-proof materials]. Moscow: Stroyizdat, 1966. 248 p. (in rus).
12. Kreitan V.G., Smirnov A.E., Simbirsky V.I. Metodika i rezul'taty issledovaniy koeffitsientov poter' na krupnykh betonnykh obraztsakh [Methodology and results of studies of loss factors on large concrete samples]. *Housing and civil construction (domestic and foreign experience): Express information*. TsNTI Gosgrazhdanstroy. 1983. Issue. 6. Pp. 15-20. (in rus).
13. Heckl M.A. Investigation on the vibration of grillages and other simple beam structures. *J. of the Acoustical Society of America*. 1964. V.36. No. 7. Pp.1335-1343.
14. Startseva O.V., Ovsyannikov S.N. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya zvukoizolyatsii peregorodok [Theoretical and experimental studies of sound insulation of partitions]. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2013. No. 2 (39). Pp. 176-184. (in rus).
15. Startseva O.V., Ovsyannikov S.N. Issledovanie zvukoizolyatsii odnosloinykh i dvukhsloinykh peregorodok [Study of sound insulation of single-layer and two-layer partitions]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2012. No. 6. Pp. 43-46. (in rus).
16. Ovsyannikov S.N., Lelyuga O.V., Makhmudov U.A.U. Issledovanie modulya uprugosti konstruksionnykh materialov zvukoizoliruyushchikh konstruksii [Study of the modulus of elasticity of structural materials of soundproof structures]. *Materialy X Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak draivery sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya»* [Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference "Investments, construction, real estate as drivers of the socio-economic development of the territory and improving the quality of life of the population"]. Tomsk, 2020. Pp. 381-387.
17. Kirsten Th., Muller H. W. *Berichte des Beirats fur Bauforschung beim Bundesminister fun Wohnungsbau*, 13, Korperschall in Gebauden Berlin Ernst & Sohn, 1960.
18. Ovsyannikov S.N., Lelyuga O.V., Makhmudov U.A., Shchurova N.E. Issledovanie uprugo-dissipativnykh svoystv konstruksionnykh materialov ograzhdayushchikh konstruksii [Investigation of elastic-dissipative properties of structural materials of building envelopes]. *Bulletin of building technology*. 2020. No. 6(1030). Pp. 28-31. (in rus).

19. Ovsiannikov S.N., Leliuga O.V. and Makhmudov U.A. Experimental studies of the elastic-dissipative properties of structural materials and the calculation of sound insulation of building envelopes based on refined characteristics by the SEA method. International Scientific and Technology Conference "Far East Con". Vladivostok, 2020. Vol. 1079, 042063. 8 p. doi:10.1088/1757-899X/1079/4/042063

20. Rosin G.S. Ustanovka dlya izmerenii dinamicheskikh kharakteristik uprugikh materialov rezonansnym metodom [Installation for measuring the dynamic characteristics of elastic materials by the resonance method]. Zavodskaya laboratoriya. 1960. Vol. 26. No. 10. Pp. 1180–1181. (in rus).

21. Zaborov V.I., Rosin G.S. Izmerenie dinamicheskikh parametrov zvukoizoliruyushchikh materialov [Measurement of dynamic parameters of soundproofing materials] // Akusticheskiy zhurnal. 1961. Vol. 7. No. 1. Pp. 92–94. (in rus).

22. Skripchenko D.S. Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik zvukoizolyatsionnykh materialov pri razlichnykh vidakh nagruzok [Study of the dynamic characteristics of soundproof materials under various types of loads] Materialy II Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsiya «Molodezh', nauka, tekhnologii: novye idei i perspektivy» [Proceedings of the II International Scientific Conference "Youth, Science, Technology: New Ideas and Perspectives"]. Tomsk, 2015. Pp. 139–142.

23. Ovsyannikov S.N., Skripchenko D.S. Issledovanie zvukoizolyatsionnykh svoystv materialov pri razlichnykh staticheskikh nagruzkakh [Research of sound-proof properties of materials under various static loads. Izvestiya of higher educational institutions]. Technology of the textile industry. 2016. No. 4 (364). Pp. 40-44. (in rus).

24. Shubin I.L., Skripchenko D.S., Kochkin N.A. Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik vibrodempfiruyushchikh materialov [Study of the dynamic characteristics of vibration-damping materials // BST: Bulletin of construction equipment]. 2017. No. 6 (994). Pp. 18-19. (in rus).

Информация об авторах:

Овсянников Сергей Николаевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Архитектура гражданских и промышленных зданий». Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия, главный научный сотрудник.
E-mail: ovssn@tsuab.ru

Лелюга Ольга Владимировна

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий». Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия, старший научный сотрудник.
E-mail: olga.startseva27@gmail.com

Самохвалов Александр Сергеевич

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, старший преподаватель кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий». Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия, ведущий инженер.
E-mail: tomsk117@mail.ru

Лымарева Евгения Александровна

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, старший преподаватель кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий». Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия, инженер.
E-mail: evgeniya.lymareva@gmail.com

Большанина Таисия Сергеевна

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск, Россия, старший преподаватель кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий». Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия, инженер.
E-mail: bolshandinats@gmail.com

Information about authors:

Ovsyannikov Sergey N.

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia,
doctor of technical sciences, professor, head of the department «Architecture of Civil and Industrial Buildings».
Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences, Moscow, Russia
chief scientific researcher.
E-mail: e-mail: ovssn@tsuab.ru

Lelyuga Ol'ga V.

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of «Architecture of Civil and Industrial Buildings».
Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences, Moscow, Russia,
senior researcher researcher.
E-mail: olga.startseva27@gmail.com

Samokhvalov Aleksandr S.

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia,
senior lecturer of the department of «Architecture of Civil and Industrial Buildings».
Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences, Moscow, Russia,
leading engineer.
E-mail: tomsk117@mail.ru

Lymareva Evgenia Al.

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia,
senior lecturer of the department of «Architecture of Civil and Industrial Buildings».
Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences, Moscow, Russia,
engineer.
E-mail: evgeniya.lymareva@gmail.com

Bolshanina Taisya S.

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia,
senior lecturer of the department of «Architecture of Civil and Industrial Buildings».
Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and building sciences, Moscow, Russia,
engineer.
E-mail: bolshaninats@gmail.com

Р.Б. ОРЛОВИЧ¹, С.С. ЗИМИН²

¹ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия

²ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург, Россия

УСТРОЙСТВО СКВОЗНЫХ ПРОЕМОВ В КАМЕННЫХ СВОДАХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

***Аннотация.** Статья посвящена проблеме устройства сквозных проемов в каменных сводах реконструируемых исторических зданий. Необходимость в таких проемах возникает согласно проекту применения в целях размещения и прокладки новых коммуникационных и инженерных систем, например, лифтов, сантехнического оборудования, систем водоснабжения, вентиляции и др. Приводится анализ напряженного состояния модели каменной стены с прямоугольным и круглым проемами, а также влияния анизотропии прочности каменной кладки на ее несущую способность в зоне проемов. Отмечается, что устройство проемов связано с компромиссом между требованиями проекта применения, касающихся размеров, формы и мест расположения проемов в сводах, и условиями их безопасной эксплуатации. С этой целью необходим детальный анализ сложного напряженного состояния сводов с использованием существующих программных комплексов. При этом особое внимание следует обращать на минимизацию растягивающих напряжений, вызывающих трещины особенно в углах прямоугольных проемов. Отмечаются трудности связанные с применением критериев прочности в условиях сложного напряженного состояния сводов в зоне проемов. Приводятся примеры практической реализации сквозных проемов в исторических цилиндрических и крестовых каменных сводах с детальным анализом их напряженного состояния, а также влияния на несущую способность. Подчеркивается, что наиболее оптимальной локализацией проемов являются наименее напряженные участки сводов, например, распалубки вблизи расположенных под ними стенами. Анализируются способы усиления сводов, ослабленных проемами. Предпочтение отдается их армированию либо усилению с помощью железобетонных поясов. Обсуждаются технологические аспекты выполнения проемов. Обращается также внимание на необходимость мониторинга сводов в процессе выполнения проемов.*

***Ключевые слова:** каменные своды, сквозные проемы, несущая способность, способы усиления, мониторинг.*

R.B. ORLOVICH¹, S.S. ZIMIN²

¹ООО «PI Georekonstrukcia», Saint-Petersburg, Russia

²Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

ARRANGING OF THROUGH OPENINGS IN THE STONE VAULT OF HISTORICAL BUILDINGS

***Abstract.** The article is devoted to the problem of arranging through openings in the stone vaults of reconstructed building structures. The need for such openings arises in connection with the use of new communication and engineering systems in opening cases and laying, for example, elevators, plumbing equipment, water supply systems, ventilation, etc. An analysis is made of the severity of the state of a stone wall with a rectangular and checked openings, as well as a study of anisotropy the strength of the stone lining on its bearing capacity in the presence of openings. It is noted that the use of the device of openings is possible with a compromise between the requirements of the project, the allowable sizes, shapes and locations of openings in the vaults, and the likelihood of their use. For this purpose, a detailed analysis of the complex acute condition of the vaults using modern software systems is required. In this case, special attention should be paid to minimizing tensile strains that cause cracks,*

especially at the corners of rectangular openings. There are cases associated with the detection of violations in difficult conditions of the stress state of blood coagulation in the presence of openings. Use examples of the practical implementation of through openings in the main cylindrical and cross stone vaults with a detailed analysis of their state of sharpness, as well as a study of the bearing capacity. It is emphasized that the most common manifestations of openings are minor tense sections of vaults, for example, stripping due to the proximity of walls under them. The elimination of vaults weakened by openings is analyzed. Preference is given to their reinforcement or reinforcement using reinforced concrete belts. Technological aspects of making openings are discussed. Attention is also drawn to monitoring the progress of openings.

Keywords: stone vaults, through openings, bearing capacity, strengthening methods, monitoring.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование деформаций, расчет несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. Методические рекомендации. М., 1989.
2. Бернгард В.Р. Арки и своды: Руководство по устройству и расчету арочных и сводчатых перекрытий. С-Петербург, 1901. 128 с.
3. Лахтин Н.К. Расчет арок и сводов. Руководство к аналитическому и графическому расчету арочных и сводчатых перекрытий. М., 1911.
4. Ahnert R., Krause K. H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1,2. Berlin, 2009.
5. Гроздов В.Т. «Кирпичные своды перекрытий старых жилых и общественных зданий». С.-Петербург, 1993.
6. Зимин С.С., Беспалов В.В., Скрипченко И.В. Влияние распалубок на напряженное состояние каменных сводов // Материалы VII международной научно-практической конференции «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения». 2017. С. 133-144.
7. Деркач В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки при сжатии // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2011. № 3(130). С. 181-186.
8. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. Высшая школа, М., 1983. 304 с.
9. Деркач В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки на растяжение при раскалывании // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2012. № 2 (147). С. 259-264.
10. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages ASTM E519-02: ASTM Committee C15. 2003. 5 p.
11. Diagonal tensile strength tests of small walls specimens. TC76-LUM: RILEM LUMB 6 1991. – Bagneux: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, 1991. 2 p.
12. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. М., Стройиздат, 1987.
13. Павлов В.В., Харьков Е.В. Восстановление работоспособности каменных арок и сводов // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 65-70.
14. Соколов Б.С., Павлов В.В., Хорьков Е.В. Конструктивно-технологические особенности восстановления эксплуатационной пригодности каменных сводчатых покрытий: сб. ст. IV Международной (X Всероссийской) конференции НАСКР-2018. Чувашский университет. Чебоксары. 2018. С. 323-329.
15. Орлович Р.Б., Чыкалиди В.Х. Способы усиления цилиндрических каменных сводов. Строительство и реконструкция. № 1 (69). 2017.
16. Орлович Р.Б., Деркач В.А. Зарубежный опыт армирования каменных конструкций // Жилищное строительство. 2011. № 11.
17. Biolzi L., Ghittoni C., Fedele R., Rosati G. Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding // Construction and Building Materials. 2013. No. 41. Pp. 182–190.
18. ICDMOS. Recommendations for the analysis, consevvation and structural of architectural heritage. International Scientific Committee for Analysis and Restovation of Structures of Architectural Heritage, 2003.
19. ГОСТ Р 59437-2021 Сохранение памятников каменного зодчества. Общие требования.
20. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Эмпирические критерии прочности каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния. Строительство и реконструкция. 2010. № 6 (32). С. 8-12.
21. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Критерии прочности, применяемые в зарубежной практике расчета и проектирования каменных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. № 6. 2011. С. 101-106.
22. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Применение классических теорий прочности для расчета каменной кладки в условиях сложного напряженного состояния // Строительство и реконструкция. 2011. № 1 (33). С. 35-40.

