

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

ISSN 2073-7416

BUILDING AND RECONSTRUCTION

№2 (100) 2022

Теория инженерных сооружений.  
Строительные конструкции

The theory of engineering  
constructions. Construction  
design

Безопасность зданий  
и сооружений

Building and structure  
safety

Архитектура  
и градостроительство

Architecture  
and urban development

Строительные материалы  
и технологии

Building materials  
and technology



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Исполнительный редактор:

**Юрова О.В.**, *(Россия)*

Адрес редакции:

302030, Орловская обл., г. Орёл,

ул. Московская, д. 77.

Тел.: +79065704999

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

E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединенному каталогу «Пресса России»

на сайтах [www.ppressa-ru.ru](http://www.ppressa-ru.ru) и [www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2022

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

<b>Колчунов В.И.</b> Гипотезы о деформации сечения от деформаций сдвига в железобетонных конструкциях, испытывающих кручение с изгибом.....	3
<b>Локтионов А.П.</b> Обратная задача Коши для балок в строительных конструкциях.....	13
<b>Надольский В.В., Подымако В.И.</b> Оценка несущей способности стальной балки методом конечных элементов при совместном действии локальных и сдвиговых усилий.....	26

### Безопасность зданий и сооружений

<b>Орлович Р.Б., Зимин С.С., Деркач В.Н.</b> Эффективность армирования каменных сводов композитными материалами.....	44
<b>Попов Д.С.</b> Экспериментальные исследования динамических свойств коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов.....	55
<b>Римшин В.И., Курбатов В.Л., Ерофеев В.Т., Кецко Е.С.</b> Обследование деградационных повреждений конструкций иловых хранилища.....	65

### Архитектура и градостроительство

<b>Страшнов С.В., Мабена С.М., Алборова Л.А.</b> Складчатые поверхности в архитектуре.....	75
<b>Холодова Е.В.</b> Раскрытие особенностей влияния архитектуры Москвы и Замосковского края на усадебное строительство Курского края 1-й половины XVIII в.: источники и объекты исследования.....	85

### Строительные материалы и технологии

<b>Алтынбекова А.Д., Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б., Дюсембинов Д.С., Ержанова Н.К.</b> Удобоукладываемый бетон быстрого твердения для производства буронабивных свай.....	99
<b>Ткач Е.В., Филимонова Ю.С., Корнеев А.И.</b> Тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором с повышенными эксплуатационными показателями.....	112

<b>Отзыв на учебное пособие «Инновационные технологии в строительстве городов. Биосферная совместимость и человеческий потенциал».....</b>	120
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

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](mailto: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 №ФЧ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»  
**86294** on the websites [www.pressa-rr.ru](http://www.pressa-rr.ru) and  
[www.akc.ru](http://www.akc.ru)

© Orel State University, 2022

## Contents

### Theory of engineering structures. Building units

- Kolchunov V.I.** Deplanation hypotheses for angular deformations in reinforced concrete structures under combined torsion and bending..... 3
- Loktionov A.P.** Inverse Cauchy problem for beams in building structures..... 13
- Nadolski V.V., Podymako V.I.** The evaluation of ultimate resistance of steel beams to combined shear and patch loading by finite element method..... 26

### Building and structure safety

- Orlovich R.B., Zimin S.S., Derkach V.N.** The efficiency of reinforcing stone vaults with composite materials..... 44
- Popov D.S.** Experimental studies of dynamic properties of corrosion-damaged compressed reinforced concrete elements..... 55
- Rimshin V.I., Kurbatov V.L., Erofeev V.T., Ketsko E.S.** Degradation damages survey of the silt reservoir structures..... 65

### Architecture and town-planning

- Strashnov S.V., Mabhena S.M., Alborova L.A.** Folded surfaces in architecture..... 75
- Kholodova E.V.** Disclosure of the features of the influence of architecture of Moscow and the Zamoskovny region on the estate construction of the Kursk region in the 1st half of the 18th century: sources and objects of research 85

### Construction materials and technologies

- Altynbekova A.D., Lukpanov R.E., Yenbekaev S.B., Dyusseminov D.S., Yerzhanova N.K.** Fast-hardening workable concrete for the production of bored..... 99
- Tkach E.V., Filimonova Yu.S., Korneev A.I.** Heavy concrete based on polydisperse binder with complex polymer modifier with increased performance indicators..... 112
- Review on the book "Innovative technologies in the construction of cities. Biospheric compatibility and human potential"..... 120**

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



В.Л.И. КОЛЧУНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

## ГИПОТЕЗЫ О ДЕПЛАНАЦИИ СЕЧЕНИЯ ОТ ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ, ИСПЫТЫВАЮЩИХ КРУЧЕНИЕ С ИЗГИБОМ

**Аннотация.** В статье проведен анализ гипотез о депланации угловых деформаций в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением. Рассмотрен простой способ из семейства метод сеток для аппроксимации деформаций сложных функций при рассматриваемом сложном напряженном состоянии. Построены и проанализированы эпюры угловых и линейных деформаций в таких конструкциях для нахождения этих деформаций, изгибающих и крутящих моментов воспринимаемых бетоном сжатой области с использованием принятых гипотез и коэффициентов для проецирования нормальных и касательных напряжений (деформаций) посредством диаграмм сжатого бетона и рабочей арматуры. Аппроксимацией расчетного сечения малыми квадратами построена пространственная поверхность деформаций, с соответствующими градиентами этих деформаций в сечении с трещиной и на этой основе записаны выражения для суммарных продольных деформаций и деформаций сдвига в сечении элемента при изгибе с кручением. С использованием мембранной аналогии функций напряжений Тимошенко-Гудьера и предложенного варианта новых сложных функций из семейства метода сеток проведен анализ погрешности нахождения значения сложных функций в рассмотренных характерных точках (2%) и в любых точках поперечного сечения (7%).

Использование предложенных гипотез и приведенного варианта сложных функций позволяет учитывать депланацию сложнонапряженного сечения железобетонного элемента с трещинами, испытывающего изгиб с кручением.

**Ключевые слова:** билинейная поверхность, опасная пространственная трещина, деформационный эффект железобетона, депланация, градиент, векторы, фибры, форма эпюры.

VL.I. KOLCHUNOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Southwestern State University, Kursk, Russia

## DEPLANATION HYPOTHESES FOR ANGULAR DEFORMATIONS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER COMBINED TORSION AND BENDING

**Abstract.** The article analyzes the hypothesis of deplanation of angular deformations in reinforced concrete structures during bending with torsion. A simple method from the field of the grid methods for approximating the deformations of complex functions under the 3D stress state is considered. Diagrams of angular and linear deformations in such structures were built and analyzed to find these deformations, bending and torques perceived by the concrete of the compressed area using the accepted hypotheses and coefficients for projecting normal and shear stresses (strains) through diagrams of compressed concrete and working reinforcement. Approximating the calculated section by small squares, a spatial surface of deformations was constructed. This is with the corresponding gradients of these deformations in the section with a crack, and on this basis, expressions were written for the total longitudinal deformations in the section and shear deformations in the section of the element during bending with torsion. Using the membrane analogy of the Timoshenko-Goodyear stress

*functions and the proposed version of new complex functions from the field of the grid method, an analysis was made of its error, when we find the value of complex functions at the considered characteristic points (2%) and at any points of the cross section (7%).*

*The use of the proposed hypotheses and the given version of complex functions makes it possible considering the warping of the 3D stressed section of a reinforced concrete element with cracks undergoing bending with torsion.*

**Keywords:** *bilinear surface, dangerous spatial crack, deformation effect of reinforced concrete, deplanation, delta jump functions, vectors, fibers.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В.М., Колчунов. Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.
2. Верюжский Ю.В., Гольшев А.Б., Колчунов Вл.И., Клюева 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.
3. Гольшев А.Б., Колчунов. Вл.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа. 2009. 432 с.
4. Гольшев А.Б., Колчунов. Вл.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях. К.: «Талком», 2015. 371 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. Колчунов Вл. И., Демьянов А. И., Протченко М. В. Моменты в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением // Строительство и реконструкция. 2021. № 3(95). С. 27-46. <http://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46>.
7. Kolchunov V.I., Dem'yanov A., Protchenko M. The new hypothesis angular deformation and filling of diagrams in bending with torsion in reinforced concrete structures. Journal of Applied Engineering Science. 2022, Vol.19(4). Pp. 972-979, <http://doi.org/10.5937/jaes0-32660>
8. Kolchunov V., Demyanov A., Shankov V., Grichishnikov S. The New Linear Deformations Hypothesis of Reinforced Concrete Under Combined Torsion and Bending. Proceedings of MPCPE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_9)
9. Kolchunov V., Dem'yanov A., Naumov N. Analysis of the “nagel effect” in reinforced concrete structures under torsion with bending. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Pp. 953.
10. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. №3(51). Pp. 7-26. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.51.3.001>.
11. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon M., Lee J.-Y.: Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars. ACI Struct. J. 116, 251-233 (2019). <https://doi.org/10.14359/51718014>.
12. Bernardo L.: Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. Appl. Sci. 9, 2730 (2019). <https://doi.org/10.3390/app9132730>.
13. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments. Advances in Structural Engineering, 24(6), 1456–1465 (2021). <https://doi.org/10.1177/1369433220981660>.
14. Křístek V., Průša J., Vítek J.L. Torsion of Reinforced Concrete Structural Members // Solid State Phenomena 2018. Vol. 272. Pp. 178-184. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.272.178>.
15. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study. Electronic Journal of Structural Engineering. 2007. No. 7. Pp. 1–7.
16. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
17. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. Applied Sciences. 2019. Vol. 9(13). p. 2750. <http://doi.org/10.3390/app9132730>.
18. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model. International Journal of Mechanical Sciences. 2005. Vol. 47. Pp.1477-1497.
19. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites. Procedia Engineering. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.

20. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475. <http://doi.org/10.1007/s12205-019-1292-7>.

## REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov. V.I. Calculation models of the force resistance of reinforced concrete. M.: ASV, 2004. 472 p.
2. Veryuzhsky 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.: Textbook. M.: ASV, 2014. 432 p.
3. Golyshev A.B., Kolchunov. V.I. Reinforced concrete resistance. K: Osnova. 2009. 432 p.
4. Golyshev A.B., Kolchunov. V.I., Yakovenko I.A. Resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in difficult engineering and geological conditions. K.: Talcom, 2015. 371 p.
5. Колчунов Вл. И., Федоров В.С. Conceptual hierarchy of models in the theory of resistance of building structur. *Industrial and civil engineering*. 2020. №8. Pp. 16–23. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.08.16-23>.
6. Kolchunov V.I., Demyanov A.I., Protchenko M.V. Moments in reinforced concrete structures under bending with torsion. *Building and Reconstruction*. 2021; (3): 27-46. (In Russ.) <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46>
7. Kolchunov V.I., Dem'yanov A., Protchenko M., The new hypothesis angular deformation and filling of diagrams in bending with torsion in reinforced concrete structures // *Journal of Applied Engineering Science*. 2022. Vol.19(4). Pp. 972-979. <http://doi.org/10.5937/jaes0-32660>
8. Kolchunov V., Demyanov A., Shankov V., Grichishnikov S. The New Linear Deformations Hypothesis of Reinforced Concrete Under Combined Torsion and Bending. *Proceedings of MPCPE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*, Vol. 182. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85236-8_9)
9. Kolchunov V., Dem'yanov A., Naumov N. Analysis of the “nagel effect” in reinforced concrete structures under torsion with bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Pp. 953.
10. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2021. №3(51). Pp. 7-26. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.51.3.001>.
11. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon M., Lee J.-Y.: Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars. *ACI Struct. J*. 116, 251-233 (2019). <https://doi.org/10.14359/51718014>.
12. Bernardo L.: Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. *Appl. Sci*. 9, 2730 (2019). <https://doi.org/10.3390/app9132730>.
13. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments. *Advances in Structural Engineering*, 2021, 24(6), Pp. 1456–1465. <https://doi.org/10.1177/1369433220981660>.
14. Krístek V., Průša J., Vítek J.L. Torsion of Reinforced Concrete Structural Members // *Solid State Phenomena* 2018. Vol. 272. Pp. 178-184. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.272.178>.
15. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2007. No. 7. Pp. 1–7.
16. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
17. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9(13). p. 2750. <http://doi.org/10.3390/app9132730>.
18. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2005. Vol. 47. Pp.1477-1497.
19. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289.
20. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475. <http://doi.org/10.1007/s12205-019-1292-7>.

**Информация об авторе:**

**Колчунов Владимир Иванович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,

член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры уникальных зданий и сооружений.

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto: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 of the Department of Unique Buildings and Structures.

E-mail: [vlik52@mail.ru](mailto:vlik52@mail.ru)

А.П. ЛОКТИОНОВ<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия

## ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КОШИ ДЛЯ БАЛОК В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

**Аннотация.** Предложен показатель качества коэффициентной сеточной обратной задачи Коши для балок в строительных конструкциях. Показатель построен на основе теории регуляризации обратных задач. Аналитически и натурным экспериментом смоделировано шарнирное опирание балки на колонну. Информационно-измерительной системой исследованы модели измерения и вычислений при равномерной непрерывной норме погрешности измерения прогибов и вычисления параметров идентификации балки. Модели отличаются различными сочетаниями видов внешней нагрузки.

Мера влияния погрешности средства измерений и распределения узлов сетки аппроксимации на погрешность определения коэффициентов уравнения прогибов балки с фиксированным младшим коэффициентом описана безразмерным абсолютным числом обусловленности задачи. Проанализированы значения безразмерного абсолютного числа обусловленности и показателя качества задачи в зависимости от распределения узлов сетки аппроксимации, погрешности средства измерений и типа модели измерения и вычислений.

Предложено использовать полученные аналитические зависимости для анализа строительных конструкций на стадии экспериментально-теоретических исследований.

**Ключевые слова:** балка, обратная задача Коши, модель измерения, прогиб, информационно-измерительная система, численное дифференцирование.

A.P. LOKTIONOV<sup>1</sup><sup>1</sup>Southwest State University, Kursk, Russia

## INVERSE CAUCHY PROBLEM FOR BEAMS IN BUILDING STRUCTURES

**Abstract.** A quality index of the coefficient grid inverse Cauchy problem for beams in building structures is proposed. The indicator is based on the theory of regularization of inverse problems. An articulated support of a beam on a column is modeled analytically and by a full-scale experiment. Models of measurement and calculation are investigated for a uniform continuous error rate of deflection measurement and calculation of beam identification parameters. Models differ in various combinations of types of external load.

A measure of the influence of the error of the measuring instrument and the distribution of approximation grid nodes on the error in determining the coefficients of the beam deflection equation with a fixed first coefficient is proposed. The measure of influence is described by the dimensionless absolute condition number of the problem. The values of the dimensionless absolute condition number and the quality index of the problem are analyzed depending on the distribution of approximation grid nodes, the error of the measuring instrument, and the type of measurement and calculation model.

It is proposed to use the obtained analytical dependencies for the analysis of building structures at the stage of experimental and theoretical studies.

**Keywords:** beam, inverse Cauchy problem, measurement model, deflection, information-measuring system, numerical differentiation.

© Локтионов А.П., 2022

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельмутер А.В. Обратные задачи строительной механики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. №22(4). С. 83-101. doi: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-83-101.



2. Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л., Тонков И.Л. Интеллектуальная автоматизация инженерного обследования строительных объектов // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13(3). Pp. 42–57. <https://doi.org/10.22337/1524-5845-2017-13-3-42-57>.
3. Shi Z., O'Brien W. Development and implementation of automated fault detection and diagnostics for building systems: A review // *Automation in Construction*. 2019. № 104. P. 215-229. doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.002
4. Meshchikhin I.A., Gavryushin S.S. The envelope method in the problem of choosing a rational composition of measuring instruments // *Measurement Techniques*. 2021. № 64. P. 151-155. doi: <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01910-8>.
5. Lehmhus D., Busse M. Structural health monitoring (SHM). In: Bosse S., Lehmhus D., Lang W. (eds). *Material Integrated Intelligent Systems Technology and Applications: Technology and Applications*. John Wiley & Sons Inc.; 2018. P. 529–570. 696 p. <https://doi.org/10.1002/9783527679249>.
6. Chen H-P., Ni Yi-Q. Structural health monitoring of large civil engineering structures. 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA: John Wiley & Sons Inc., 2018. 302 p. doi:10.1002/9781119166641.
7. Бойков И.В., Кривулин Н.П. Приближённый метод восстановления входных сигналов измерительных преобразователей // *Измерительная техника*. 2021. № 12. С. 3-7. doi: 10.32446/0368-1025it.2021-12-3-7.
8. Building structural health monitoring using dense and sparse topology wireless sensor network / M.E. Haque, M.F.M. Zain, M.A. Hannan, M.H. Rahman // *Smart Structures and Systems*. 2015. Vol. 16(4). P. 607-621. <https://doi.org/10.12989 / sss.2015.16.4.623>.
9. Локтионов А. П. Информационная система анализа балочных элементов под комбинированной нагрузкой // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2021. № 2. С. 45-52. doi: 10.37538/0039-2383.2021.2.45.52.
10. Tushina V.M. Semi-rigid steel beam-to-column connections // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. Vol. 73(5). Pp. 25-39. <https://doi.org/10.18720/MCE.73.3>.
11. Tushina O.A., Danilov A.I. The stiffness of rigid joints of beam with hollow section column // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. Vol. 64(4). Pp. 40–51. <https://doi.org/10.5862/MCE.64.4>.
12. Люблинский В.А., Томина М.В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // *Системы. Методы. Технологии*. 2018. №3 (39). С. 154-158. doi: 10.18324/2077-5415-2018-3-154-158.
13. Малахова А.Н., Маринина Д.А. Податливость вертикальных стыков крупнопанельных зданий на закладных деталях // *Строительство и реконструкция*. 2019. №6 (86). С.10-18. doi: 10.33979/2073-7416-2019-86-6-10-18.
14. Siraya T.N. Methods of data processing in measurements and metrological models // *Measurement Techniques*. 2018. №61. P. 9-16. <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1380-y>.
15. Smirnova A., Bakushinsky A. On iteratively regularized predictor-corrector algorithm for parameter identification // *Inverse Problems*. 2020. Vol. 36. No. 12. id.125015. P. 30. doi: [10.1088/1361-6420/abc530](https://doi.org/10.1088/1361-6420/abc530).
16. Danilov M.F., Savel'eva A.A. Analysis of basic data of unstable problems of coordinate measurements of geometrical parameters of products // *Measurement Techniques*. 2018. Vol. 61(6). P. 588-594. doi:10.1007/s11018-018-1469-3.
17. Балакин Д.А., Пытьев Ю.П. Редукция измерения при наличии субъективной информации // *Математическое моделирование и численные методы*. 2018. Т. 30. № 12. С. 84–110. doi:[10.31857/S023408790001938-5](https://doi.org/10.31857/S023408790001938-5).
18. Chekushkin V.V., Mikheev K.V. Fast search algorithms for the best approximation polynomials for reproduction of functional dependences in data-measurement systems // *Measurement Techniques*. 2016. Vol. 59(4). P. 351-356. <https://doi.org/10.1007/s11018-016-0970-9>.
19. Мещихин И.А., Гаврюшин С.С. Критерии качества и алгоритм выбора редуцированных моделей для мониторинга технических конструкций // *Математическое моделирование и численные методы*. 2016. Т. 12. № 4. С. 103-121. <https://doi.org/10.18698/2309-3684-2016-4-103121>.
20. Verbrugge M.W., Wampler C.W., Baker D.R. Smoothing methods for numerical differentiation to identify electrochemical reactions from open-circuit-potential data // *Journal of The Electrochemical Society*. 2018. Vol. 165 No. 16. P. A4000-A4011. <https://doi.org/10.1149/2.0951816.jes>.
21. Ватульян А.О., Плотников Д.К. Обратные коэффициентные задачи в механике // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика*. 2019. № 3. С. 37-47. doi: 10.15593/perm.mech/2019.3.0.
22. Denisov A. M. Iterative Method for Solving an Inverse Coefficient Problem for a Hyperbolic Equation // *Differential Equations*. 2017. Vol. 53. No. 7. Pp. 916–922. doi:[10.1134/S0012266117070084](https://doi.org/10.1134/S0012266117070084).
23. Loktionov A.P. A measuring system for determination of a cantilever beam support moment // *Smart Structures Systems*. 2017. No. 4. Pp. 431-439. doi: 10.12989 / sss.2017.19.4.431.
24. Loktionov A.P. Numerical differentiation in the measurement model // *Measurement Techniques*. 2019. No. 62. Pp. 673-680. <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01677-z>.

25. Кудрявцев К.Я. Алгоритм построения полинома наилучшего равномерного приближения по экспериментальным данным // Вестник национального исследовательского ядерного университета МИФИ. 2019. Т. 8(5). С. 480-486. <https://doi.org/10.1134/S2304487X1905002X>.
26. Kalenchuk-Porkhanova A. Best Chebyshev approximation for compression of big information arrays // Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference named after A. I. Kitov "Information Technologies and Mathematical Methods in Economics and Management (IT&MM-2020)". October 15-16, 2020. Moscow, Russia. P. 1-13. URL: <http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/ftp/pub/publications/CEUR-WS/Vol-2830.zip.paper25.pdf>. (дата обращения 20.03.2022).
27. Калиткин Н.Н., Колганов С.А. Построение аппроксимаций, удовлетворяющих чебышевскому альтернансу. Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2020. № 91. 33 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2020-91>.
28. Локтионов А.П. О численном дифференцировании при полиномиальном приближении Курск. Гос. техн. ун-т. Курск, 1999. 28 с. Деп. в ВИНТИ 28.06.99, № 2080-B99. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24302755>.
29. Локтионов А.П., Максимов Ю.А., Титов В.С. О численном дифференцировании в обратной задаче Коши // Сварка и родственные технологии в машиностроении и Информатика, вычислительная техника и электронике: сборник научных тр. Вып. 4. Курск., 2002. С. 263-268. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21788616>. (дата обращения: 20.03.2022).
30. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Shershneva E.O., Breus I.V. Approximation methods for the actual trajectory of load carried by overhead crane to the required one – a comparative analysis // Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics. 2016. Vol. 10. No. 2. P. 45-56. URL: [http://www.sscm.kg.ac.rs/jsscm/downloads/Vol10No2/Vol10No2\\_05.pdf](http://www.sscm.kg.ac.rs/jsscm/downloads/Vol10No2/Vol10No2_05.pdf). (дата обращения: 20.03.2022).
31. Ibrahimoglu B.A. Lebesgue functions and Lebesgue constants in polynomial interpolation // Journal of Inequalities and Applications. 2016. No. 93. P. 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13660-016-1030-3>.
32. Yang C. Sensor placement for structural health monitoring using hybrid optimization algorithm based on sensor distribution index and FE grids // Structural Control and Health Monitoring. 2018. Vol. 5(6). <https://doi.org/10.1002/stc.2160>.
33. Золотарёв Е.И. Приложение эллиптических функций к вопросам о функциях, наименее и наиболее отклоняющихся от нуля // В кн.: Золотарёв Е.И. Полное собрание сочинений. Выпуск второй. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. С. 1–59. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu01.2020.101>.