REFERENCES

1. Issledovanie deformacij, raschet nesushchej sposobnosti i konstruktivnoe ukreplenie drevnih raspornyh sistem. Metodicheskie rekomendacii. M., 1989.
2. Bergard V.R. Arki i svody: Rukovodstvo po ustrojstvu i raschetu arochnyh i svodchatyh perekrytij. S.-Peterburg, 1901. 128 p.
3. Lahtin N.K. Raschet arok i svodov. Rukovodstvo k analiticheskomu i graficheskomu raschetu arochnyh i svodchatyh perekrytij. M., 1911.
4. Ahnert R., Krause K. H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1,2. Berlin, 2009.
5. Grozdov V.T. «Kirpichnye svody perekrytij staryh zhilyh i obshchestvennyh zdaniy». S.-Peterburg, 1993.
6. Zimin S.S., Bepalov V.V., Skripchenko I.V. Vliyanie raspalubok na napryazhennoe sostoyanie kamennyh svodov // Materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Obsledovanie zdaniy i sooruzhenij: problemy i puti ih resheniya». 2017. Pp. 133-144.
7. Derkach V.N. Anizotropiya prochnosti kamennoj kladki pri szhatii // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie. 2011. No. 3(130). Pp. 181–186.
8. Polyakov S.V. Sejsmostojkie konstrukcii zdaniy. Vysshaya shkola, M., 1983. 304 p.
9. Derkach V.N. Anizotropiya prochnosti kamennoj kladki na rastyazhenie pri raskalyvanii // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Nauka i obrazovanie. 2012. No. 2 (147). Pp. 259-264.
10. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages ASTM E519-02: ASTM Committee C15. 2003. 5 p.
11. Diagonal tensile strength tests of small walls specimens. TC76-LUM: RILEM LUMB 6 1991. – Bagnex: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures, 1991. 2 p.
12. Fizdel' I.A. Defekty v konstrukciyah, sooruzheniyah i metody ih ustraneniya. M., Strojizdat, 1987.
13. Pavlov V.V., Har'kov E.V. Vosstanovlenie rabotosposobnosti kamennyh arok i svodov // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017. No. 6(65). Pp. 65-70.
14. Sokolov B.S., Pavlov V.V., Hor'kov E.V. Konstruktivno-tekhnologicheskie osobennosti vosstanovleniya ekspluatsionnoj prigodnosti kamennyh svodchatyh pokrytij: sb. st. IV Mezhdunarodnoj (H Vserossijskoj) konferencii NASKR-2018. CHuvashskij universitet. CHEboksary. 2018. Pp. 323-329.
15. Orlovich R.B., CHykalidi V.H. Sposoby usileniya cilindricheskikh kamennyh svodov. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. No. 1 (69) 2017.
16. Orlovich R.B., Derkach V.A. Zarubezhnyj opyt armirovaniya kamennyh konstrukcij // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2011. No. 11.
17. Biolzi L., Ghittoni C., Fedele R., Rosati G. Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding. Construction and Building Materials 2013. No. 41. Pp. 182–190.
18. ICDMOS. Recommendations for the analysis, consevvation and structural of architectural heritage. International Scientific Committee for Analysis and Restovation of Structures of Architectural Heritage, 2003.
19. GOST R 59437-2021 Sohranenie pamyatnikov kamennogo zodchestva. Obshchie trebovaniya.
20. Derkach V.N., Orlovich R.B. Empiricheskie kriterii prochnosti kamennoj kladki v usloviyah slozhnogo napryazhennogo sostoyaniya. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2010. No. 6 (32). Pp. 8-12.
21. Orlovich R.B., Derkach V.N. Kriterii prochnosti, primenyaemye v zarubezhnoj praktike rascheta i proektirovaniya kamennyh konstrukcij. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. No. 6. 2011. Pp. 101-106.
22. Orlovich R.B., Derkach V.N. Primenenie klassicheskikh teorij prochnosti dlya rascheta kamennoj kladki v usloviyah slozhnogo napryazhennogo sostoyaniya. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2011. No. 1 (33). Pp. 35-40.

Информация об авторах:

Орлович Роман Болеславович

ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия,
доктор технических наук, профессор, научный консультант.
E-mail: orlowicz@mail.ru

Зимин Сергей Сергеевич

ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия,
кандидат технических наук, доцент Высшей школа промышленно-гражданского и дорожного строительства
Инженерно-строительного института СПбПУ.
E-mail: zimin_sergei@mail.ru

Information about authors:

Orlovich Roman B.

Chief Engineer of the company «PI Georekonstrukciya», Saint-Petersburg, Russia,
doctor of technical sciences, professor, scientific consultant.

E-mail: orlowicz@mail.ru

Zimin Sergey S.

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia,
candidate of technical sciences, assistant professor of the Higher School Industrial, Civil and Highway Engineering of
the Civil Engineering Institute.

E-mail: zimin_sergei@mail.ru

В.В. ТУР¹, В.В. НАДОЛЬСКИЙ¹

¹Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. Расчётные классические модели сопротивления, вносимые в нормативные документы, подтверждаются большим количеством теоретических и экспериментальных исследований с последующим сравнением с существующим опытом проектирования. Однако в современных условиях быстрого совершенствования материалов и технологий всё шире используют новые оригинальные конструктивные формы, для которых расчётные модели не установлены или не имеют достаточно подтверждения. Для преодоления этих трудностей и ввиду высокой стоимости испытаний все большее распространение получают численные методы анализа (моделирования, симуляций) поведения строительных конструкций или отдельного элемента конструкции. Однако реализация проектирования стальных конструкций на основе численных моделей в первую очередь сдерживается отсутствием единых подходов к их разработке, что заключается в отсутствии верифицированных рекомендаций по назначению таких параметров, как описание диаграмм деформирования стали, размеров конечных элементов, формы и значений несовершенств и т.д. Второй важной проблемой является отсутствие формата безопасности и значений частных коэффициентов. В статье обоснованы области применения метода проектирования на основе численных моделей сопротивления, систематизированы факторы, влияющие на неопределённость значения сопротивления, и сформулированы необходимые этапы развития метода проектирования на основе численных моделей сопротивления.

Ключевые слова: численная модель сопротивления, формат безопасности, неопределённость, метод конечных элементов.

V.V. TUR¹, V.V. NADOLSKI¹

¹Brest State Technical University, Brest, Belarus

THE CONCEPT OF DESIGN OF BUILDING STRUCTURES BASED ON NUMERICAL RESISTANCE MODELS

Abstract. A large number of theoretical and experimental studies confirms the classical resistance models introduced into standards. However, in modern conditions of rapid improvement of materials and technologies, new original design forms are increasingly being used, for which calculation models have not been established or do not have sufficient confirmation. To overcome these difficulties and due to the high cost of testing, numerical methods of analysis (modeling, simulations) of the behavior of building structures or a separate structural element are becoming increasingly widespread. However, the implementation of the design of steel structures based on numerical models is primarily constrained by the lack of unified approaches to development. There are no verified recommendations on the assignment of parameters of the numerical model, such as the description of steel deformation diagrams, recommendations on the assignment of the dimensions of the final elements, recommendations on the assignment of the shape and values of imperfections, etc. The second important problem is the lack of a safety format and the values of partial factors. The article substantiates the areas of application of the design method based on numerical resistance models, systematizes the factors affecting the uncertainty of the resistance and formulates the necessary stages of development of the design method based on numerical resistance models.

Keywords: numerical resistance model, safety format, uncertainty, finite element method.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельмутер А.В., Тур В.В. Готовы ли мы перейти к нелинейному анализу при проектировании? // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 86-102.
2. Кузнецов Д.Н., Емельянов Д.И., Павленко Т.М. Силовая сэндвич-панель поэлементной сборки // *Строительная механика и конструкции*. 2020. № 1(24). С. 70-84.
3. Netu M., Eli M. Design of the Composite Steel-Glass Beams with Semi-Rigid Polymer Adhesive Joint // *Journal of civil engineering and architecture*. 2012. No. 6. Pp. 1059-1069.
4. Kövesdi B., Kuhlmann U., Dunai L. Combined shear and patch loading of girders with corrugated webs // *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2010. No. 54(2). Pp. 79–88. ISSN 15873773.
5. Саиян С.Г., Паушкин А.Г. Численное параметрическое исследование напряженно-деформированного состояния двутавровых балок с различными типами гофрированных стенок // *Вестник МГСУ*. 2021. № 6 (16). С. 676-687.
6. Макеев С.А., Силина Н.Г. Разработка методики уточненного расчета гофробалок на общую устойчивость // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 12. С. 52-60.
7. Verweij J.G. Cellular beam-columns in portal frame structures. Delft University of Technology, 2010. 215 p.
8. Рекомендации по проектированию и применению стальных балок с перфорированной стенкой. ЦНИИПроекстальконструкция. М., 1991. 76 с.
9. Притыкин А.И., Мисник А.В., Лаврова А.С. Особенности расчета перфорированных балок МКЭ // *Известия КГТУ*. 2016. № 43. С. 249–259.
10. Надольский В.В. Анализ расчетных моделей сопротивления локальной нагрузке стальных элементов // *Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура*. 2016. № 1(97). С. 167–171.
11. Мартынов Ю.С., Лагун Ю.И., Надольский В.В. Модели сопротивления сдвигу стальных элементов, учитывающие потерю местной устойчивости стенки // *Металлические конструкции*. 2012. Том 18. № 2. С. 111–122.
12. Сидоров В.Н. Бадьина Е.С. Нелокальные модели демпфирования в динамических расчетах конструкций из композитных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 9. С. 66-70.
13. Надольский В.В., Подымако В.И. Оценка несущей способности стальной балки методом конечных элементов при совместном действии локальных и сдвиговых усилий // *Строительство и реконструкция*. 2022. № 2 (100). С. 26-43.
14. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Издательство СКАД СОФТ, 2011. 732 с. ISBN 978-5-94074-710-9.
15. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Hidden safety in structural design codes // *Engineering Structures*. 2021. Pp. 1059-1069.
16. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Über den Umgang mit versteckten Sicherheiten - Eine Fallstudie am Windlastmodell des Eurocode // *Baustatik – Baupraxis* 14. 2020. Pp. 1059-1069.
17. Крылов А.С. Экспериментальная оценка точности расчетов стальных балок при различных граничных условиях // *Строительство и реконструкция*. 2019. № 1(81). С. 48-55.
18. JCSS Probabilistic Model Code // Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. 2001. Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. –Date of access: 15.01.2016.
19. Надольский В.В. Мартынов Ю.С. Оценка ошибок моделей сопротивления сдвигу, принятых в EN 1993-1-5 и СНиП II-23 // *Вестник МГСУ*. 2013. Vol. 5. Pp. 7–20. doi:10.22227/1997-0935.2013.5.7-20.
20. Nadolski V., Sykora M. Uncertainty in Resistance Models for Steel Members // *Trans. VŠB – Tech. Univ. Ostrava, Civ. Eng. Ser.* 2015. Vol. 14. No. 2. Pp. 26–37,
21. MacLeod I. Modern Structural Analysis: Modelling Process and Guidance // Thomas Telford, Reston, VA, 2005. 206 p.
22. Sykora M. Holicky M. Assessment of Uncertainties in Mechanical Models // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 378. Pp. 13–18.
23. Weisberg M. Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World // Oxford University Press, Oxford, UK, 2013. 224 p.
24. Rogač M., Aleksić S., Lučić D. Influence of patch load length on resistance of I-girders. Part-II: Numerical research // *Journal of Constructional Steel Research*. 2021. Vol. 176. Pp. 106-138. ISSN 0143-974X.

REFERENCES

1. Perel'muter A.V., Tur V.V. Gotovy li my perejti k nelinejnomu analizu pri proektirovanii? [Are we ready to switch to nonlinear analysis in the design?] // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 86-102.

2. Kuznecov D.N., Emel'janov D.I., Pavlenko T.M. Silovaja sjendvich-panel' pojelementnoj sborki [Power sandwich panel of piecemeal assembly] // Stroitel'naja mehanika i konstrukcii. 2020. No. 1(24). Pp. 70-84.
3. Netu M., Eli M. Design of the Composite Steel-Glass Beams with Semi-Rigid Polymer Adhesive Joint // Journal of civil engineering and architecture. 2012. No. 6. Pp. 1059-1069.
4. Kövesdi B., Kuhlmann U., Dunai L. Combined shear and patch loading of girders with corrugated webs // Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2010. No. 54(2). Pp. 79–88. ISSN 15873773.
5. Saijan S.G., Paushkin A.G. Chislennoe parametricheskoe issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija dvutavrovyyh balok s razlichnymi tipami gofirovannyh stenok [Numerical parametric study of the stress-strain state of I-beams with various types of corrugated walls] // Vestnik MGSU. 2021. No. 6(16). Pp. 676-687.
6. Makeev S.A., Silina N.G. Razrabotka metodiki utochnennogo rascheta gofrobalk na obshhuju ustojchivost' [Development of a methodology for the refined calculation of corrugated rollers for overall stability] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. No. 12. Pp.52-60.
7. Verweij J.G. Cellular beam-columns in portal frame structures. Delft University of Technology, 2010. 215 p.
8. Rekomendacii po proektirovaniju i primeneniju stal'nyh balok s perforirovannoj stenkoj [Recommendations for the design and application of steel beams with a perforated wall]. CNIIProekstal'konstrukcija. M., 1991. 76 p.
9. Pritykin A.I., Misnik A.V., Lavrova A.S. Osobennosti rascheta perforirovannyh balok MKJe [Features of calculation of perforated beams of the FEM] // Izvestija KGTU. 2016. No. 43. Pp. 249–259.
10. Nadol'skij V.V. Analiz raschetnyh modelej soprotivlenija lokal'noj nagruzke stal'nyh jelementov [Analysis of calculated models of resistance to local load of steel elements] // Vestnik BrGTU. 2016. No. 1(97): Stroitel'stvo i arhitektura. Pp. 167–171.
11. Martynov Ju.S., Lagun Ju.I., Nadol'skij V.V. Modeli soprotivlenija sdvigu stal'nyh jelementov, uchityvajushhie poterju mestnoj ustojchivosti stenki [Models of shear resistance of steel elements, taking into account the loss of local stability of the walls] // Metallicheskie konstrukcii. 2012. Vol. 18. No. 2. Pp. 111–122.
12. Sidorov V. N. Bad'ina E.S. Nelokal'nye modeli dempfirovanija v dinamicheskikh raschetah konstrukcij iz kompozitnyh materialov [Non-local damping models in dynamic calculations of structures made of composite materials] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2021. No. 9. Pp. 66-70.
13. Nadol'skij V.V., Podymako V.I. Ocenka nesushhej sposobnosti stal'noj balki metodom konechnykh jelementov pri sovместном dejstvii lokal'nyh i sdvigovyh usilij [Evaluation of the bearing capacity of a steel beam by the finite element method under the combined action of local and shear forces] // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. No. 2 (100). Pp.26-43.
14. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost'ju ih analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis.]. M.: Izdatel'stvo SKAD SOFT, 2011. 732 p. ISBN 978-5-94074-710-9.
15. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Hidden safety in structural design codes // Engineering Structures. 2021. Pp. 1059-1069.
16. Teichgräber M., Köhler J., Straub D. Über den Umgang mit versteckten Sicherheiten - Eine Fallstudie am Windlastmodell des Eurocode. Baustatik. Baupraxis 14. 2020. Pp. 1059-1069.
17. Krylov A. S. Jeksperimental'naja ocenka tochnosti raschetov stal'nyh balok pri razlichnyh granichnyh uslovijah [Experimental evaluation of the accuracy of calculations of steel beams under various boundary conditions] // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2019. No. 1(81). Pp. 48-55.
18. JCSS Probabilistic Model Cod. Joint Committee of Structural Safety [Electronic resource]. 2001. Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. Date of access: 15.01.2016.
19. Nadol'skij V.V. Martynov Ju.S. Ocenka oshibok modelej soprotivlenija sdvigu, prinjatyh v EN 1993-1-5 i SNIIP II-23 [Estimation of errors of shear resistance models adopted in EN 1993-1-5 and SNIIP II-23] // Vestnik MGSU. 2013. Vol. 5. Pp. 7–20. doi:10.22227/1997-0935.2013.5.7-20.
20. Nadolski V., Sykora M. Uncertainty in Resistance Models for Steel Members // Trans. VŠB . Tech. Univ. Ostrava, Civ. Eng. Ser. 2015. Vol. 14. No. 2. Pp. 26–37.
21. MacLeod I. Modern Structural Analysis: Modelling Process and Guidance // Thomas Telford, Reston, VA, 2005. 206 p.
22. Sykora M., Holicky M. Assessment of Uncertainties in Mechanical Models // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 378. Pp.13–18.
23. Weisberg M. Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World // Oxford University Press, Oxford, UK, 2013. 224 p.
24. Rogač M., Aleksić S., Lučić D. Influence of patch load length on resistance of I-girders. Part-II: Numerical research // Journal of Constructional Steel Research. 2021. Vol. 176. Pp. 106 - 138. ISSN 0143-974X.

Информация об авторах:

Тур Виктор Владимирович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии бетона и строительных материалов».
E-mail: profturvic@gmail.com

Надольский Виталий Валерьевич

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологии строительного производства».
E-mail: nadolskivv@gmail.ru

Information about authors:

Tur Viktor V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
doctor of technical sciences, professor, head of the department of Concrete Technology and Building Materials.
E-mail: profturvic@gmail.com

Nadolski Vitali V.

Brest State Technical University, Brest, Belarus,
candidate of technical science (PhD), docent, associated professor of the department of Building constructions.
E-mail: nadolskivv@mail.ru

Н.Г. ЦАРИТОВА¹, А.И. КУРБАНОВ¹, А.А. КУРБАНОВА¹,

¹ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск, Россия

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЗДАНИЯ НА ОСНОВЕ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ КАРКАСОВ

***Аннотация.** В строительной отрасли все чаще появляются здания, обеспечивающие себя энергией. В статье рассматриваются формообразующие возможности кинематической системы, представлены решетки и получаемые из них объемно-пространственные формы. Особое внимание уделено цилиндрической поверхности, геометрическая неизменяемость ее обеспечивается жесткостью контура и пространственной формой поверхности центральной части. Автрами статьи предложено общественное здание на основе трансформируемого каркаса – это быстровозводимая и легкая пространственная конструкция, которая будет удовлетворять трем главным требованиям современности: энергосбережение, экономичность и экологичность. Создана трехмерная модель конструкции, рассмотренная в двух состояниях: до возведения (плоская прямолинейная решетка) и после возведения. Выполнен подбор ограждающих конструкций на основе теплотехнического расчета, а в качестве дополнительных панелей используются солнечные батареи. Предложено цветовое решение фасадов. Световые проемы треугольной формы на боковом фасаде и трапециевидные с треугольными на торцах здания. Такое решение обусловлено поддержанием ритмичности конструкций и сэндвич-панелей, установки дополнительных внутренних опор. Отсутствие внутренних опор в здании обеспечивает свободу в вопросах планировки. Для выработки альтернативного вида энергии и экономии на здание установлены солнечные батареи так чтобы не нарушать общую концепцию фасадов.*

Ключевые слова: трансформируемый каркас, формообразование, энергоэффективность.

N.G. TSARITOVA¹, A.I. KURBANOV¹, A.A. KURBANOVA¹

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS BASED ON TRANSFORMABLE FRAMES

***Abstract.** In the construction industry, buildings that provide themselves with energy are increasingly appearing. The article discusses the formative capabilities of the kinematic system, presents lattices and the three-dimensional shapes obtained from them. Special attention is paid to the cylindrical surface, its geometric immutability is ensured by the rigidity of the contour and the spatial shape of the surface of the central part. The authors of the article proposed a public building based on a transformable frame – it is a quick-erect and lightweight spatial structure that will meet the three main requirements of modernity: energy conservation, eco-nomicity and environmental friendliness. Have created a three-dimensional model of the structure, viewed in two states: before construction (flat rectilinear lattice) and after construction. The selection of enclosing structures based on thermal engineering calculations was carried out, and solar panels are used as additional panels. The color scheme of the facades is proposed. The light openings are triangular in shape on the side facade and trapezoidal with triangular at the ends of the building. This solution is due to maintaining the rhythm of structures and sandwich panels, installation of additional internal supports. The absence of internal supports in the building provides freedom in planning issues. To generate an alternative type of energy and save money, solar panels are installed on the building so as not to violate the general concept of facades.*

Keywords: transformable frame, shaping, energy efficiency.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семикин П.П., Бацунова Т.П. Динамическая архитектура. Кинетические фасады // Известия вузов. Строительство. 2018. № 6 (714). С. 86-96.
2. Сологубов Ю.П., Гордеева Т.Е. Анализ планировочных решений жилых зданий по энергоэффективности // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 4(21). С. 104-107. doi:10.17673/Vestnik.2015.04.14..
3. Кирюдчева А.Е., Шишкина В.В. Энергоэффективные фасадные системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4(31). С. 248-262.
4. Paiho S., Seppä I.P., Jimenez C. An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // Sustainable Cities and Society. 2015. Vol. 15. Pp. 75-85. doi:10.1016/j.scs.2014.12.005.
5. Buzalo N.A., Versilov S.O., Platonova I., Tsaritova N. (2020). Energy efficient building structures based on gridshell. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 698. doi:10.1088/1757-899x/698/2/022010.
6. Abramczyk J. Building Structures Roofed with Multi-Segment Corrugated Hyperbolic Paraboloid Steel Shells// Procedia Engineering. 2016. Vol. 161. Pp. 1545–1550. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.624.
7. Zeng Q., Mao T., Li H., Peng Y. Thermally insulating lightweight cement-based composites incorporating glass beads and nano-silica aerogels for sustainably energy-saving buildings // Energy and Buildings. 2018. Vol. 174. Pp. 97-110 doi:10.1016/j.enbuild.2018.06.031.
8. Tsaritova N., Tumasov A., Kalinina A., Kosogov V. Possibilities of Architectural and Constructive Shaping of Spatial Forms from Rod Arches // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 160 LNCE. Pp. 229-235. doi:10.1007/978-3-030-75182-1_31.
9. Травуш В.И., Антошкин В.Д., Ерофеев В.Т., Гудожников С.С. Современные конструктивно-технологические решения сферических оболочек // Строительство и реконструкция. 2012. № 6(44). С. 45-55.
10. Тумасов А.А., Царитова Н.Г., Курбанов А.И., Калинина А.А. Геометрические параметры стержневых трансформируемых арочных систем // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5. № 2. С. 135-140. doi:10.12737/article_59806881305c30.67459418.
11. Петров С.М. Автоматизированное проектирование и расчет трехслойных панелей с учетом силового и температурного воздействия // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 1(246). С. 23-28.
12. Плотников В.В., Ботаговский М.В. Инновационные ограждающие конструкции и материалы для реализации ресурсоэнергоэффективного строительства // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4(12). С. 35-44.
13. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4-12.
14. Горелик П.И., Золотова Ю.С. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3(18). С. 93-103.
15. Панченко В.А., Стребков Д.С., Персиц И.С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 19(183). С. 55-60. doi:10.15518/isjaee.2015.19.007.
16. Панченко В.А. Моделирование теплофотоэлектрической кровельной панели для энергоснабжения объектов // Строительство и техногенная безопасность. 2018. № 13(65). С. 143-157.
17. Хуторной А.Н., Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О., Кузнецова А.А. Эффективность использования солнечных вакуумных трубчатых коллекторов в природно-климатических условиях Якутии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3(56). С. 156-165.
18. Кузьева Н.А., Горбунова В.С. Купольные конструкции как способ реализации новых архитектурных идей // Perspectives of Science and Education. 2014. № 1. С. 269-272.
19. Chandiwala A. Analysis and design of steel dome using software // International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). eSAT Publishing House, Bangalore, India. 2014. Vol. 3. Issue 3. Pp. 35–39. https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0303006
20. Jadhav H.S., Ajit S. Patil. Parametric Study of Double Layer Steel Dome with Reference to Span to Height Ratio // International Journal of Science and Research (IJSR). August 2013. Vol. 2. Issue 8. Pp. 110-118, https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=0201392.