## REFERENCES

1. Perelmuter A.V. Obratnye zadachi stroitel'noi mekhaniki [Inverse problems of structural mechanics]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2020. Vol. 22. No. 4. Pp. 83-101. (rus). doi: 10.31675/1607-1859-2020-22-4-83-101 (rus).
2. Kashevarova G.G., Tonkov, Y.L., Tonkov I.L. Intellektual'naya avtomatizatsiya inzhenernogo obsledovaniya stroitel'nykh ob'ektov [Intellectual automation of engineering survey of building objects]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2017. Vol. 13. No. 3. Pp. 42-57. (rus). <https://doi.org/10.22337/1524-5845-2017-13-3-42-57> (rus).
3. Shi Z., O'Brien W. Development and implementation of automated fault detection and diagnostics for building systems: A review. Automation in Construction. 2019. No. 104. Pp. 215-229. doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.002.
4. Meshchikhin I.A., Gavryushin S.S. The envelope method in the problem of choosing a rational composition of measuring instruments. Measurement Techniques. 2021, No. 64. Pp. 151-155. doi: <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01910-8>.
5. Lehmhus D., Busse M., Structural Health Monitoring (SHM). In: Bosse S., Lehmhus D., Lang W. (eds). Material Integrated Intelligent Systems Technology and Applications: Technology and Applications. John Wiley & Sons Inc.; 2018. Pp. 529–570. 696 p. <https://doi.org/10.1002/9783527679249>.
6. Chen H-P., Ni Yi-Q. Structural health monitoring of large civil engineering structures. 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA: John Wiley & Sons Inc., 2018. 302 p. doi:10.1002/9781119166641.
7. Boikov I.V., Krivulin N.P. Priblizhyonnyj metod vosstanovleniya vxodnyx signalov izmeritel'nyx preobrazovatelej [On an approximate method for reconstructing input signals of measuring transformers]. Izmeritel'naya tekhnika. 2021. No. 12. Pp. 3-7. doi: 10.32446/0368-1025it.2021-12-3-7 (rus).
8. Haque M.E., Zain M.F.M., Hannan M.A., Rahman M.H. Building structural health monitoring using dense and sparse topology wireless sensor network. Smart Structures and Systems. 2015. Vol. 16. No. 4. Pp. 607-621. <https://doi.org/10.12989/sss.2015.16.4.623>.
9. Loktionov A.P. Informacionnaya sistema analiza balochnyx elementov pod kombinirovannoj nagruzkoy [Information system for analysis of beam elements under combined load]. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2021. No. 2. Pp. 45-52. doi: 10.37538/0039-2383.2021.2.45.52 (rus).
10. Tushina V.M. Semi-rigid steel beam-to-column connections. Magazine of Civil Engineering. 2017. Vol. 73. No. 5. Pp. 25-39. <https://doi.org/10.18720/MCE.73.3>.

11. Tusnina O.A., Danilov A.I. The stiffness of rigid joints of beam with hollow section column. Magazine of Civil Engineering. 2016. Vol. 64. No. 4. Pp. 40-51. <https://doi.org/10.5862/MCE.64.4>.
12. Lyublinskiy V.A., Tomina M.V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti i podatlivosti vertikal'nogo svarnogo styka [Experimental study of the strength and suppleness of a vertical welded joint]. Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2018. Vol. 3. No. 39. Pp. 154-158. doi: 10.18324/2077-5415-2018-3-154-158 (rus).
13. Malakhova A.N., Marinina D.A. Podatlivost' vertikal'ny'x sty'kov krupnopanel'ny'x zdaniy na zakladny'x detal'yax [The compliance of vertical joints of large-panel buildings made on embedded parts]. Building and Reconstruction. 2019. Vol. 86. No. 6. Pp. 10-18. doi: 10.33979/2073-7416-2019-86-6-10-18 (rus).
14. Siraya T. N. Methods of data processing in measurements and metrological models. Measurement Techniques. 2018. No. 61. Pp. 9-16. <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1380-y>.
15. Smirnova A., Bakushinsky A. On iteratively regularized predictor-corrector algorithm for parameter identification. *Inverse Problems*. 2020. Vol. 36. No. 12. id.125015. P. 30. doi: [10.1088/1361-6420/abc530](https://doi.org/10.1088/1361-6420/abc530).
16. Danilov M.F., Savel'eva A.A. Analysis of basic data of unstable problems of coordinate measurements of geometrical parameters of products. Measurement Techniques. 2018. Vol. 61. No. 6. Pp. 588-594. doi:10.1007/s11018-018-1469-3.
17. Balakin D. A., Pyt'ev Yu. P. Redukciya izmereniya pri nalichii sub`ektivnoj informacii [Measurement reduction in the presence of subjective information]. Matematicheskoe modelirovanie i chislenny'e metody. 2018. Vol. 30. No. 12. C. 84–110. doi: [10.31857/S023408790001938-52016](https://doi.org/10.31857/S023408790001938-52016).
18. Chekushkin V.V., Mikheev K.V. Fast search algorithms for the best approximation polynomials for reproduction of functional dependences in data-measurement systems. Measurement Techniques. 2016. Vol. 59. No. 4. Pp. 351-356. <https://doi.org/10.1007/s11018-016-0970-9>.
19. Meschikhin I.A., Gavryushin S.S. Kriterii kachestva i algoritm vy'bora reducirovanny'x modelej dlya monitoringa texnicheskix konstrukcij [Quality criteria and algorithm for selecting reduced finite element models for technical design monitoring]. Matematicheskoe modelirovanie i chislenny'e metody. 2016. Vol. 12. No. 4. Pp. 103-121. <https://doi.org/10.18698/2309-3684-2016-4-103121> (rus).
20. Verbrugge M.W., Wampler C.W., Baker D.R. Smoothing methods for numerical differentiation to identify electrochemical reactions from open-circuit-potential data. Journal of The Electrochemical Society. 2018. Vol. 165. No. 16. Pp. A4000-A4011. <https://doi.org/10.1149/2.0951816jes>.
21. Vatulyan A.O., Plotnikov D.K. Obratny'e koefficientny'e zadachi v mexanike [Inverse coefficient problems in mechanics]. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politexnicheskogo universiteta. Mexanika. 2019. No. 3. Pp. 37-47. doi: 10.15593/perm.mech/2019.3.04.
22. Denisov A.M. Iterative Method for Solving an Inverse Coefficient Problem for a Hyperbolic Equation. Differential Equations. 2017. Vol. 53. No. 7. Pp. 916–922. doi: [10.1134/S0012266117070084](https://doi.org/10.1134/S0012266117070084).
23. Loktionov A.P. A measuring system for determination of a cantilever beam support moment. Smart Structures Systems. 2017. Vol. 19. No. 4. Pp. 431-439. <https://doi.org/10.12989/ss.2017.19.4.431>.
24. Loktionov A.P. Numerical differentiation in the measurement model. Measurement Techniques. 2019. No. 62. Pp. 673-680. <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01677-z>.
25. Kudryavcev K.Ya. Algoritm postroeniya polinoma nailuchshego ravnomernogo priblizheniya po eksperimental'nym dannym [Algorithm for constructing a polynomial of the best uniform approximation from experimental data]. Vestnik nacional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta MIFI. 2019. Vol. 8. No. 5. Pp. 480-486. <https://doi.org/10.1134/S2304487X1905002X>.
26. Kalenchuk-Porkhanova A. Best Chebyshev approximation for compression of big information arrays. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference named after A. I. Kitov "Information Technologies and Mathematical Methods in Economics and Management (IT&MM-2020)". October 15-16. 2020. Moscow, Russia. Pp. 1-13. URL: <http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/ftp/pub/publications/CEUR-WS/Vol-2830.zip.paper25.pdf>. (accessed 20.03.2022).
27. Kalitkin N.N., Kolganov S.A. Postroenie approksimatsii, udovletvoryayushchikh chebyshevskomu al'ternansu, The construction of approximations satisfying the Chebyshev alternance Preprinty IPM im. M.V. Keldysha, 2020. № 91. 33 s. <https://doi.org/10.20948/prepr-2020-91> (rus).
28. Loktionov A.P. O chislenom differencirovanii pri polinomial'nom priblizhenii [On numerical differentiation under polynomial approximation]. Kursk. Gos. texn. un-t. Kursk., 1999. P. 28. Dep. v VINITI 28.06.99. № 2080-B99. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24302755>. (rus)
29. Loktionov A. P., Maksimov Yu.A., Titov V.S. O chislenom differencirovanii v obratnoj zadache Koshi [Numerical differentiation in the inverse Cauchy problem]. Svarka i rodstvennyye tekhnologii v mashinostroyenii i elektronike. Sbornik nauchnykh tr. Is. 4. Kursk., 2002. Pp. 263-268. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21788616>. (accessed 20.04.2021) (rus).
30. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Shershneva E.O., Breus I.V. Approximation methods for the actual trajectory of load carried by overhead crane to the required one – a comparative analysis. Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics. 2016. Vol. 10. No. 2. Pp. 45-56. URL: [http://www.sscm.kg.ac.rs/jsscm/downloads/Vol10No2/Vol10No2\\_05.pdf](http://www.sscm.kg.ac.rs/jsscm/downloads/Vol10No2/Vol10No2_05.pdf). (accessed 20.03.2022).

31. Ibrahimoglu B.A. Lebesgue functions and Lebesgue constants in polynomial interpolation. Journal of Inequalities and Applications. 2016. No. 93. Pp. 1-15. <https://doi.org/10.1186/s13660-016-1030-3>.
32. Yang C. Sensor placement for structural health monitoring using hybrid optimization algorithm based on sensor distribution index and FE grids. Structural Control and Health Monitoring. 2018. Vol. 5. No. 6. P. 2160. <https://doi.org/10.1002/stc.2160>.
33. Zolotarev E.I. Application of elliptic functions to questions of functions deviating least and most from zero, In: Collected works 2. 1–59 (Izdat. Akad. Nauk SSSR, Moscow, 1932). (rus). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu01.2020.101>.