REFERENCES

1. Semikin P.P., Batsunova T.P. Dinamicheskaya arxitektura. Kineticheskie fasady` [Dynamic architecture. Kinetic facades] *Izvestiya vuzov. Stroitel' stvo*. 2018. Vol. 714. No. 6. Pp. 86-96. (rus)
2. Sologubov Yu.P., Gordeeva T.E. Analysis of planning solutions of residential buildings for energy efficiency // *Herald of the SSASU. Urban planning and architecture*. 2015. No. 4(21). Pp. 104-107. doi:10.17673/Vestnik.2015.04.14 (in rus)
3. Kiryudcheva A.E., Shishkina V.V. Energy-efficient facade systems // *Construction of unique buildings and structures*. 2015. No. 4(31). Pp. 248-262 (in rus)
4. Paiho S., Seppä I.P., Jimenez C. An energetic analysis of a multifunctional façade system for energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates of Finland and Russia // *Sustainable Cities and Society*. 2015. Vol. 15. Pp. 75-85. doi:10.1016/j.scs.2014.12.005.
5. Buzalo N.A., Versilov S.O., Platonova I., Tsaritova N. (2020). Energy efficient building structures based on gridshell. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698. doi:10.1088/1757-899x/698/2/022010.
6. Abramczyk J. Building Structures Roofed with Multi-Segment Corrugated Hyperbolic Paraboloid Steel Shells// *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 161. Pp. 1545–1550. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.624.
7. Zeng Q., Mao T., Li H., Peng Y. Thermally insulating lightweight cement-based composites incorporating glass beads and nano-silica aerogels for sustainably energy-saving buildings // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 174. Pp. 97-110 doi:10.1016/j.enbuild.2018.06.031.
8. Tsaritova N.G, Tumasov A.A, Kalinina A.A, Kosogov V. Possibilities of Architectural and Constructive Shaping of Spatial Forms from Rod Arches // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 160 LNCE. Pp. 229-235. doi:10.1007/978-3-030-75182-1_31. (in rus)
9. Travush V.I., Antoshkin V.D., Erofeev V.T., Gudozhnikov S.S. Modern constructive and technological solutions of spherical shells // *Construction and reconstruction*. 2012. No. 6(44). P. 45-55. (in rus)
10. Tumasov A.A., Tsaritova N.G, Kurbanov A.I, Kalinina A.A. Geometric parameters of rod transformable arch systems // *Construction and Architecture*. 2017. T. 5. No. 2. Pp. 135-140. doi:10.12737/article_59806881305c30.67459418.
11. Petrov S.M. Computer-aided design and calculation of three-layer panels taking into account force and temperature effects // *Construction mechanics and calculation of structures*. 2013. No. 1(246). Pp. 23-28. (in rus)
12. Plotnikov V.V., Botagovsky M.V. Innovative enclosing structures and materials for the implementation of resource-energy-efficient construction // *Biosphere compatibility: man, region, technologies*. 2010. No. 12. Pp. 4-12. (in rus)
13. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Theoretical prerequisites for calculating the reduced heat transfer resistance of enclosing structures // *Building materials*. 2010. No. 12. Pp. 4-12.
14. Gorelik P.I. Zolotova Y.S. Modern thermal insulation materials and features of their application // *Construction of unique buildings and structures*. 2014. No. 3(18). Pp. 93-103. (in rus)
15. Panchenko V.A., Strebkov D.S., Persits I.S. Solar modules with extended service life at the rated power level // *International Scientific Journal Alternative Energy and Ecology*. 2015. No. 19(183). Pp. 55-60. doi:10.15518/isjaee.2015.19.007. (in rus)
16. Panchenko V.A. Modeling of a thermal photovoltaic roofing panel for power supply of objects // *Construction and technogenic safety*. 2018. No. 13(65). Pp. 143-157. (in rus)
17. Khutoroi A.N., Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O., Kuznetsova A.A. Efficiency of using solar vacuum tubular collectors in natural and climatic conditions of Yakutia // *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2016. No. 3(56). Pp. 156-165. (in rus)
18. Kuzyaeva N.A., Gorbunova V.S. Domed structures as a way to implement new architectural ideas// *Perspectives of Science and Education*. 2014. No. 1. Pp. 269-272. (in rus)
19. Chandiwala A. Analysis and design of steel dome using software // *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*. eSAT Publishing House, Bangalore, India. 2014. Vol. 3. Issue 3. Pp. 35–39. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0303006>.
20. Jadhav H.S., Ajit S. Patil. Parametric Study of Double Layer Steel Dome with Reference to Span to Height Ratio // *International Journal of Science and Research (IJSR)*. August 2013. Vol. 2. Issue 8. Pp. 110-118, https://www.ijsr.net/get_abstract.php?paper_id=0201392.

Информация об авторах:

Царитова Надежда Геннадьевна

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Градостроительство, проектирование зданий и сооружений».
E-mail: ncaritova@yandex.ru

Курбанов Абакар Ибрагимович

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия,
аспирант кафедры «Градостроительство, проектирование зданий и сооружений».
E-mail: abakar0517@gmail.com

Курбанова Анастасия Алексеевна

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»,
г. Новочеркасск, Россия,
аспирант кафедры «Градостроительство, проектирование зданий и сооружений».
E-mail: anastasia.a.kalinina@yandex.ru

Information about authors:

Tsaritova Nadezhda G.

Platov South-Russian State Polytechnic University, (NPI), Novochoerkassk, Russia,
PhD, assistant professor of Department «Urban development, designing of buildings and structures».
E-mail: ncaritova@yandex.ru

Kurbanov Abakar Ib.

Platov South-Russian State Polytechnic University, (NPI), Novochoerkassk, Russia,
postgraduate student of Department «Urban development, designing of buildings and structures».
E-mail: abakar0517@gmail.com

Kurbanova Anastasia Al.

Platov South-Russian State Polytechnic University, (NPI), Novochoerkassk, Russia,
postgraduate student of Department «Urban development, designing of buildings and structures».
E-mail: anastasia.a.kalinina@yandex.ru

А.В. АЛЕКСЕЙЦЕВ¹, Н.С. КУРЧЕНКО¹, М.Д. АНТОНОВ¹, Д.В. МОРОЗОВА¹
¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АВАРИЙНО ДОГРУЖАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С НАЧАЛЬНЫМИ НЕСОВЕРШЕНСТВАМИ

Аннотация. Рассмотрен подход к численному моделированию напряженно-деформированного состояния железобетонных колонн квадратного сечения с различными типами начальных несовершенств. Определена их предельная несущая способность с учетом возможного динамического догружения продольной силой и изгибающим моментом. Для исследований используется численная модель, описывающая конструкцию колонны объемными элементами для бетона и стержневыми элементами для арматурного каркаса. Начальные несовершенства моделируются путем физического удаления элементов, расшивки элементов, расшивки с возможностью последующей шивки нелинейными связями, моделирующими зазоры и сцепление на границе раздела сред. Численный анализ выполнялся в динамической постановке по неявной схеме на основе шагового метода, решение нелинейной задачи выполнялось с использованием метода Ньютона-Рафсона с невязкой по значению узловых сил. Установлена степень влияния начальных несовершенств, связанных с отклонениями геометрии и повреждениями материала на несущую способность сжато-изгибаемых элементов при аварийном воздействии. Показано, что для сооружений повышенного уровня ответственности целесообразно при проектировании предусматривать дополнительный запас прочности догружаемых колонн в рамных конструкциях в пределах 10%.

Ключевые слова: живучесть, численное моделирование, железобетонные конструкции, колонны, конечно элементный анализ, динамическое догружение, начальные несовершенства, безопасность.

A.V. ALEKSEYTSSEV¹, N.S. KURCHENKO¹, M.D. ANTONOV¹, D.V. MOROZOVA¹
¹Moscow State University of Civil Engineering

BEARING CAPACITY OF EMERGENCYLY LOADED REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH INITIAL IMPERFECTIONS

Abstract. An approach to numerical simulation of the stress-strain state of reinforced concrete square columns with various types of initial imperfections is considered. Their ultimate bearing capacity is determined taking into account the possible dynamic additional loading by the longitudinal force and the bending moment. For research, a numerical model is used that describes the design of the column with volumetric elements for concrete and rod elements for the reinforcing cage.

Initial imperfections are modeled by physical removal of elements, unzipping of elements, unzipping with the possibility of subsequent stitching by nonlinear bonds that simulate gaps and adhesion at the interface between media. Numerical analysis was carried out in a dynamic formulation according to an implicit scheme based on the direct method, the solution of a nonlinear problem was performed using the Newton-Raphson method with a discrepancy in the value of nodal forces. The degree of influence of initial imperfections associated with deviations of geometry and damage to the material on the bearing capacity of compressed-bent elements under emergency impact has been established. It is shown that for structures with an increased level of responsibility, it is advisable when designing to provide for an additional margin of safety for additionally loaded columns in frame structures within 10%.