**Информация об авторе:**

**Локтионов Аскольд Петрович**

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,  
доктор технических наук, доцент.

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

**Information about author:**

**Loktionov Askold P.**

Southwest State University, Kursk, Russia,  
doctor of Engineering, Associate Professor.

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

В.В. НАДОЛЬСКИЙ<sup>1</sup>, В.И. ПОДЫМАКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНЫХ И СДВИГОВЫХ УСИЛИЙ

***Аннотация.** Стальные балки с гибкими стенками привлекают своей эффективностью при работе на изгиб. Для таких балок весьма актуальным становится вопрос обеспечения местной устойчивости. Расчетные формулы в большинстве случаев сложны и имеют ограниченную область применения. В связи с этим особое место приобретают расчеты на основе КЭ моделей, которые позволяют более универсально учесть всю специфику проектируемого элемента. В статье рассматривается расчет устойчивости стенки балки при совместном действии локальных и сдвиговых усилий посредством конечно-элементного моделирования. Созданы численные модели и произведен сравнительный анализ с экспериментальными результатами. Представлено описание принципов построения КЭ моделей (размер сетки КЭ, модель материалов и т.д.), которые необходимо соблюдать при оценке несущей способности балок с гибкими стенками. Анализ чувствительности КЭ модели к входным параметрам выявил наиболее важные параметры (предел текучести стали, толщина стенки), неопределенность которых необходимо учитывать при создании КЭ моделей. Сходимость результатов позволяет использовать метод конечных элементов при проектировании стальных балок для качественной и количественной оценке несущей способности. Однако требуется дальнейшая разработка унифицированных принципов построения КЭ моделей и их верификация на большем количестве экспериментальных данных, а также определение частных коэффициентов для учета изменчивости и неопределенности получаемых результатов с учетом регламентированных параметров надежности.*

***Ключевые слова:** местная устойчивость стенки, моделирование, метод конечных элементов, несовершенство, дискретизация, критическая сила, численная модель.*

V.V. NADOLSKI<sup>1</sup>, V.I. PODYMAKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

## THE EVALUATION OF ULTIMATE RESISTANCE OF STEEL BEAMS TO COMBINED SHEAR AND PATCH LOADING BY FINITE ELEMENT METHOD

***Abstract.** Thin-web steel girders attract with their efficiency in bending work. For such girders, the issue of ensuring local stability becomes very relevant. Calculation formulas in most cases are complex and have a limited scope of application. While the calculations based on FE models make it possible to more universally consider all the specifics of the designed element. The article deals with the calculation of the stability of the web girder under the combination of patch and shear loading by finite element modelling. Numerical models have been created and a comparative analysis with experimental results has been carried out. A description of the principles for constructing FE models (mesh size, material model, etc.), which must be observed when assessing the resistance and behaviour of beams with thin web, is presented. Sensitivity analysis of the FE model to the input parameters revealed the most important parameters (yield strength of steel, web thickness), the uncertainty of which must be taken into account when creating FE models. The convergence of the results allows the use of the finite element method in the design of steel beams for a qualitative and quantitative assessment of the resistance. However, further development of unified principles for creating FE models and their verification on a larger amount of experimental data is required, as well as the determination of partial*



factors to take into account the variability and uncertainty of the results obtained, taking into account the regulated reliability parameters.

**Keywords:** stability of the web panel, modelling, finite element method, imperfections, discretization, critical force, numerical model.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roberts T. M., Shahabian F. Combined Shear and Patch Loading of Plate Girders. *Journal of Structural Engineering, ASCE*. 2000. Vol. 126. No. 3. Pp. 316-321.
2. Roberts T. M., Shahabian F. Ultimate resistance of slender web panels to combined bending shear and patch loading. *Journal of Constructional Steel Research*. 2001. Vol. 57 No. 7. Pp. 779-790. ISSN 0143-974X.
3. Braun B. Stability of steel plates under combined loading. Mitteilungen: Institut für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart, 2010. 226 p.
4. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements. EN1993-1-5. CEN (European Committee for Standardization). Brussels, Belgium: CEN. 2006.
5. Johansson B., Maquoi R., Sedlacek G. New design rules for plated structures in Eurocode 3. *Journal of Constructional Steel Research*. 2001. Vol. 57. Pp. 279–311.
6. Надольский В. В., Мартынов Ю.С. Оценка ошибок моделей сопротивления сдвигу, принятых в EN 1993-1-5 и СНиП II-23 // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 7–20. doi: 10.22227/1997-0935.2013.5.7-20
7. 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.
8. Сидоров В. Н., Бадина Е. С. Нелокальные модели демпфирования в динамических расчетах конструкций из композитных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 9. С. 66-70.
9. 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.
10. Крылов А. С. Экспериментальная оценка точности расчетов стальных балок при различных граничных условиях // Строительство и реконструкция. 2019. № 1(81). С. 48-55.
11. Nadolski V. Á., Rózsás M., Sýkora. Calibrating partial factors - methodology, input data and case study of steel structures. *Periodica Polytechnica: Civil Engineering*. 2019. Vol. 63. No. 1. Pp. 222-242.
12. Мартынов Ю. С., Надольский В. В., Верева Ф. А. Стеновые панели на основе кассетных профилей. Часть 1. Теоретические исследования // Строительство и реконструкция. 2019. № 4(84). С. 26-37.
13. Кузнецов Д. Н., Емельянов Д. И., Павленко Т. М. Силовая сэндвич-панель поэлементной сборки // Строительная механика и конструкции. 2020. № 1(24). С. 70-84.
14. Yun X, Gardner L. Stress-strain curves for hot-rolled steels. *Journal of Constructional Steel Research*. 2017. No. 133. Pp. 36–46.
15. Конин Д.В., Одесский П.Д., Олуромби А.Р. Влияние диаграммы "б-е" на несущую способность при сжатии труб из стали высокой прочности // Строительство и реконструкция. 2017. № 5(73). С. 15-20.
16. Ведяков И. И., Конин Д. В., Олуромби А. Р., Нахвальнов П. В. Учет пластических деформаций при расчете фланцевых соединений // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 10. С. 9-16.
17. BSK. Boverkets Handbok om Stålkonstruktioner, BSK 07, November 2007.
18. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* (с Поправками, с Изменениями N 1, 2). М.: Стандартинформ, 2017.
19. СП 5.04.01-2021. Стальные конструкции. Минск : Минстройархитектуры, 2021.
20. Pavlovčič L., Detzel A., Kuhlmann U., Beg D. Shear resistance of longitudinally stiffened panels. Part 1: Tests and numerical analysis of imperfections. *Journal of Constructional Steel Research*. 2007. Vol. 63. No.3. Pp. 337-350.
21. Chacon R., Serrat M., Real E. The influence of structural imperfections on the resistance of plate girders to patch loading. *Thin-Walled Structures*. 2012. Vol. 53. Pp: 15–25.
22. Ruff D.C., Schulz U. Der Einfluss von Imperfektionen auf das Tragverhalten von Platten. *Stahlbau*. 1999. Vol. 68. No.10. Pp. 829–834.
23. Серпик И. Н., Школяренко Р. О. Расчет систем тонкостенных стержней корытообразного профиля с учетом стесненного кручения // Строительство и реконструкция. 2018. № 4(78). С. 31-41.
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.
25. Перельмутер А. В. Использование критерия отпорности для оценки предельного состояния конструкции // Вестник МГСУ. 2021. № 12(16). С. 1559-1566.
26. Тур В.В., Тур А.В., Лизогуб А.А. Проверка живучести конструктивных систем из сборного железобетона по методу энергетического баланса // Вестник МГСУ. 2021. № 8(16). С. 1015-1033.

## REFERENCES

1. Roberts T.M., Shahabian F. Combined Shear and Patch Loading of Plate Girders. *Journal of Structural Engineering*, ASCE. 2000. Vol. 126. No. 3. Pp. 316-321.
2. Roberts T.M., Shahabian F. Ultimate resistance of slender web panels to combined bending shear and patch loading. *Journal of Constructional Steel Research*. 2001. Vol. 57 No. 7. Pp. 779-790. ISSN 0143-974X.
3. Braun B. Stability of steel plates under combined loading. Mitteilungen: Institut für Konstruktion und Entwurf der Universität Stuttgart, 2010. 226 p.
4. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements. EN1993-1-5. CEN (European Committee for Standardization). Brussels, Belgium: CEN. 2006.
5. Johansson B., Maquoi R., Sedlacek G. New design rules for plated structures in Eurocode 3. *Journal of Constructional Steel Research*. 2001. Vol. 57. Pp. 279–311.
6. Nadol'skij V.V., Martynov Y.S. Ocenka oshibok modelej soprotivleniya sdvigu, prinyatyh v EN 1993-1-5 i SNiP II-23. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 5. Pp. 7–20. doi: 10.22227/1997-0935.2013.5.7-20 (rus)
7. Saiyan S.G., Paushkin A.G. Chislennoe parametricheskoe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya dvutavrovyyh balok s razlichnymi tipami gofirovannyh stenok. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 6. Pp. 676-687. (rus)
8. Sidorov V.N., Bad'ina E.S. Nelokal'nye modeli dempfirovaniya v dinamicheskikh raschetah konstrukcij iz kompozitnyh materialov. *Industrial and Civil Engineering*. 2021. No. 9. Pp. 66-70. (rus)
9. Perel'muter A.V., Tur V.V. Gotovy li my perejti k nelinejnomu analizu pri proektirovanii? *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. Vol. 13. Issue 3. Pp. 86-102. (rus)
10. Krylov A.S. Eksperimental'naya ocenka tochnosti raschetov stal'nyh balok pri razlichnyh granichnyh usloviyah. *Building and Reconstruction*. 2019. Vol. 81. No. 1. Pp. 48-55. (rus)
11. Nadolski V.Á., Rózsás M., Sýkora. Calibrating partial factors - methodology, input data and case study of steel structures. *Periodica Polytechnica: Civil Engineering*. 2019. Vol. 63. No. 1. Pp. 222-242.
12. Martynov Y.S., Nadol'skij V.V., Verevka F.A. Stenovye paneli na osnove kassetnyh profilej. Chast' 1. Teoreticheskie issledovaniya. *Building and Reconstruction*. 2019. Vol. 84. No. 4. Pp. 26-37. (rus)
13. Kuznecov D. N., Emel'yanov D. I., Pavlenko T. M. Silovaya sendvich-panel' poelementnoj sborki. *Structural mechanics and structures*. 2020. Vol. 24. No. 1. Pp. 70-84. (rus)
14. Yun X, Gardner L. Stress-strain curves for hot-rolled steels. *Journal of Constructional Steel Research*. 2017. No. 133. Pp. 36–46.
15. Konin D.V., Odesskij P.D., Oluombi A.R. Vliyanie diagrammy "Б-Е" na nesushchuyu sposobnost' pri szhatii trub iz stali vysokoj prochnosti. *Building and Reconstruction*. 2017. Vol. 73. No. 5. Pp. 15-20. (rus)
16. Vedyakov I.I., Konin D.V., Oluombi A.R., Nahval'nov P.V. Uchet plasticheskikh deformacij pri raschete flancevyh soedinenij. *Industrial and Civil Engineering*. 2021. No. 10. Pp. 9-16. (rus)
17. BSK. Boverkets Handbok om Stålkonstruktioner, BSK 07, November 2007.
18. SP 16.13330.2017 Stal'nye konstrukcii. Aktualizirovannaya redakciya SNiP II-23-81\* (s Popravkami, s Izmeneniyami N 1, 2). M.: Standartinform, 2017. (rus)
19. SP 5.04.01-2021 Stal'nye konstrukcii. Minsk : Minstrojarhitektury, 2021 (rus)
20. Pavlovčič L., Detzel A., Kuhlmann U., Beg D. Shear resistance of longitudinally stiffened panels. Part 1: Tests and numerical analysis of imperfections. *Journal of Constructional Steel Research*. 2007. Vol. 63. No.3. Pp. 337-350.
21. Chacon R., Serrat M., Real E. The influence of structural imperfections on the resistance of plate girders to patch loading. *Thin-Walled Structures*. 2012. Vol. 53. Pp. 15–25.
22. Ruff D.C., Schulz U. Der Einfluss von Imperfektionen auf das Tragverhalten von Platten. *Stahlbau*. 1999. Vol. 68. No.10. Pp: 829–834.
23. Serpik I.N., Shkolyarenko R.O. Raschet sistem tonkostennyh sterzhnej korytoobraznogo profilya s uchetom stesnennogo krucheniya *Building and Reconstruction*. 2018. Vol. 78. No. 4. Pp. 31-41. (rus)
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.
25. Perel'muter A.V. Ispol'zovanie kriteriya otpornosti dlya ocenki predel'nogo sostoyaniya konstrukcii. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 12. Pp. 1559-1566. (rus)
26. Tur V.V., Tur A.V., Lizogub A.A. Proverka zhivuchesti konstruktivnyh sistem iz sbornogo zhelezobetona po metodu energeticheskogo balansa. *Vestnik MGSU*. 2021. Vol. 16. No. 8. Pp. 1015-1033. (rus)

### Информация об авторах:

#### Надольский Виталий Валерьевич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительные конструкции.

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

**Подымако Владислав Игоревич**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь,  
магистрант кафедры строительные конструкции.

E-mail: [vipodymako@gmail.com](mailto:vipodymako@gmail.com)

**Information about authors:**

**Nadolski Vitali V.**

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
candidate of technical science (PhD), docent, associated professor of the department of Building constructions.

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

**Podymako Vladislav I.**

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
undergraduate of the department of Building constructions.

E-mail: [vipodymako@gmail.com](mailto:vipodymako@gmail.com)

Р.Б. ОРЛОВИЧ<sup>1</sup>, С.С. ЗИМИН<sup>2</sup>, В.Н. ДЕРКАЧ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «ПИ Геореконструкция», г. Санкт-Петербург, Россия

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

<sup>3</sup>Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ АРМИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ СВОДОВ КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

**Аннотация.** Рассматриваются каменные своды исторических зданий, которые из-за снижения несущей способности требуют ремонтно-восстановительных работ. Дается анализ механизмов разрушения цилиндрических сводов в зависимости от соотношения их высоты к пролету. Анализируются преимущества усиления сводов с помощью армирования композитными материалами. Дается описание технологии поверхностного армирования каменных конструкций с помощью композитных материалов на полимерцементной матрице FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix). Приводится методика экспериментальных исследований моделей армированных и не армированных сводов. На основе эксперимента показано, что эффективность армирования сводов предопределяется особенностями их напряженно-деформированного состояния и механизмов разрушения. В частности, эффективность армирования возрастает с увеличением отношения высоты сводов к его пролету. Данные результаты обоснованы тем, что в высоких сводах доминирующее значение имеет соотношение изгибающих моментов и продольных сил, а в случае пологих сводов в их сечениях доминируют продольные и поперечные силы, а разрушение происходит в виде скалывания по наклонным сечениям. Также эффективность армирования возрастает при их несимметричном нагружении относительно середины пролета. По результатам исследования построены графики зависимости максимальных вертикальных перемещений сводов, показывающих существенное влияние армирования на увеличение их жесткости. Кроме этого подчеркивается, что к настоящему моменту существует необходимость в устойчивой теории прочности сложных каменных конструкций – криволинейных, сводчатых и других, находящихся в сложном напряженном состоянии. Ее появление может существенно упростить и унифицировать расчеты, производимые при обследовании каменных зданий, составлении проектов их реставрации и реконструкции, решить проблемы прочности кладки современных фасадных систем.

**Ключевые слова:** каменные своды, цилиндрические своды, несущая способность сводов, усиление каменных сводов, армирование композитными материалами.

R.B. ORLOVICH<sup>1</sup>, S.S. ZIMIN<sup>2</sup>, V.N. DERKACH<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «PI Georekonstrukcia», Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia,

<sup>3</sup>Branch office of the RUE "Institute BelNIIS" - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus

## THE EFFICIENCY OF REINFORCING STONE VAULTS WITH COMPOSITE MATERIALS

**Abstract.** The stone vaults of historical buildings are considered, which, due to a decrease in bearing capacity, require repair and restoration work. An analysis is given of the mechanisms of destruction of cylindrical vaults depending on the ratio of their height to the span. The advantages of strengthening the vaults with the help of reinforcement with composite materials are analyzed.

*A description is given of the technology of surface reinforcement of stone structures using composite materials on a polymer cement matrix FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix). The technique of experimental studies of models of reinforced and non-reinforced vaults is given. On the basis of the experiment, it is shown that the effectiveness of the reinforcement of the vaults is determined by the features of their stress-strain state and failure mechanisms. In particular, the effectiveness of reinforcement increases with an increase in the ratio of the height of the vaults to its span. These results are substantiated by the fact that in high arches the ratio of bending moments and longitudinal forces is dominant, and in the case of flat arches, longitudinal and transverse forces dominate in their sections, and destruction occurs in the form of shearing along inclined sections. Also, the effectiveness of reinforcement increases with their asymmetric loading relative to the middle of the span. According to the results of the study, graphs of the dependence of the maximum vertical displacements of the vaults were constructed, showing a significant effect of reinforcement on increasing their rigidity. In addition, it is emphasized that by now there is a need for a stable theory of the strength of complex stone structures - curvilinear, vaulted and others that are in a complex stress state. Its appearance can significantly simplify and unify the calculations made when examining stone buildings, drawing up projects for their restoration and reconstruction, and solve the problems of the strength of the masonry of modern facade systems.*

**Keywords:** stone vaults, cylindrical vaults, load-bearing capacity of vaults, detection of stone vaults, reinforcement with composite materials.

### 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 [Текст]: Руководство по устройству и расчету арочных и сводчатых перекрытий. С-Петербург: Типография Ю.Н. Эрлих. 1901. 128 с.
3. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения [Текст]. 3-е издание. М.: Стройиздат, 1987.
4. Павлов В.В., Харьков Е.В. Восстановление работоспособности каменных арок и сводов. Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6(65) Стр. 65-70.
5. Ahnert R., Krause K. H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1,2. Berlin, 2009.
6. Jasięko J., Tomasz Ł., Rapp P. Naprawa, konserwacja i wzmocnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych; Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne: 2006.
7. Nowak R., Orłowicz R. Selected problems of failures and repairs of historic masonry vaults. MATEC Web Conf. 2019. 284. 05008.
8. Biolzi L.; Ghittoni C.; Fedele R.; Rosati G. Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding. Construction and Building Materials. 2013. 41. 182–190.
9. Hojdyś Ł. Wpływ wzmocnienia materiałami kompozytowymi sklepień murowych na ich nośność. Kraków, 2010.
10. Орлович Р.Б., Деркач В.А. Зарубежный опыт армирования каменных конструкций [Текст]. Жилищное строительство. 2011. №11.
11. Papanikolaou C., Triantafyllou T., Fabregat P.R. Increase of load-carrying capacity of masonry with textile reinforced rendering [Text]. Mauerwerk. № 19/2015. Pp. 40-51.
12. Van Parys L., Noel J., D. Lamblin, Bultot E., Delehouzee L. FE "Block & Interaction" Approach for Computing the Impact of Tower Inclinations on the Safety of a Masonry Arch System in the Our Lady Cathedral of Tournai (BE). Structural Analysis of Historical Constructions. Wrocław, 2012.
13. Alecci V., De Stefano M., Focacci F., Luciano R., Rovero L., Stipo G. Strengthening Masonry Arches with Lime-Based Mortar Composite. Buildings 2017. 7. 49.
14. Bednarz Ł., Jasięko J., DiTommaso A. Experimental Investigations into Collapse of Masonry Arches Reinforced Using Different Compatible Technologies. In Proceedings of Mechanics Of Masonry Structures Strengthened With Composite Materials. In Proceedings of the MuRiCo., Venice, Italy, 22-24, 2009.
15. Briccoli Bati S.; Rovero S.; Tonietti U. Experimental analysis on scale models of CFRP reinforced arches. In Proceedings of Mechanics Of Masonry Structures Strengthened With Composite Materials. In Proceedings of the MuRiCo., Venice, Italy, 22-24, 2009.
16. Castori G., Borri A., Ebaugh S., Casadei P. Strengthening masonry arches with composites. In Proceedings of Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006), Miami, Florida, USA, 13-15, 2006.
17. Corradi M., Borri A., Castori G., Coventry K. Experimental Analysis of Dynamic Effects of FRP Reinforced Masonry Vaults. Materials 2015, 8, 8059-8071.



18. Oliveira D., Basílio I., Lourenco P. FRP strengthening of masonry arches towards an enhanced behaviour. In Proceedings of The Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Porto, Portugal, 16–19, 2006.
19. Pantò B., Cannizzaro F., Caddemi S., Calì I., Chácará C., Lourenço P.B. Nonlinear Modelling of Curved Masonry Structures after Seismic Retrofit through FRP Reinforcing. *Buildings*, 2017. 7. 79.
20. Triantafillou T.C. Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates. *Journal of Composites for Construction*, 1998. 2. 96-104.
21. Luciano R., Sacco E. Damage of masonry panels reinforced by FRP sheets. *International Journal of Solids and Structures* 1998. 35. 1723-1741.