Keywords: *survivability, numerical simulation, reinforced concrete structures, columns, finite element analysis, dynamic loading, initial imperfections, structural safety.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С., Петряшев С.О., Нагибович Т.Е. Расчетная оценка влияния геометрических отклонений от проекта на параметры механической безопасности многоярусных промышленных металлоконструкций (этажерок) в рамках научно-технического сопровождения строительства // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2021. Т. 17. № 1. С. 19-29.
2. Игошин В.Л., Лебедев В.В. Учет начальных несовершенств крена зданий на стадии проектирования // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 2-6.
3. Митасов В.М., Себешев В.Г., Асташенков Г.Г., Логунова М.А. К вопросу учета и уменьшения влияния начальных геометрических несовершенств при возведении многоэтажных каркасных зданий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 2 (638). С. 91-97.
4. Мондрус В.Л., Смирнов В.А. Закритическое деформирование сжатой стойки со случайными несовершенствами // Научное обозрение. 2015. № 4. С. 113-118.
5. Savin S.Yu, Kolchunov V.I. Dynamic behavior of reinforced concrete column under accidental impact // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Т. 17(3). С. 120–131.
6. Тамразян А.Г. Расчет внецентренно сжатых железобетонных элементов при динамическом нагружении в условиях огневых воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 29-35.
7. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports. E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. С. 04005.
8. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete frame at loss of stability // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 4 (80). С. 73-80.
9. Гичко В.В. Расчет устойчивости гибких железобетонных стоек деформационным методом // Современное промышленное и гражданское строительство. 2014. Т. 10. № 2. С. 103-112.
10. Савин С.Ю. Устойчивость внецентренно сжатых железобетонных элементов при особых воздействиях с учетом деформаций сдвига // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 1. С. 49-58.
11. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 3(103). P. 10306.
12. Nazmeeva T.V., Vatin N.I. Numerical investigations of notched c-profile compressed members with initial imperfections // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 2 (62). С. 92-101.
13. Hajdú G, Rubert A. Eigenshape based imperfection method for beam-columns with mono-symmetric I-section. Eigenformbasierte Imperfektionsmethode für Tragwerke mit monosymmetrischen I-Profilen. Stahlbau. 2021. No. 90(8). Pp. 600–13.
14. Garifullin M., Bronzova M.K., Heinisuo M., Mela K., Pajunen S. Cold-formed rhs t joints with initial geometrical imperfections // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 4 (80). С. 81-94.
15. Корсун Н.Д., Простакишина Д.А. Анализ НС составного сечения из тонкостенных профилей с учетом начальных геометрических несовершенств // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2018. № 4 (39). С. 83-88.
16. Mageirou G.E., Lemonis M.E. Influence of imperfections on the progressive collapse of steel moment resisting frames // Journal of Constructional Steel Research. 2021. Т. 183.
17. Мануйлов Г.А., Косицын С.Б., Грудцына И.Е. Численный анализ критического равновесия гибкой подкрепленной пластины с учетом влияния начальных геометрических несовершенств. Строительная механика и расчет сооружений. 2020. № 1 (288). С. 30-36.
18. Иноземцев В.К., Нащинцев Е.А. Общая бифуркационная устойчивость и деформации крена высотных объектов. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 6. С. 32-36.
19. Rzeszut K. Post-Buckling Behaviour of Steel Structures with Different Types of Imperfections // Applied Sciences. 2022. Т. 12(18).
20. Wu K., Xing Z. Stability of imperfect prestressed stayed beam-columns under combined axial load and bending // Engineering Structures. 2021. Т. 245.
21. Литвинов С.В., Клименко Е.С., Кулинич И.И., Языева С.Б. Расчет на устойчивость полимерных стержней с учетом деформаций ползучести и начальных несовершенств. Инженерный вестник Дона. 2011. № 2(16). С. 75-79.
22. Radwan M, Kövesdi B. Equivalent Geometric Imperfections for Local Buckling of Slender Box-section Columns. Periodica Polytechnica Civil Engineering. 2021. Т. 65(4). С. 1279–1287.
23. Алексейцев А.В., Антонов М.Д. Динамика безбалочных железобетонных каркасов сооружений при повреждении плит продавливанием. Строительство и реконструкция. 2021. № 4(96). С. 23-34.

24. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю. Динамические эффекты в статически неопределимых физически и конструктивно нелинейных системах // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 9. С. 42-51. doi:10.33622/0869-7019.
25. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации. Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.

REFERENCES

1. Belostotskiy A.M., Dmitriyev D.S., Petryashev S.O., Nagibovich T.Ye. Raschetnaya otsenka vliyaniya geo-metricheskikh otkloneniy ot proyekta na parametry mekhanicheskoy bezopasnosti mnogoyarusnykh promyshlennykh metallokonstruktsiy (etazherok) v ramkakh nauchno-tekhnicheskogo soprovozhdeniya stroitel'stva. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy*. 2021. T. 17. No. 1. Pp. 19-29.
2. Igoshin V.L., Lebedev V.V. Uchet nachal'nykh nesovershenstv krena zdaniy na stadii proyektirovaniya // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2010. No. 1. Pp. 2-6.
3. Mitasov V.M., Sebeshev V.G., Astashenkov G.G., Logunova M.A. K voprosu ucheta i umen'sheniya vliya-niya nachal'nykh geometricheskikh nesovershenstv pri vozvedenii mnogoetazhnykh karkasnykh zdaniy // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2012. No. 2 (638). Pp. 91-97.
4. Mondrus V.L., Smirnov V.A. Zakriticheskoye deformirovaniye szhatoy stoyki so sluchaynymi nesovershenstvami // *Nauchnoye obozreniye*. 2015. No. 4. Pp. 113-118.
5. Savin S.Yu, Kolchunov V.I. Dynamic behavior of reinforced concrete column under accidental impact // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. T. 17(3). Pp.120–131.
6. Tamrazyan A.G. Raschet vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov pri dinamicheskom nagruzhe-nii v usloviyakh ognevykh vozdeystviy. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2015. No. 3. Pp. 29-35.
7. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports. *E3S Web of Conferences*. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. Pp. 04005.
8. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete frame at loss of stability. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 4 (80). Pp. 73-80.
9. Gichko V.V. Raschet ustoychivosti gibkikh zhelezobetonnykh stoyek deformatsionnym metodom // *Sovremennoye promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2014. T. 10. No. 2. Pp. 103-112.
10. Savin S.YU. Ustoychivost' vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov pri osobykh vozdeystviyakh s uchedom deformatsiy sdviga // *Vestnik MGSU*. 2021. T. 16. No. 1. Pp. 49-58.
11. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. No. 3(103). P. 10306.
12. Nazmeeva T.V., Vatin N.I. Numerical investigations of notched c-profile compressed members with initial imperfections // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 2 (62). Pp. 92-101.
13. Hajdú G., Rubert A. Eigenshape based imperfection method for beam-columns with mono-symmetric I-sections. *Eigenformbasierte Imperfektionsmethode für Tragwerke mit monosymmetrischen I-Profilen*. *Stahlbau*. 2021. No. 90(8). Pp. 600–613.
14. Garifullin M., Bronzova M.K., Heinisuo M., Mela K., Pajunen S. Cold-formed rhs t joints with initial geo-metrical imperfections // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 4 (80). Pp. 81-94.
15. Korsun N.D., Prostakishina D.A. Analiz NS sostavnogo secheniya iz tonkostennykh profiley s uche-tom nachal'nykh geometricheskikh nesovershenstv. *Akademicheskii vestnik UralNIIProyekt RAASN*. 2018. No. 4 (39). Pp. 83-88.
16. Mageirou G.E., Lemonis M.E. Influence of imperfections on the progressive collapse of steel moment resisting frames // *Journal of Constructional Steel Research*. 2021. T. 183.
17. Manuylov G.A., Kositsyn S.B., Grudtsyna I.Ye. Chislennyy analiz kriticheskogo ravnovesiya gibkoy podkreplennoy plastiny s uchedom vliyaniya nachal'nykh geometricheskikh nesovershenstv. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2020. No. 1 (288). Pp. 30-36.
18. Inozemtsev V.K., Nashchintsev Ye.A. Obshchaya bifurkatsionnaya ustoychivost' i deformatsii krena vysot-nykh ob'yektov. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsiy i sooruzheniy*. 2015. No. 6. Pp. 32-36.
19. Rzeszut K. Post-Buckling Behaviour of Steel Structures with Different Types of Imperfections // *Applied Sciences*. 2022. T. 12(18).
20. Wu K, Xing Z. Stability of imperfect prestressed stayed beam-columns under combined axial load and bending // *Engineering Structures*. 2021. T. 245.
21. Litvinov S.V., Klimenko Ye.S., Kulinich I.I., YAzyyeva S.B. Raschet na ustoychivost' polimernykh sterzhney s uchedom deformatsiy polzuchesti i nachal'nykh nesovershenstv. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2011. No. 2(16). Pp. 75-79.

22. Radwan M, Kövesdi B. Equivalent Geometric Imperfections for Local Buckling of Slender Box-section Columns. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2021. Т. 65(4). Pp. 1279–1287.
23. Alekseytsev A.V., Antonov M.D. Dinamika bezbalochnykh zhelezobetonnykh karkasov sooruzheniy pri povrezhdeniyakh plit prodavlivaniyem // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2021. No. 4 (96). Pp. 23-34.
24. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.YU. Dinamicheskiye efekty v staticheski neopredelimykh fizicheski i konstruktivno nelineynykh sistemakh // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2022. No. 9. Pp. 42-51. doi:10.33622/0869-7019.
25. Alekseytsev A.V. Poisk ratsional'nykh parametrov stroitel'nykh konstruksiy na osnove mnogokriterial'noy evolyutsionnoy optimizatsii. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2019. No. 7. Pp. 18-22.

Информация об авторах:

Алексейцев Анатолий Викторович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».
E-mail: aalexw@mail.ru

Курченко Наталья Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».
E-mail: ms.kurchenko@mgsu.ru

Антонов Михаил Дмитриевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
аспирант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».
E-mail: mishany96969@mail.ru

Морозова Дарья Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
студент, специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».
E-mail: moroz_dk@mail.ru

Information about authors:

Alekseytsev Anatoliy V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
doctor of engineering, associate professor of department «Concrete and reinforced concrete structures».
E-mail: aalexw@mail.ru

Kurchenko Natalia S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Ph.D of Engineering, associate professor of department «Concrete and reinforced concrete structures».
E-mail: ms.kurchenko@mgsu.ru

Antonov Mikhael D.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
post-graduate student of department «Reinforced concrete and stone structures».
E-mail: mishany96969@mail.ru

Morozova Daria V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
student, specialty 08.05.01 «Construction of unique buildings and structures».
E-mail: s.sazonovaa17@mail.ru

Н.Т. ВУ¹, Н.В. ФЕДОРОВА¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
(НИУ МГСУ), г. Москва, Россия**ВАРИАНТ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ БЕТОНА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
СТАТИКО-ДИНАМИЧЕСКОМУ РЕЖИМУ ДЕФОРМИРОВАНИЯ**

***Аннотация.** Представлено обоснование режимов статико-динамического нагружения эксплуатируемых железобетонных каркасов многоэтажных зданий при запроектном воздействии в виде внезапного удаления отдельных несущих элементов. На основе теории пластичности бетона и железобетона Г.А. Гениева построены аналитические зависимости для определения параметров диаграммы статико-динамического деформирования бетона при различных режимах статического нагружения и последовательном динамическом догружении. Преимущество полученного уточненного варианта деформирования бетона состоит в том, что он содержит два важных параметра, учитывающих влияния скорости нагружения и уровня статического нагружения на сложное напряженно-деформированное состояние бетона. Численными исследованиями показано, что предельная статико-динамическая прочность бетона при динамическом догружении зависит от уровня начального напряженного состояния при статическом нагружении бетона, с которого производится динамическое догружение до предельного состояния. Проведенным с использованием рассматриваемой модели численным анализом подтверждены также результаты экспериментальных исследований о том, что микротрещинообразование в бетоне при статическом нагружении начинается не с некоторого уровня значения напряжений, а практически с момента начала нагружения бетона. Полученные результаты представляют интерес для решения прикладных задач, связанных с проблемой живучести, защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения, в частности при определении критериев прочности бетона при особом напряженном состоянии.*

***Ключевые слова:** железобетон, живучесть, внезапная структурная перестройка, прогрессирующее обрушение, теория пластичности бетона, статико-динамическое нагружение, динамическая прочность, диаграмма деформирования бетона.*

N.T. VU¹, N.V. FEDOROVA¹¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia**VARIANT OF THE PLASTICITY THEORY FOR CONCRETE IN
RELATION TO THE STATIC-DYNAMIC DEFORMATION REGIME**

***Abstract.** The substantiation of the modes of static-dynamic loading of the operated reinforced concrete frames of multi-storey buildings under the out-of-design impact in the form of sudden removal of individual load-bearing elements is presented. Based on the theory of plasticity of concrete and reinforced concrete by G.A. Geniev, analytical dependences are constructed to determine the parameters of the static-dynamic deformation diagram of concrete under various modes of static loading and sequential dynamic loading. The advantage of the obtained refined variant of concrete deformation is that it contains two important parameters that take into account the influence of the loading speed and the level of static loading on the complex stress-strain state of concrete. Numerical studies have shown that the limiting static-dynamic strength of concrete under dynamic loading depends on the level of the initial stress state under static loading of concrete, from which dynamic loading is carried out to the limit state. The numerical analysis carried out using the model under consideration also confirmed the results of experimental studies that microcracking in concrete under static loading does not begin with a certain stress level, but practically from the moment of the beginning of concrete loading. The results obtained are of interest for solving applied problems related to the problem of survivability, protection of buildings and structures from progressive collapse, in particular when determining the criteria for the strength of concrete under special stress.*

Keywords: reinforced concrete, survivability, sudden column removal, progressive collapse, plasticity theory of concrete, static-dynamic loading, dynamic strength, concrete deformation diagram.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белостоцкий А.М., Карпенко Н.И., Акимов П.А., Сидоров В.Н., Карпенко С.Н., Петров А.Н., Кайтуков Т.Б., Харитонов В.А. О методах расчета напряженно-деформированного состояния и на устойчивость к прогрессирующему обрушению пространственных плитно-оболочечных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности, трещинообразования и приобретаемой анизотропии // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. № 14(2). С. 30-47. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-2-30-47>
2. Kabantsev O., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse // MATEC Web of Conferences. 2018. No. 251. doi:10.1051/MATECCONF/201825102047.
3. Серпик И.Н., Курченко Н.С., Алексейцев А.В., Лагутина А.А. Анализ в геометрически, физически и конструктивно нелинейной постановке динамического поведения плоских рам при запроектных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 10. С. 49–51.
4. Tamrazyan A.G., Fedorov V.S., Kharun M. The effect of increased deformability of columns on the resistance to progressive collapse of buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 675. No. 1.
5. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974. 316 с.
6. Scalerandi M., Bentahar M., Mechri C. Conditioning and elastic nonlinearity in concrete: Separation of damping and phase contributions // Construction and Building Materials. 2018. No. 161. Pp. 208-220. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.11.035.
7. Kayondo M., Combrinck R., Boshoff W.P. State-of-the-art review on plastic cracking of concrete // Construction and Building Materials. 2019. No. 225. Pp. 886 - 899. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.07.197.
8. Tošić N., Aidarov S., de la Fuente A. Systematic Review on the Creep of Fiber-Reinforced Concrete. Materials. 2020. Vol. 13 (22). P. 5098. doi:10.3390/MA13225098. URL:<https://www.mdpi.com/1996-1944/13/22/5098/htm> (date of application: 3.07.2022).
9. Hung C.C., Hu F.Y. Behavior of high-strength concrete slender columns strengthened with steel fibers under concentric axial loading // Construction and Building Materials. 2018. No. 175. Pp. 422–433. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.201.
10. Филоненко-Бородич М.М. Об условиях прочности материалов, обладающих различным сопротивлением растяжению и сжатию // Инж. сборник. 1954. № 19. С. 36–48.
11. Баландин П.П. К вопросу о гипотезах прочности // Вестник инженеров и техников. 1937. № 1.
12. Гвоздев А.А., Карпенко Н.И. Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии // Строительная механика и расчет сооружений. 1965. № 2.
13. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Карпенко С.Н., Кадиев Д.З. О построении диаграммного метода расчета стержневых железобетонных конструкций в условиях действия низких отрицательных температур // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. Т. 714. № 6. С. 5–17.
14. Feng W., Liu F., Yang F., Li L., Jing L. Experimental study on dynamic split tensile properties of rubber concrete // Construction and Building Materials. 2018. No. 165. Pp. 675–687. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.01.073.
15. Zhang H., Wang B., Xie A., Qi Y. Experimental study on dynamic mechanical properties and constitutive model of basalt fiber reinforced concrete // Construction and Building Materials. 2017. No. 152. Pp.154–167. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.06.177.
16. Lu D., Wang G., Du X., Wang Y. A nonlinear dynamic uniaxial strength criterion that considers the ultimate dynamic strength of concrete // International Journal of Impact Engineering. 2017. No. 103. Pp. 124–137. doi:10.1016/J.IJIMPENG.2017.01.011.
17. Ren J., Dang F., Wang H., Xue Y., Fang J. Enhancement Mechanism of the Dynamic Strength of Concrete Based on the Energy Principle // Materials. 2018. No. 11. doi:10.3390/MA11081274. URL:<https://www.mdpi.com/1996-1944/11/8/1274/htm> (date of application: 3.07.2022).
18. Fu Q., Xu W., He J., Su L., Song H., Niu D. Dynamic strength criteria for basalt fibre-reinforced coral aggregate concrete // Composites Communications. 2021. No. 28. doi:10.1016/J.COCO.2021.100983.
19. Федорова Н.В., Медянкин М.Д., Бушова О.Б. Экспериментальное определение параметров статико-динамического деформирования бетона при режимном нагружении // Строительство и реконструкция. 2020. № 3. С. 72–81.
20. Федорова Н.В., Медянкин М.Д., Бушова О.Б. Определение параметров статико-динамического деформирования бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 4–11.
21. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Experimental determination of the parameters of the static-dynamic deformation of concrete under loading modal // Building and reconstruction. 2020. No. 89(3). Pp. 72–81.

doi:10.33979/2073-7416-2020-89-3-72-81. URL:<https://construction.elpub.ru/jour/article/view/286> (date of application:3.04.2021).

22. Гениев Г.А. Метод определения динамических пределов прочности бетона // Бетон и железобетон. 1998. № 1. С. 18–19.

23. Федорова Н.В., Колчунов В.И., Чемодуров В.Т., Кореньков П.А. Определение параметров динамического догружения в арматуре растянутого железобетонного элемента // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 4 (370). С. 235–241.

24. Колчунов В.И., Клюева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М.: АСВ, 2014. 208 с.

25. Fedorova N.V., Vu N.T., Piushchenko T.A. Dynamic additional loading of the frame of a multi-story building after the failure of one of the structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 896(1). doi:10.1088/1757-899X/896/1/012040. URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/896/1/012040> (date of application: 8.12.2020).

REFERENCES

1. Belostotskii A.M., Karpenko N.I., Akimov P.A., Sidorov V.N., Karpenko S.N., Petrov A.N., Kaitukov T.B., Kharitonov V.A. O metodakh rascheta napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i na ustoichivost' k progressiruyushchemu obrusheniyu prostranstvennykh plitnoobolocheknykh zhelezobetonnykh konstruksii s uchetom fizicheskoi nelineinosti, treshchinoobrazovaniya i priobretaemoi anizotropii [On methods for calculating the stress-strain state and resistance to progressive collapse of spatial slab-shell reinforced concrete structures, taking into account physical nonlinearity, cracking and acquired anisotropy] // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2018. Vol. 14. No. 2. Pp. 30-47. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2018-14-2-30-47> (rus).

2. Kabantsev O., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete bearing systems in the mode of progressive collapse // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. doi:10.1051/MATECCONF/201825102047.

3. Serpik I.N., Kurchenko N.S., Alekseitsev A.V., Lagutina A.A. Analiz v geometricheski, fizicheski i konstruktivno nelineinoy postanovke dinamicheskogo povedeniya ploskikh ram pri zaproektnykh vozdeistviyakh // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2012. No. 10. Pp. 49–51. (rus)

4. Tamrazyan A.G., Fedorov V.S., Kharun M. The effect of increased deformability of columns on the resistance to progressive collapse of buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 675. No.1. Pp. 012004.

5. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [Theory of plasticity of concrete and reinforced concrete]. Moscow: Stroizdat Publ., 1974. (rus).

6. Scalerandi M., Bentahar M., Mechri C. Conditioning and elastic nonlinearity in concrete: Separation of damping and phase contributions // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 161. Pp. 208-220. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.11.035.

7. Kayondo M., Combrinck R., Boshoff W.P. State-of-the-art review on plastic cracking of concrete // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 225. Pp. 886-899. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.07.197.

8. Tošić N., Aidarov S., de la Fuente A. Systematic Review on the Creep of Fiber-Reinforced Concrete. Materials. 2020. Vol. 13. P. 5098. doi:10.3390/MA13225098. URL:<https://www.mdpi.com/1996-1944/13/22/5098/htm> (date of application: 3.07.2022).

9. Hung C.C., Hu F.Y. Behavior of high-strength concrete slender columns strengthened with steel fibers under concentric axial loading // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 175. Pp. 422–433. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.04.201.

10. Filonenko-Borodich M.M. Ob usloviyakh prochnosti materialov, obladayushchikh razlichnym soprotivleniem rastyazheniyu i szhatiyu [On the conditions of strength of materials with different resistance to tension and compression] // Inzh. sbornik. 1954. Vol. 19. Pp. 36–48.

11. Balandin P.P. K voprosu o gipotezakh prochnosti [On the issue of strength hypotheses]// Vestnik inzhenerov i tekhnikov. 1937. (rus)

12. Gvozdev A.A., Karpenko N.I. Rabota zhelezobetona s treshchinami pri ploskom napryazhennom sostoyanii [Work of reinforced concrete with cracks in a plane stress state]// Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii. 1965. Vol. 2. (rus)

13. Karpenko N.I., Yarmakovskii V.N., Karpenko S.N., Kadiev D.Z. O postroenii diagrammnogo metoda rascheta sterzhnevnykh zhelezobetonnykh konstruksii v usloviyakh deistviya nizkikh otritsatel'nykh temperatur [On the construction of a diagram method for the calculation of reinforced concrete rod structures under conditions of action of low negative temperatures] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. 2018.Vol. 714. No. 6. Pp. 5–17. (rus)

14. Feng W., Liu F., Yang F., Li L., Jing L. Experimental study on dynamic split tensile properties of rubber concrete // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 165. Pp. 675–687. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.01.073.