## REFERENCES

1. Исследование деформаций, расчёт несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. *Методические рекомендации*. М., 1989.
2. Бернгард В.Р. Арки и своды [Текст]: Руководство по устройству и расчёту арок и сводчатых перекрытий. С-Петербург: Типография Ю.Н. Эрлих. 1901. 128 с.
3. Физдел' И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения [Текст]. 3-е издание. М.: Стройиздат, 1987.
4. Pavlov V.V., Har'kov E.V. Vosstanovlenie rabotosposobnosti kamennyh arok i svodov. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*. 2017. № 6(65). Str. 65-70.
5. Ahnert R., Krause K.H. Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Band 1,2. Berlin, 2009.
6. Jasięńko J., Tomasz Ł., Rapp P. Naprawa, konserwacja i wzmocnianie wybranych, zabytkowych konstrukcji ceglanych; Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne: 2006.
7. Nowak R., Orłowicz R. Selected problems of failures and repairs of historic masonry vaults. *MATEC Web Conf.* 2019, 284, 05008.
8. Biolzi L., Ghittoni C., Fedele R., Rosati G. Experimental and theoretical issues in FRP-concrete bonding. *Construction and Building Materials* 2013. 41. 182–190.
9. Hojdyś Ł. Wpływ wzmocnienia materiałami kompozytowymi sklepień murowych na ich nośność. Kraków, 2010.
10. Orlovich R.B., Derkach V.A. Zarubezhnyj opyt armirovaniya kamennyh konstrukcij [Текст]. *ZHilishchnoe stroitel'stvo*, 2011. №11.
11. Papanikolaou C., Triantafillou T., Fabregat P.R. Increase of load-carrying capacity of masonry with textile reinforced rendering [Text]. *Mauerwerk*. № 19/2015. Pp. 40-51.
12. Van Parys L., Noel J., D. Lamblin, Bultot E., Delehouzee L. FE "Block & Interaction" Approach for Computing the Impact of Tower Inclinations on the Safety of a Masonry Arch System in the Our Lady Cathedral of Tournai (BE). *Structural Analysis of Historical Constructions*. Wroclaw, 2012.
13. Alecci V., De Stefano M., Focacci F., Luciano R., Rovero L., Stipo G. Strengthening Masonry Arches with Lime-Based Mortar Composite. *Buildings* 2017, 7, 49.
14. Bednarz Ł., Jasięńko J., DiTommaso A. Experimental Investigations into Collapse of Masonry Arches Reinforced Using Different Compatible Technologies. In Proceedings of Mechanics Of Masonry Structures Strengthened With Composite Materials. In Proceedings of the MuRiCo., Venice, Italy, 22-24, 2009.
15. Briccoli Bati S., Rovero S., Toniatti U. Experimental analysis on scale models of CFRP reinforced arches. In Proceedings of Mechanics Of Masonry Structures Strengthened With Composite Materials. In Proceedings of the MuRiCo., Venice, Italy, 22-24, 2009.
16. Castori G., Borri A., Ebaugh S., Casadei P. Strengthening masonry arches with composites. In Proceedings of Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006), Miami, Florida, USA, 13-15, 2006.
17. Corradi M., Borri A., Castori G., Coventry K. Experimental Analysis of Dynamic Effects of FRP Reinforced Masonry Vaults. *Materials* 2015, 8, 8059-8071.
18. Oliveira D., Basílio I., Lourenco P. FRP strengthening of masonry arches towards an enhanced behaviour. In Proceedings of The Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Porto, Portugal, 16–19, 2006.
19. Pantò B., Cannizzaro F., Caddemi S., Calì I., Chácará C., Lourenço P.B. Nonlinear Modelling of Curved Masonry Structures after Seismic Retrofit through FRP Reinforcing. *Buildings*. 2017. 7. 79.
20. Triantafillou T.C. Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates. *Journal of Composites for Construction*, 1998. 2. 96-104.
21. Luciano R., Sacco E. Damage of masonry panels reinforced by FRP sheets. *International Journal of Solids and Structures* 1998. 35. 1723-1741.

**Информация об авторах:**

**Орлович Роман Болеславович**

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

**Зимин Сергей Сергеевич**

ФГАУО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург, Россия,  
кандидат технических наук, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства  
Инженерно-строительного института СПбПУ.  
E-mail: [zimin\\_sergei@mail.ru](mailto:zimin_sergei@mail.ru)

**Деркач Валерий Николаевич**

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр, г. Брест, Республика Беларусь,  
доктор технических наук, директор.  
E-mail: [v-derkach@yandex.ru](mailto:v-derkach@yandex.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](mailto: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](mailto:zimin_sergei@mail.ru)

**Derkach Valery N.**

Branch office of the RUE "Institute BelNIIS" - Scientific-Technical Center, Brest, Republic of Belarus,  
doctor of Technical Sciences, Director.  
E-mail: [v-derkach@yandex.ru](mailto:v-derkach@yandex.ru)

Д.С. ПОПОВ<sup>1</sup>

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

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫХ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

***Аннотация.** В научной литературе практически отсутствуют результаты экспериментальных исследований коррозионно-поврежденных сжатых железобетонных элементов. Как результат достоверно оценить напряженно-деформированное состояние данных конструкций особенно при динамических нагрузениях практически невозможно. Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 37 железобетонных образцов – колонн квадратного сечения размерами 100x100 мм, высотой 700 мм. В железобетонных образцах создавались локальные коррозионные повреждения бетона и арматуры при этом для ускоренного корродирования элементов в качестве агрессора использовался концентрированный раствор (37%) соляной кислоты (HCL). В статье описаны экспериментальные исследования изменения динамических свойств внецентренно сжатых коррозионно-поврежденных железобетонных элементов. На основании данных тензометрии установлено, что коррозионные повреждения приводят к уменьшению высоты сжатой зоны бетона за счет уменьшения сечения растянутой арматуры, а также отсутствия совместной работы арматуры с бетоном. По данным тензометрии получены деформаций внецентренно сжатых коррозионно-поврежденных и неповрежденных сечений, которые показали, что эпюры деформаций принципиально различаются очертанием. Полученные в результате натурного исследования деформации арматуры и бетона, позволили оценить напряженно-деформированное состояние поврежденных и не поврежденных коррозией конструкций по параметру  $N_e-1/r$  (кривизна). Установлено влияние коррозионных повреждений на характер разрушения внецентренно сжатых элементов.*

***Ключевые слова:** внецентренно сжатые элементы, коррозионные повреждения, динамическое нагружение, экспериментальные исследования.*

D.S. POPOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.

## EXPERIMENTAL STUDIES OF DYNAMIC PROPERTIES OF CORROSION-DAMAGED COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

***Abstract.** There are practically no results of experimental studies of elements made of compressed reinforced concrete damaged by corrosion in the scientific literature. As a result, it is almost impossible to reliably assess the state of deformation-deformation of these structures, especially under dynamic loads. For experimental studies, 37 samples of reinforced concrete were made-columns of square cross-section with dimensions of 100x100 mm, height of 700 mm. Local corrosion damages of concrete and reinforcement were created in reinforced concrete samples, while a concentrated (37%) hydrochloric acid (HCL) solution was used as an aggressor to accelerate the corrosion of elements. The article describes experimental studies on changing the dynamic properties of reinforced concrete elements that undergo corrosion during eccentrically compression. Based on strain gauge data, it was found that corrosion damage leads to a decrease in the height of the compressed concrete section by reducing the cross-section of the stretched reinforcing bars, as well as to the lack of joint work of reinforcing bars with concrete. According to strain measurement data, deformations of uncompressed and undamaged sections were obtained, which showed that the deformation diagrams fundamentally*

*differ in their contour. The results obtained as a result of the study of the nature of deformation of reinforcement and concrete allowed us to assess the state of deformation stress of damaged and non-corroded structures according to the parameter  $ne-1 / r$  (curvature). The effect of corrosion damage on the nature of destruction of eccentrically compressed elements has been established.*

**Keywords:** *eccentrically compressed elements, corrosion damage, dynamic loading, experimental studies.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян А.Г. К возникновению трещин в модели толстостенного бетонного цилиндра при коррозии с учетом пористой зоны на границе раздела арматуры и бетона / А.Г. Тамразян, М.С. Минеев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3(393). С. 159-165. DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_3\_159.
2. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Расчет внецентренно сжатых железобетонных элементов на кратковременную динамическую нагрузку. Строительство: наука и образование. 2013. № 4. С. 2.
3. Пахомова Е.Г., Кретьева В.М., Гордеев А.В., Маяков А.С. К методике оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 28-29.
4. Tamrazyan A.G., Popov D.S., Ubysz A. To the dynamically loaded reinforced-concrete elements' calculation in the absence of adhesion between concrete and reinforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913. P. 022012. DOI: 10.1088/1757-899x/913/2/022012.
5. Ставская И.С., Марков С.В., Морозова О.В. Продольные трещины в защитном слое бетона в условиях коррозионных повреждений // Строительство и реконструкция. 2012. № 3(41). С. 35-41.
6. Смоляго Г.А. Моделирование величины коррозионных повреждений арматуры железобетонных конструкций в условиях хлоридной агрессивной среды // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. № 1(70). С. 43-49. DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-43-49.
7. Бондаренко В.М., Ключева Н.В., Колчунов В.И., Андросова Н.Б. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести // Строительство и реконструкция. 2012. № 4(42). С. 3-16.
8. Фаликман В.Р., Степанова В.Ф. Новое методическое пособие по назначению срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл // Вестник НИЦ Строительство. 2020. № 4(27). С. 126-134. DOI 10.37538/2224-9494-2020-4(27)-126-134.
9. Abosrra L, Ashour AF, Youseffi M. Corrosion of steel reinforcement in concrete of different compressive strengths // Construction and Building Materials. 2011;25(10):3915-3925.
10. Apostolopoulos Ch, Koulouris Konstantinos. Corrosion Effect on Bond Loss between Steel and Concrete // Structural Integrity and Failure. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.94166
11. Лушникова В.Ю., Тамразян А.Г. Влияние коррозии арматуры на сцепление между арматурой и бетоном // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 4(80). С. 128-137.
12. Zandi K, Coronelli D. Anchorage capacity of corroded reinforcement: Eccentric pull-out tests on beam-end specimens. In: Report No. 2010-06, Department of Civil and Environmental Engineering. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
13. Magda I. Mousa. Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behaviour of reinforced concrete beams // HBRC Journal, 2016, 12:3, 235-241, DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.01.003.
14. Raoul François, Wulong Zhangab, Ruiyan Wang, Yuxin Cai, Linwen Yuc. Corrosion behavior of stirrups in corroded concrete beams exposed to chloride environment under sustained loading // Construction and Building Materials. Volume 274, 8 March 2021, 121987. //doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121987
15. Almassri Béalal, Barros Joaquim, Al-Mahmoud Firas, Francois Raoul. A FEM-based model to study the behaviour of corroded RC beams shear repaired by NSM CFRP rods technique // Composite Structures. Volume 131. 2015. Pages 731-741. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.06.030.
16. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // International Journal of Concrete Structures and Materials 13(1):24 (2019). https://doi.org/10.1186/s40069-019-0340-5
17. Прокопович А.А. Сопrotивление изгибу железобетонных конструкций с различными условиями сцепления продольной арматуры с бетоном. Самара, НВФ «Сенсоры, Модули, Системы», 2000.

## REFERENCES

1. Tamrazyan A.G., Mineev M.S. On the appearance of cracks in a model of a thick-walled concrete cylinder during corrosion, taking into account the porous zone at the interface between reinforcement and concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2021. No. 3 (393). P. 159-165. DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_3\_159.

2. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Calculation of eccentrically compressed reinforced concrete elements for short-term dynamic load. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovaniye*. 2013. No. 4. P. 2.
3. Pakhomova E.G., Kretova V.M., Gordeev A.V., Mayakov A.S. On the methodology for assessing the performance of reinforced concrete structures in case of violation of the adhesion of reinforcement with concrete in case of corrosion damage. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2011. No. 8. P. 28-29.
4. Tamrazyan A.G., Popov D.S., Ubysz A. To the dynamically loaded reinforced-concrete elements' calculation in the absence of adhesion between concrete and reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 913. P. 022012. DOI: 10.1088/1757-899x/913/2/022012.
5. Stavskaya I.S., Markov S.V., Morozova O.V. Longitudinal cracks in the protective layer of concrete under conditions of corrosion damage. *Building and reconstruction*. 2012. No. 3 (41). P. 35-41.
6. Smolyago G.A. Modeling the magnitude of corrosion damage to reinforcement of reinforced concrete structures in a chloride aggressive environment. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. No. 1(70). P. 43-49. DOI 10.21869/2223-1560-2017-21-1-43-49.
7. Bondarenko V.M., Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Androsova N.B. Some results of the analysis and generalization of scientific research on the theory of constructive safety and survivability // *Building and Reconstruction*. 2012. No. 4 (42). Pp. 3-16.
8. Falikman V.R. Stepanova V.F. A new methodological manual on the appointment of the service life of concrete and reinforced concrete structures, taking into account the impact of the operating environment on their life cycle. *Vestnik NIC Stroitel'stvo*. 2020. No. 4 (27). P. 126-134. DOI 10.37538/2224-9494-2020-4(27)-126-134.
9. Abosrra L, Ashour AF, Youseffi M. Corrosion of steel reinforcement in concrete of different compressive strengths. *Construction and Building Materials*. 2011;25(10):3915-3925.
10. Apostolopoulos Ch, Koulouris Konstantinos. Corrosion Effect on Bond Loss between Steel and Concrete. *Structural Integrity and Failure*. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.94166
11. Lushnikova V.Yu., Tamrazyan A.G. The effect of reinforcement corrosion on the adhesion between reinforcement and concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 4(80). Pp. 128–137.
12. Zandi K, Coronelli D. Anchorage capacity of corroded reinforcement: Eccentric pull-out tests on beam-end specimens. In: Report No. 2010-06, Department of Civil and Environmental Engineering. Goteborg, Sweden: Chalmers University of Technology.
13. Magda I. Mousa. Effect of bond loss of tension reinforcement on the flexural behavior of reinforced concrete beams. *HBRC Journal*, 2016, 12:3, 235-241, DOI: 10.1016/j.hbrj.2015.01.003.
14. Raoul François, Wulong Zhangab, Ruiyan Wanga Yuxin Cai, Linwen Yuc. Corrosion behavior of stirrups in corroded concrete beams exposed to chloride environment under sustained loading. *Construction and Building Materials*. Volume 274, 8 March 2021, 121987. //doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121987
15. Almassri Belal, Barros Joaquim, Al-Mahmoud Firas, Francois Raoul. A FEM-based model to study the behavior of corroded RC beams shear repaired by NSM CFRP rods technique. *Composite Structures*. Volume 131. 2015. Pages 731-741. doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.06.030.
16. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 13(1):24 (2019). https://doi.org/10.1186/s40069-019-0340-5
17. Prokopovich A.A. Resistance to bending of reinforced concrete structures with different conditions of adhesion of longitudinal reinforcement to concrete. Samara, NVF "Sensors, Modules, Systems", 2000.

**Информация об авторе:**

**Попов Дмитрий Сергеевич**

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

E-mail: [popovds89@mail.ru](mailto:popovds89@mail.ru)

**Information about author:**

**Popov Dmitry S.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, senior lecturer of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: [popovds89@mail.ru](mailto:popovds89@mail.ru)



V.I. RIMSHIN<sup>1,4</sup>, V.L. KURBATOV<sup>2</sup>, V.T. EROFEEV<sup>3</sup>, E.S. KETSKO<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>North Caucasian branch of Federal state Budgetary Educational Institution of higher Professional education «Belgorod state technological University Named after V.G. Shukhov», Mineralnye Vody, Stavropol Territory, Russia

<sup>3</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University», Saransk, Republic of Mordovia, Russia

<sup>4</sup>Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Moscow, Russia

## DEGRADATION DAMAGES SURVEY OF THE SILT RESERVOIR STRUCTURES

**Abstract.** The aim of this work is to obtain information about the condition of the sludge tank supporting and enclosing building structures, identifying and fixing existing defects in order to assess their possible impact on structures during its further operation. Archival surveys were carried out, site documentation was selected and studied, load-bearing structures engineering measurements were carried out, building structures were inspected, and the structural condition was photographed selectively, graphic materials were made, technical conclusions were drawn up with conclusions and recommendations for further structures safe operation in order to achieve this goal. The technical surveying included a building structures external examination with damages fixation. The structures general technical condition of the, the presence and nature of the defect's propagation were previously visually recorded, and then refined using measuring equipment. Verification calculations were also carried out with the design and current load analysis on the sludge tank elements, and the tank supporting structures concrete strength was determined by the ultrasonic method.

**Keywords:** silt reservoir, load-bearing structures of the tank, technical condition assessment, verification calculations, non-destructive method for assessing the strength.

В.И. РИМШИН<sup>1,4</sup>, В.Л. КУРБАТОВ<sup>2</sup>, В.Т. ЕРОФЕЕВ<sup>3</sup>, Е.С. КЕЦКО<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Северо-кавказский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,

г. Минеральные воды, Россия

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия

<sup>4</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия

## ОБСЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ИЛОВОГО ХРАНИЛИЩА

**Аннотация.** Целью настоящей работы является получение сведений о состоянии несущих и ограждающих строительных конструкций илового резервуара, выявление и фиксация существующих дефектов для оценки их возможного влияния на строительные конструкции в процессе дальнейшей эксплуатации илового резервуара. Для достижения поставленной цели проведены архивные изыскания, отобрана и изучена документация по объекту, выполнена инженерная обмерка несущих конструкций, проведено обследование строительных конструкций и выполнена выборочная фотофиксация состояния конструкций, выполнены графические материалы, разработано техническое заключение с выводами и рекомендациями по дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций. Обследование включало внешний осмотр строительных конструкций с фиксацией их повреждений. Общее техническое состояние конструкций, наличие и характер распространения дефектов предварительно фиксировались визуально, а затем уточнялись с помощью измерительной техники. Также были выполнены поверочные расчеты

© Римшин В.И., Курбатов В.Л., Ерофеев В.Т., Кецко Е.С., 2022

*элементов резервуара с анализом проектной и действующей нагрузки на элементы сооружения илового резервуара, определена прочность бетона несущих конструкций резервуара ультразвуковым методом.*

***Ключевые слова:** несущие конструкции резервуара, оценка технического состояния, поверочные расчёты, неразрушающий метод оценки прочности.*

## REFERENCES

1. Donchenko O.M., Suleymanova L.A., Rimshin V.I., Ryabchevskiy I.S. Tensile Deformations of «Mild» Reinforcing Steels for Reinforced Concrete Structures. Lecture Notes in Civil Engineering, 2021. 147, Pp. 302–308
2. Fedorova N., Kolchunov V., Tuyen Vu.N., Iliushchenko T. Determination of stiffness parameters of reinforced concrete structures using the decomposition method for calculating their survivability IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021. 1030(1). 012078.
3. Kablov E.N., Erofeev V.T., Rimshin V.I., ...Dergunova A.V., Moiseev V.V. Plasticized epoxy composites for manufacturing of composite reinforcement Journal of Physics: Conference Series, 2020. 1687(1). 012031.
4. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex-stressed reinforced concrete element under torsion with bending International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2021. 17(1). Pp. 34–47.
5. Karpenko N.I., Rimshin V.I., Eryshev V.A., Shubin L.I. Deformation Models of Concrete Strength Calculation in the Edition of Russian and Foreign Norms IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.753(5). 052043.
6. Klueva N., Emelyanov S., Kolchunov V., Gubanova M. Criterion of crack resistance of corrosion damaged concrete in plane stress state Procedia Engineering. 2015. T. 117. C. 179-185.
7. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability criteria for reinforced concrete frame at loss of stability Magazine of Civil Engineering. 2018. № 4 (80). C. 73-80.
8. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Yu., Kovalev V.V., Iliushchenko T.A. Failure simulation of a rc multi-storey building frame with prestressed girders Magazine of Civil Engineering. 2019. № 8 (92). C. 155-162.
9. Kolchunov V.I., Savin S.Y. Dynamic effects in a composite two-component rods which appear when local fracture of the matrix is occurred Journal of Applied Engineering Science. 2017. T. 15. № 3. C. 329-335.
10. Krishan A.L., Rimshin V.I., Shubin I.L., Astafeva M.A., Stupak A.A. Compressed Reinforced Concrete Elements Bearing Capacity of Various Flexibility Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. 182. C. 283–291.
11. Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete Magazine of Civil Engineering, 2019. 88(4). Pp. 60–69.
12. Kuzina E.S., Rimshin V.I. Calculation Method Analysis for Structure Strengthening with External Reinforcement IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 753(2). 022004.
13. Lukin M., Martynov V., Rimshin V., Aleksiievets I. Reinforced Concrete Vertical Structures Under a Gently Sloping Shell of Double Curvature Under the Influence of Progressive Collapse Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. 182. C. 577–587.
14. Merkulov S., Rimshin V., Akimov E., Kurbatov V., Roschina S. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 896(1). 012022.
15. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Shubin I.L., Esipov S.M. Modeling of the Stress-Strain State of a Composite External Strengthening of Reinforced Concrete Bending Elements IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 753(5). 052044.
16. Neverov A.N., Truntov P.S., Ketsko E.S., Rimshin V.I. Calculating the Strengthening of Construction Structures Before the Reconstruction of the Building Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. 182. C. 173–179.
17. Rimshin V.I., Telichenko V.I., Krishan A.L., Truntov P.S., Bykov G.S. Assessment of the impact of high temperature on the strength of reinforced concrete structures during operation Key Engineering Materials, 2021. 887 KEM. C. 460–465.
18. Rimshin V.I., Kalaydo A.V., Semenova M.N., Bykov G.S. Regularities research of radon transfer to underground enclosing buildings structures IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 953(1). 012088.
19. Rimshin V.I., Kuzina E.S., Shubin I.L. Analysis of the structures in water treatment and sanitation facilities for their strengthening Journal of Physics: Conference Series, 2020. 1425(1). 012074.
20. Rimshin V.I., Roshchina S.I., Ketsko E.S., Truntov P.S., Kuzina I.S. Engineering Calculations of Acidifier Retaining Walls During Water Treatment Facilities Designing Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. 182. Pp. 55–73.