15. Zhang H., Wang B., Xie A., Qi Y. Experimental study on dynamic mechanical properties and constitutive model of basalt fiber reinforced concrete // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 152. Pp. 154–167. doi:10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.06.177.
16. Lu D., Wang G., Du X., Wang Y. A nonlinear dynamic uniaxial strength criterion that considers the ultimate dynamic strength of concrete // *International Journal of Impact Engineering*. 2017. Vol. 103. Pp. 124–137. doi:10.1016/J.IJIMPEN7G.2017.01.011.
17. Ren J., Dang F., Wang H., Xue Y., Fang J. Enhancement Mechanism of the Dynamic Strength of Concrete Based on the Energy Principle // *Materials* 2018. Vol. 11. DOI:10.3390/MA11081274. URL:<https://www.mdpi.com/1996-1944/11/8/1274/htm> (date of application: 3.07.2022).
18. Fu Q., Xu W., He J., Su L., Song H., Niu D. Dynamic strength criteria for basalt fibre-reinforced coral aggregate concrete // *Composites Communications*. 2021. Vol. 28. doi:10.1016/J.COCO.2021.100983.
19. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Eksperimental'noe opredelenie parametrov statiko-dinamicheskogo deformirovaniya betona pri rezhimnom nagruzhении [Experimental determination of the parameters of static-dynamic deformation of concrete under regime loading] // *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2020. No. 3. Pp. 72–81. (rus)
20. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Opredelenie parametrov statiko-dinamicheskogo deformirovaniya betona [Determination of parameters of static-dynamic deformation of concrete] // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020. No. 1. Pp. 4–11. (rus)
21. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Experimental determination of the parameters of the static-dynamic deformation of concrete under loading modal // *Building and reconstruction*. 2020. Vol 89. No. 3. Pp. 72–81. DOI:10.33979/2073-7416-2020-89-3-72-81. URL:<https://construction.elpub.ru/jour/article/view/286> (date of application: 3.04.2021).
22. Geniev G.A. Metod opredeleniya dinamicheskikh predelov prochnosti betona [Method for determining the dynamic strength of concrete] // *Beton i zhelezobeton*. 1998. No. 1. Pp. 18–19.
23. Fedorova N.V., Kolchuno, V.I., Chemodurov V.T., Koren'kov P.A. Opredelenie parametrov dinamicheskogo dogruzheniya v armature rastyanutogo zhelezobetonnoogo ehlementa [Determination of the parameters of dynamic additional loading in the reinforcement of a tensile reinforced concrete element] // *Izvestiya VUZov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*. 2017. Vol. 4. No. 370. Pp. 235–241. (rus)
24. Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Androsova N.B., Bukhtiyarova A.S. Zhivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproektnykh vozdeystviyakh [Survivability of buildings and structures under beyond design basis impacts]. Moscow: ASV Publ., 2014. (rus)
25. Fedorova N.V., Vu N.T., Piushchenko T.A. Dynamic additional loading of the frame of a multi-story building after the failure of one of the structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 896. No. 1. doi:10.1088/1757-899X/896/1/012040. URL:<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/896/1/012040> (date of application: 8.12.2020)

Информация об авторах:

Бу Нгок Туен

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры фундаментального образования.
E-mail: ngoctuyennd91@gmail.com

Федорова Наталия Витальевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
Советник РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой архитектурно-строительного проектирования.
E-mail: fenavit@mail.ru

Information about authors:

Vu Ngoc Tuyen

National Research Moscow State Construction University (NRU MGSU), Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Fundamental Education.
E-mail: ngoctuyennd91@gmail.com

Fedorova Natalia V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
Advisor to RAACS, doctor of technical sciences, professor, head. department of architectural and construction design.
E-mail: fenavit@mail.ru

И.А. ТЕРЕХОВ¹

¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРИ КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ

Аннотация. Для предупреждения преждевременного износа и снижения несущей способности железобетонных плит необходимо своевременно проводить обследование их технического состояния с определением причин возникновения дефектов с последующей их ликвидацией. В настоящее время в ГОСТ 31937, регулирующего правила обследования, отсутствуют количественные значения критериев технического состояния, по которым можно назначить категорию технического состояния конструкций, в том числе в рамках визуального обследования. Для выявления частоты появления дефектов, связанных с коррозией арматуры в железобетонных плитах зданий и сооружений, а также определения причин их возникновения были рассмотрены 738 архивных отчетов АО «ЦНИИПромзданий» по обследованию.

Анализ проведенных ранее обследований показал, что дефекты, вызванные с коррозией арматуры, являются одними из наиболее распространенных и требуют более детальных указаний по назначению категории технического состояния конструкций. Для разработки критериев технического состояния железобетонных плит с дефектами, полученными в результате коррозии арматуры, был выполнен расчетный анализ влияния коррозии арматуры на несущую способность, рассмотрено влияние продуктов коррозии на образование продольных и поперечных трещин, данных экспериментальных исследований, а также требований нормативных документов.

Ключевые слова: сборный железобетон, многопустотные плиты, ребристые плиты, коррозия арматуры, дефект, критерий технического состояния.

I.A. TEREKHOV¹

¹Russian University of Transport, Moscow, Russia

CRITERIA FOR ASSESSING THE TECHNICAL CONDITION OF REINFORCED CONCRETE SLABS DURING REINFORCEMENT CORROSION

Abstract. To prevent premature wear and reduce the bearing capacity of reinforced concrete slabs, it is necessary to conduct a timely examination of their technical condition with the determination of the causes of defects with their subsequent elimination. At present, GOST 31937, which regulates the inspection rules, does not contain quantitative values of the technical condition criteria, according to which it is possible to assign a category of the technical condition of structures, including within the framework of a visual inspection. To identify the frequency of occurrence of defects associated with corrosion of reinforcement in reinforced concrete slabs of buildings and structures, as well as to determine the causes of their occurrence, 738 archival survey reports of TsNIIPromzdaniy JSC were considered.

An analysis of previous surveys showed that defects caused by corrosion of reinforcement are among the most common and require more detailed instructions on the designation of the category of technical condition of structures. To develop criteria for the technical condition of reinforced concrete slabs with defects resulting from reinforcement corrosion, a calculation analysis of the effect of reinforcement corrosion on the bearing capacity was performed, the effect of corrosion products on the formation of longitudinal and transverse cracks, experimental data, and the requirements of regulatory documents were considered.

Keywords: precast concrete, hollow-core slabs, ribbed slabs, reinforcement corrosion, defect, technical condition criterion.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 1. С. 93-102.
2. Тамразян А.Г. Вероятностный метод расчета долговечности железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридов // В сборнике трудов конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021». М.: НИУ МГСУ. С. 100-106.
3. Фаликман В.Р., Степанова В.Ф. Нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций и принципы их проектирования по параметрам долговечности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 6. С. 13-22.
4. Чирков В.П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций. М.: Маршрут, 2006. 620 с.
5. Кодыш Э.Н. Проектирование защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения с учетом возникновения особого предельного состояния // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 10. С. 95-101.
6. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н. Особое предельное состояние железобетонных конструкций и его нормирование // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 5. С. 4–9.
7. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Terekhov I.A., Kudyakov K.L. Determination of the criteria of deformation in a special limiting state // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021. Vol 1. Pp. 108-116. URL:<https://ijccse.iasv.ru/index.php/ijccse/issue/view/51/62> (eng)
8. Trekin N, Kodysh E., Bybka A., Terekhov I. Structural design taking into account the occurrence of a special limit state // *Innovations technologies in science and practice. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. Haifa, Israel. 2022. Pp. 21-24. URL:<https://isg-konf.com/ru/innovations-technologies-in-science-and-practice-ru> (eng)
9. Гранев В.В., Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Терехов И.А., Еремин К.И., Шмаков Д.С. Проектирование сборных железобетонных конструкций каркасных зданий: новый свод правил // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 4. С. 4-9.
10. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Райдакин О.В. К расчету прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением нелинейной деформационной модели // *Известия КГАСУ*. 2013. № 4 (26). С. 113-120.
11. Opbul E., Dmitriev D., Van Phuc Ph. Practical calculation of flexible members with the use of non-linear deformation model as exemplified by typical girder RGD 4.56-90 // *Architecture and Engineering*. 2018. Vol. 3. No. 3. Pp. 29-41. (eng)
12. Левин В.М., Юрова В.С., Севостьянов Н.А. Сравнение результатов расчета прямоугольного сечения железобетонного элемента нелинейным деформационным методом и по предельным усилиям // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2019. № 4 (138). С. 19-22.
13. Ефремов А.М., Бойко Д.В., Сергеевцев Е.Ю., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А., Шмаков С.Д. Учет совместного влияния дефектов на несущую способность конструкций // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 8. С. 11–18.
14. Чаганов А.Б. Прочность и жесткость железобетонных ребристых плит с нарушением сцепления арматуры с бетоном: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Чаганов Алексей Борисович М., 2008. 24 с.
15. Рожин Д.Н., Чаганов А.Б. Влияние коррозионных повреждений на состояние железобетонных элементов реконструируемых зданий и сооружений // *Сборник Всероссийской ежегодной научно-технической конференции «Наука-производство-технология-экология», том 5*. Киров: ВятГУ, 2007. С. 254-256.
16. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс]. ФАУ «ФЦС», 2018. 50 с. https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp34_2018.pdf (дата обращения: 07.10.2022).

REFERENCES

1. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. O sovremennykh metodah obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnnykh konstrukcij [The modern methods of ensuring of reinforced concrete structures durability] // *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 1. Pp. 93-102. (in rus)
2. Tamrazyan A.G. Veroyatnostnyj metod rascheta dolgovechnosti zhelezobetonnnykh konstrukcij, podverzhennykh vozdeystviyu hloridov [Probabilistic method for calculating the durability of reinforced concrete

structures exposed to chlorides] V sbornike trudov konferencii «Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovanija [In the proceedings of the conference "Actual problems of the construction industry and education – 2021]. Moscow: NRU MGSU. Pp. 100-106. (in rus)

3. Falikman V.R., Stepanova V.F. Normativnye sroki sluzhby betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij i principy ih proektirovanija po parametram dolgovechnosti [Normative service life of concrete and reinforced concrete structures and principles of their design based on durability parameters] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. No. 6. Pp. 13-22. (in rus)

4. Chirkov V.P. Prikladnye metody teorii nadezhnosti v raschetah stroitel'nyh konstrukcij [Applied Methods of the Theory of Reliability in the Calculations of Building Structures]. Moscow: Marshrut, 2006. 620 p. (in rus)

5. Kodysh E.N. Proektirovanie zashhity zdaniy i sooruzhenij ot progressirujushhego obrusheniya s uchedom vozniknovenija osobogo predel'nogo sostojanija [Designing the protection of buildings and structures against progressive collapse in view of the emergence of a special limiting state] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. No. 10. P. 95-101. (in rus)

6. Trekin N.N., Kodysh E.N. Osoboe predel'noe sostojanie zhelezobetonnyh konstrukcij i ego normirovanie [Special limit condition of reinforced concrete structures and its normalization] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. No. 5. Pp. 4-9. (in rus)

7. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Terekhov I.A., Kudyakov K.L. Determination of the criteria of deformation in a special limiting state // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol 1. Pp. 108-116. URL:<https://ijccse.iasv.ru/index.php/ijccse/issue/view/51/62>

8. Trekin N., Kodysh E., Bybka A., Terekhov I. Structural design taking into account the occurrence of a special limit state // Innovations technologies in science and practice. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. Haifa, Israel. 2022. Pp. 21-24. URL:<https://isg-konf.com/ru/innovations-technologies-in-science-and-practice-ru>

9. Granev V.V., Kodysh E.N., Trekin N.N., Terekhov I.A., Eremin K.I., Shmakov D.S. Proektirovanie sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij karkasnyh zdaniy: novyj svod pravil [Designing precast reinforced concrete structures of frame buildings: a new set of rules] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. No. 4. Pp. 4-9. (in rus)

10. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Raidakin O.V. K raschetu prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti vnecentrenno szhatyh zhelezobetonnyh jelementov s primeneniem nelinejnoj deformacionnoj modeli [Calculation of strength, stiffness and crack resistance of eccentrically compressed reinforced concrete elements using non-linear deformation model] // Izvestiya KGASU. 2013. No. 4 (26). Pp. 113-120. (in rus)

11. Opubl E., Dmitriev D., Van Phuc Ph. Practical calculation of flexible members with the use of non-linear deformation model as exemplified by typical girder RGD 4.56-90 // Architecture and Engineering. 2018. Vol. 3. № 3. Pp. 29-41.

12. Levin V.M., Yurova V.S., Sevostyanov N.A. Sravnenie rezul'tatov rascheta prjamougol'nogo sechenija zhelezobetonogo jelementa nelinejnym deformacionnym metodom i po predel'nyh usilijam [Comparison of results of calculation of rectangular section of reinforced concrete element by nonlinear deformation method and with ultimate forces] // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2019. No. 4 (138). Pp. 19-22. (in rus)

13. Efremov A.M., Boyko D.V., Sergeevtsev E.Yu., Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D. Uchet sovmestnogo vlijanija defektov na nesushhuju sposobnost' konstrukcij [Taking into account the joint effect of defects on the bearing capacity of structures] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2022. No. 8. Pp. 11-18. (in rus)

14. Chaganov A.B. Prochnost' i zhestkost' zhelezobetonnyh rebristyh plit s narusheniem sčeplenija armatury s betonom [Strength and rigidity of reinforced concrete ribbed slabs with a violation of the adhesion of reinforcement to concrete]: author. diss. ... cand. tech. Sciences: 05.23.01 / Chaganov Aleksey Borisovich. Moscow. 2008. 24 p. (in rus)

15. Rozhin D.N., Chaganov A.B. Vlijanie korrozionnyh povrezhdenij na sostojanie zhelezobetonnyh jelementov rekonstruiruemyh zdaniy i sooruzhenij [Influence of corrosion damage on the state of reinforced concrete elements of reconstructed buildings and structures] Sbornik Vserossijskoj ezhegodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Nauka-proizvodstvo-tehnologija-jekologija», tom 5 [Collection of the All-Russian annual scientific and technical conference "Science-Production-Technology-Ecology", Volume 5]. Kirov: VyatGU, 2007. Pp. 254-256. (in rus)

16. Metodika ocenki ostatochnogo resursa nesushhih konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Methodology for assessing the residual resource of the supporting structures of buildings and structures] [Online]. FAU "FTsS", 2018. 50 p. URL: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp34_2018.pdf (date of application: 07.10.2022). (in rus)

Информация об авторе:

Терехов Иван Александрович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений.
E-mail: terekhov-i@mail.ru

Information about author:

Terekhov Ivan Al.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
candidate of technical science, associated professor of the department of building constructures, buildings and structures.
E-mail: terekhov-i@mail.ru

Е.В. ТКАЧ¹, А.М. РАХИМОВ²¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия²Карагандинский технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан

ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ПОРИСТЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Аннотация. Задачи, связанные с расширением сырьевой базы при производстве пористых заполнителей для легких бетонов с минимальными энергозатратами, с каждым годом становятся всё более актуальными. В рамках данных исследований рассмотрены вопросы, связанные с получением пористых заполнителей для легкого бетона, которые выдерживают более высокие нагрузки без снижения качества за счет наличия кристаллической структуры межпоровых перегородок. Материал обладает низким водопоглощением по сравнению с керамзитом, что указывает на способность сохранять свои теплотехнические характеристики во времени, и имеет практически неограниченный срок службы. Цель данного исследования – получение пеностеклокристаллических пористых заполнителей для легких бетонов по технологии низкотемпературного вспенивания. Объектом исследования являлись техногенные отходы производства, содержащие кремнеземистое и алюмосиликатные составляющие в качестве основного компонента (шлаки, золы ТЭС, хвосты обогащения).

Результаты исследования: полученные пористые заполнители характеризуются высокими физико-механическими свойствами: плотность 200-220 кг/м³; прочность 3,1-4,0 МПа; теплопроводность 0,07 - 0,1 Вт/(м·С); водопоглощение 1-2%. Образцы легких заполнителей характеризуются высокой степенью однородности поровой структуры и предпочтительными для показателей прочности и теплопроводности размерами пор до 1,2 мм и межпоровой перегородки 50 мкм.

Ключевые слова: отходы промышленности, пеностеклольные материалы, низкотемпературная технология, пористые заполнители, легкий бетон.

E. V. TKACH¹, A. M. RAKHIMOV²¹National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia²Karaganda state technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

HEAVY CONCRETE BASED ON POLYDISPERSE BINDER WITH COMPLEX POLYMER MODIFIER WITH INCREASED PERFORMANCE INDICATORS

Abstract. The tasks related to the expansion of the raw material base in the production of porous aggregates for lightweight concrete with minimal energy consumption are becoming more and more urgent every year. As part of these studies, issues related to the production of porous aggregates for lightweight concrete that can withstand higher loads without compromising quality due to the presence of a crystalline structure of inter-pore partitions are considered. The material has low water absorption compared to expanded clay, which indicates the ability to maintain its thermal performance over time, and has an almost unlimited service life. The purpose of this study is to obtain foam-glass-crystalline porous aggregates for lightweight concrete using the technology of low-temperature foaming. The object of the study was technogenic production waste containing silica and aluminosilicate components as the main component (slag, TPP ash, enrichment tailings).

Research results: the resulting porous fillers are characterized by high physical and mechanical properties: density 200-220 kg/m³; strength 3.1-4.0 MPa; thermal conductivity 0.07 - 0.1 W / (mS); water absorption 1-2%. Samples of light aggregates are characterized by a high degree of uniformity of the pore structure and preferred for strength and thermal conductivity pore sizes up to 1.2 mm and an inter pore wall of 50 μm.

Keywords: industrial waste, foam glass materials, low-temperature technology, porous aggregates, lightweight concrete.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткач С.А., Теличенко В.И. Решение экологических задач в процессе утилизации техногенных отходов при производстве газобетона // Экология урбанизированных территорий. Москва, 2016. № 2. С. 23.
2. Теличенко В.И., Орешкин Д.В. Материаловедческие аспекты геоэкологической и экологической безопасности в строительстве // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 2. С. 31-33.
3. Орешкин Д.В. Проблемы строительного материаловедения и производства строительных материалов // Строительные материалы. 2010. № 11. С. 6-8.
4. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов // Вестник МГСУ. 2013. С. 204-210.
5. Baidzhanov D.O., Nuguzhinov Zh.S., Fedorchenko V.I., Kropachev P.A., Rakhimov A.M., Divak L.A. Thermal insulation material based on local technogenic raw material // Glass and Ceramics. 2017. V. 66. No. 5 – 6. P. 427 – 430.
6. Казьмина О.В. Физико-химические закономерности получения пеностеклокристаллических материалов на основе кремнеземистого и алюмосиликатного сырья: дис. д-ра техн. наук. Томск, 2010. 43 с.
7. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N. Assessment of the compositions and components for obtaining foam-glass-crystalline materials from aluminosilicate initial materials // Glass and Ceram. 2009. V. 73. P. 82–85.
8. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of granular glass from mixes based on silica-alumina-containing components for obtaining foam materials // Glass and Ceram. 2009. V. 66. No. 9 – 10. P. 341-344.
9. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N. et al. Temperature regimes for obtaining granular material for foamed crystal glass materials as a function of the batch composition // Glass and Ceram. 2009. V. 66. No. 5-6. P. 179-182.
10. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е., Хохлова Ю.В. Процессы смешивания сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет // ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». Иваново, 2008. 116 с.
11. Tkach E. Develop an efficient method for improving hydrophysical properties of aerated concrete using industrial waste // Procedia Engineering. 2016. T. 153. C. 761-765.
12. Сумин А.В., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Еременко С.А. Пеногазобетон с наноструктурированным модификатором // Строительные материалы. 2016. № 1-2. С. 70-75.
13. Румянцев Б.М., Жуков А.Д., Аристов Д.И. Оптимизация ячеистых структур // Научное обозрение. 2015. № 13. С. 128-131.
14. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 6-14.
15. Буддыжов А.А., Романов И.В., Воронин В.В., Алимов Л.А. Исследование формирования структуры и свойств многокомпонентных бетонов // Научное обозрение. 2013. № 9. С. 177-181.
16. Урьев Н.Б. Моделирование структурно-механических характеристик дисперсных систем в условиях динамических воздействий // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75. № 5. С. 596.
17. Ружинский С.И. Влияние химических характеристик цемента на эффективность виброактивации. Сайт доступа: /<http://www.ibeton.ru/a158.php>.
18. Muzenski S.W., Flores-Vivian I., Sobolev K. The development of hydrophobic and superhydrophobic cementitious composites, Proceedings of the 4th International Conference on the Durability of Concrete Structures, ICDCS 2014 (2014).

REFERENCES

1. Tkach S.A., Telichenko V.I. Solving environmental problems in the process of recycling man-made waste in the production of aerated concrete // Ecology of urbanized territories. Moscow, 2016. No. 2. P. 23.
2. Telichenko V.I., Oreshkin D.V. Material science aspects of geo-environmental and environmental safety in construction // Ecology of urbanized territories. 2015. No. 2. P. 31-33.
3. Oreshkin D.V. Problems of building materials science and production of building materials // Stroitelnye materialy. 2010. No. 11. Pp. 6-8.

4. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V. Structure and properties of concretes with nanomodifiers based on man-made waste // Bulletin of MGSU. 2013. Pp. 204-210.
5. Baidzhanov D.O., Nuguzhinov Zh.S., Fedorchenko V.I., Kropachev P.A., Rakhimov A.M., Divak L.A. Thermal insulation material based on local technogenic raw material // Glass and Ceramics. 2017. V. 66. No. 5 – 6. Pp. 427-430.
6. Kazmina O.V. Physical and chemical regularities of obtaining foam glass-crystalline materials based on silica and aluminosilicate raw materials: dis. Dr. tech. Sciences. Tomsk, 2010. 43 p.
7. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N. Assessment of the compositions and components for obtaining foam-glass-crystalline materials from aluminosilicate initial materials // Glass and Ceram. 2009. V. 73. P. 82 – 85.
8. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of granular glass from mixes based on silica-alumina-containing components for obtaining foam materials // Glass and Ceram. 2009. V. 66. No. 9 – 10. Pp. 341 – 344.
9. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N. et al. Temperature regimes for obtaining granular material for foamed crystal glass materials as a function of the batch composition // Glass and Ceram. 2009. V. 66. No. 5–6. Pp. 179–182.
10. Barantseva E.A., Mizonov V.E., Mixing Yu. Processes of bulk materials: modeling, optimization, calculation // GOUVPO "Ivanovo State Power Engineering University. IN AND. Lenin. Ivanovo, 2008. 116 p.
11. Tkach E. Develop an efficient method for improving hydrophysical properties of aerated concrete using industrial waste // Procedia Engineering. 2016. T. 153. Pp. 761-765.
12. Sumin A.V., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Eremenko S.A. Foam gas concrete with nanostructured modifier // Building materials. 2016. No. 1-2. Pp. 70-75.
13. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D., Aristov D.I. Optimization of cellular structures. // Scientific review. 2015. No. 13. Pp. 128-131.
14. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. Structural design of modern concretes: defining principles and technological platforms // Building materials. 2014. No. 3. Pp. 6-14.
15. Buldyzhov A.A., Romanov I.V., Voronin V.V., Alimov L.A. Study of the formation of the structure and properties of multicomponent concretes // Scientific Review. 2013. No. 9. Pp. 177-181.
16. Uriev N.B. Modeling of structural-mechanical characteristics of dispersed systems under dynamic influences // Colloid journal. 2013. V. 75. No. 5. Pp. 596.
17. Ruzhinsky S.I. Influence of the chemical characteristics of cement on the efficiency of vibration activation. Access website: <http://www.ibeton.ru/a158.php>.
18. Muzenski S.W., Flores-Vivian I., Sobolev K. The development of hydrophobic and superhydrophobic cementitious composites, Proceedings of the 4th International Conference on the Durability of Concrete Structures, ICDCS 2014 (2014).

Информация об авторах:

Ткач Евгения Владимировна

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

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительного материаловедения.

E-mail: ev.tkach@mail.ru

Рахимов Асхат Муратович

Карагандинский технический университет, г. Караганда, Республика Казахстан

доктор PhD, старший преподаватель кафедры строительных материалов и технологии.

E-mail: batosh90@mail.ru

Information about authors:

Tkach Evgeniya V.

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

doctor of technical sciences, professor, professor of the department building materials science.

E-mail: ev.tkach@mail.ru

Rakhimov Askhat M.

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan,

doctor of PhD, senior lecturer of the Department of Building Materials and Technology.

E-mail: batosh90@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 14.12.2022 г.

Дата выхода в свет 23.12.2022 г.

Формат 70×108/16. Печ. л. 9,4

Цена свободная. Тираж 500 экз.

Заказ № 210

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