21. Sergeev M., Rimshin V., Lukin M., Zdravovic N. Multi-span composite beam IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 896(1). 012058.
22. Telichenko V., Rimshin V., Ketsko E. Reinforced concrete structures stress-strain state strengthen with composite materials IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 869(5). 052003.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донченко О.М., Сулейманова Л.А., Римшин В.И., Рябчевский И.С. Деформации при растяжении «мягких» арматурных стале́й для железобетонных конструкций. Конспекты лекций по гражданскому строительству. 2021. 147. С. 302-308.
2. Федорова Н., Колчунов В., Туйен Ву. Н., Ильющенко Т. Определение параметров жесткости железобетонных конструкций с использованием метода декомпозиции для расчета их живучести. Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия, 2021. 1030(1). 012078.
3. Каблов Е.Н., Ерофеев В.Т., Римшин В.И., ...Дергунова А.В., Моисеев В.В. Пластифицированные эпоксидные композиты для изготовления композитной арматуры Журнал физики: Серия конференций, 2020. 1687(1). 012031.
4. Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Колчунов В.И., Травуш В.И. Расчетная модель сложнапряженного железобетонного элемента при кручении с изгибом Международный журнал вычислительной строительной и строительной Инженерии, 2021. 17(1). С. 34-47.
5. Карпенко Н.И., Римшин В.И., Ерышев В.А., Шубин Л.И. Деформационные модели расчета прочности бетона в изданиях российских и зарубежных нормативных документов Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия, 2020.753(5). 052043.
6. Ключева Н., Емельянов С., Колчунов В., Губанова М. Критерий трещиностойкости бетона, поврежденного коррозией, в плоском напряженном состоянии Procedia Engineering. 2015. Т. 117. С. 179-185.
7. Колчунов В.И., Савин С.Ю. Критерии живучести железобетонного каркаса при потере устойчивости // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 4 (80). С. 73-80.
8. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю., Ковалев В.В., Ильющенко Т.А. Моделирование разрушения каркаса многоэтажного здания с предварительно напряженными балками // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 8 (92). С. 155-162.
9. Колчунов В.И., Савин С.Ю. Динамические эффекты в композитных двухкомпонентных стержнях, возникающие при локальном разрушении матрицы. Журнал прикладной инженерной науки. 2017. № 15. № 3. С. 329-335.
10. Кришан А.Л., Римшин В.И., Шубин И.Л., Астафьева М.А., Ступак А.А. Несущая способность сжатых железобетонных элементов различной гибкости Конспекты лекций по гражданскому строительству, 2022. 182. С. 283-291.
11. Колчунов В.И., Демьянов А.И. Метод моделирования дискретных трещин и жесткости в железобетоне. Журнал гражданского строительства. 2019. 88(4). С. 60-69.
12. Кузина Е.С., Римшин В.И. Анализ метода расчета для усиления конструкций внешним армированием Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия, 2020. 753(2). 022004.
13. Лукин М., Мартынов В., Римшин В., Алексиевец И. Железобетонные вертикальные конструкции под полой оболочкой двойной кривизны под влиянием прогрессирующего обрушения Конспект лекций по строительству, 2022. 182 с. 577–587.
14. Меркулов С., Римшин В., Акимов Е., Курбатов В., Рощина С. Нормативное обеспечение применения композитной стержневой арматуры в железобетонных конструкциях Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия, 2020. 896(1). 012022.
15. Меркулов С.И., Римшин В.И., Шубин И.Л., Есипов С.М. Моделирование напряженно-деформированного состояния внешнего усиления из композитных материалов изгибаемых элементов из железобетона Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия, 2020. 753(5). 052044.
16. Неверов А.Н., Трунгов П.С., Кецо Е.С., Римшин В.И. Расчет усиления строительных конструкций перед реконструкцией здания // Архитектурные записки гражданского строительства, 2022. 182. С. 173-179.
17. Римшин В.И., Теличенко В.И., Кришан А.Л., Трунгов П.С., Быков Г.С. Оценка влияния высокой температуры на прочность железобетонных конструкций при эксплуатации Ключевые инженерные материалы, 2021. 887 КЕМ. С. 460-465.
18. Римшин В.И., Калайдо А.В., Семенова М.Н., Быков Г.С. Исследование закономерностей поступления радона в подземные ограждающие конструкции зданий Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия, 2020. 953(1). 012088.
19. Римшин В.И., Кузина Е.С., Шубин И.Л. Анализ конструкций водоочистных и канализационных сооружений при их усилении // Журнал физики: Серия конференций, 2020. 1425(1). 012074.

20. Римшин В.И., Рощина С.И., Кецо Е.С., Трунгов П.С., Кузина И.С. Инженерные расчеты подпорных стенок отстойника при проектировании водоочистных сооружений // Архитектурные записки в гражданском строительстве, 2022. 182. С. 55-73.

21. Сергеев М., Римшин В., Лукин М., Здралович Н. Многопролетная составная балка Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия, 2020. 896(1). 012058.

22. Теличенко В., Римшин В., Кецо Е. Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами Серия конференций ИОР: Материаловедение и инженерия, 2020. 869(5). 052003.

#### **Information about authors:**

**Rimshin Vladimir Iv.**

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow, Russia,  
doctor of technical sciences, professor, Corresponding Member of RAACS.  
E-mail: [v.rimshin@niisf.ru](mailto:v.rimshin@niisf.ru)

**Kurbatov Vladimir L.**

North Caucasian branch of Federal state Budgetary Educational Institution of higher Professional education «Belgorod state technological University Named after V.G. Shukhov», MineralnyeVody, Stavropol Territory, Russia,  
doctor of economic sciences, professor, director of the North Caucasian Branch Shukhov Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.  
E-mail: [kurbatov\\_bgtu@list.ru](mailto:kurbatov_bgtu@list.ru)

**Erofeev Vladimir T.**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University», Saransk, Republic of Mordovia, Russia,  
doctor of technical sciences, professor, dean of the Architecture and Civil Engineering Faculty.  
E-mail: [fac-build@adm.mrsu.ru](mailto:fac-build@adm.mrsu.ru)

**Ketsko Ekaterina S.**

Research Institute of Building Physics RAASN, Moscow, Russia,  
postgraduate student.  
E-mail: [kkuzzina@mail.ru](mailto:kkuzzina@mail.ru)

#### **Информация об авторах:**

**Римшин Владимир Иванович**

НИУ Московский государственный строительный университет (МГСУ), г. Москва, Россия,  
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН.  
E-mail: [v.rimshin@niisf.ru](mailto:v.rimshin@niisf.ru)

**Курбатов Владимир Леонидович**

Северо-кавказский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова», г. Минеральные воды, Россия,  
доктор экономических наук, профессор, директор Северо-Кавказского филиала «БГТУ им. В.Г.Шухова».  
E-mail: [kurbatov\\_bgtu@list.ru](mailto:kurbatov_bgtu@list.ru)

**Ерофеев Владимир Трофимович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», г. Саранск, Россия,  
доктор технических наук, профессор, декан архитектурно-строительного факультета.  
E-mail: [fac-build@adm.mrsu.ru](mailto:fac-build@adm.mrsu.ru)

**Кецко Екатерина Сергеевна**

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, г. Москва, Россия,  
аспирант.  
E-mail: [kkuzzina@mail.ru](mailto:kkuzzina@mail.ru)

S.V. STRASHNOV<sup>1</sup>, S.M. MABHENA<sup>1</sup>, L.A. ALBOROVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

## FOLDED SURFACES IN ARCHITECTURE

**Abstract.** *There is now a growing interest in the design and construction of shells whose median surfaces cannot be defined by analytic formulas, i.e. it is difficult to apply geometric modeling, and shell structures of the folded type formed by the intersection of flat or curvilinear elements. These structures are executed in the style of digital architecture or experimental methods. Based on the research of descriptive and analytical geometry, architects in the 20th and early 21st century created many memorable folded structures of various purposes. This is illustrated in the article on the example of many flat-sided structures. The illustrations found on the Internet and the author's personal photos were used. Based on the carried-out research it is concluded that flat-sided folds were used very widely in various fields of architecture and construction. The availability of numerical methods of calculation makes it possible to design structures of various degrees of complexity. This is confirmed by references to numerous sources used. However, some architects disagree with this conclusion, believing that despite many attempts on folding, it remains one of the least studied forms in architecture.*

**Keywords:** *folded squamous structures, polyhedra, folding dome, folding vault, experimental approach in architecture, architectural trend "Organic architecture".*

С.В. СТРАШНОВ<sup>1</sup>, С.М. МАБЕНА<sup>1</sup>, Л.А. АЛБОРОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

## СКЛАДЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ В АРХИТЕКТУРЕ

**Аннотация.** *В настоящее время поднялся интерес к проектированию и строительству оболочек, срединные поверхности которых нельзя задать аналитическими формулами, то есть трудно применить геометрическое моделирование, и оболочечных структур складчатого типа, сформированными пересечением плоских или криволинейных элементов. Эти сооружения выполняются в стиле цифровой архитектуры или применяются экспериментальные методы. Опираясь на исследования начертательной и аналитической геометрий, архитекторы в XX-ом и начале XXI-го веков создали много запоминающихся складчатых сооружений различного назначения. Это проиллюстрировано в статье на примере многих плоскогранных сооружений. Использовались иллюстрации, обнаруженные в сети интернета, и личные фотографии автора. На основании проведенных исследований сделан вывод, что плоскогранные складки применялись и применяются очень широко в различных областях архитектуры и строительства. Наличие численных методов расчета позволяет проектировать структуры различной степени сложности. Это подтверждено ссылками на многочисленные использованные источники. Но с этим выводом не согласны некоторые архитекторы, считающие, что, несмотря на множественные попытки осмысления складки, она по-прежнему остаётся одной из наименее изученных форм в архитектуре.*

**Ключевые слова:** *складчатые плоскогранные структуры, многогранники, складчатый купол, складчатый свод, экспериментальный подход в архитектуре, архитектурное течение «Organic architecture».*

© Страшинов С.В., Мабена С.М., Алборова Л.А., 2022



REFERENCES

1. Krivoshapko S.N., Alborova L.A., Mamieva I.A. Shell structures: genesis, materials, and subtypes. Part 1. Subtypes and directions. *Academia. Architecture and Construction*. 2021. № 3. Pp. 125-134 [DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-125-134].
2. Rudnov V.S., Vladimirova E.V., Domanskaya I.K., Gerasimova E.S. Building Materials and Structures. Edited by I.K. Domanskaya. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. Un-ta, 2018. 203 p. [ISBN 978-5-7996-2352-4]
3. Mamieva I.A., Razin A.D. Prominent space structures in the form of conical surfaces. *Promishlennoe i Grazhdanskoe Stroitelstvo*. 2017. № 10. Pp. 5-11.
4. Hyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics// *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2. Iss. 3. Pp. 799-806.
5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. Encyclopedia of Analytical Surfaces. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p. [DOI: 10.1007/978-3-319-11773-7].
6. Krivoshapko S.N. Shells and rod structures in the form of analytically nongiven surfaces in modern architecture. *Building and Reconstruction*. 2020. № 3. Pp. 20-30 [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30].
7. Mamieva I.A. Analytical surfaces for parametrical architecture in contemporary buildings and structures. *Academia. Architecture and Construction*. 2020. No 1. Pp. 150-165 (in Russian).
8. Yarmosh T.S., Hrabatina N.V., Miroshnichenko V.V. The folded structure prospects for the development of new forms. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2016, № 12. Pp. 71-75 [DOI: 10.12737/22829].
9. Krivoshapko S.N. Polyhedra and quasi- polyhedra in architecture of civil and industrial erection // *Building and Reconstruction*. 2020. № 4 (90). Pp. 48-64 [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64] (in Russian).
10. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Folded structures in modern architecture// *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2012. Vol. 10. No 1. Pp. 1-16 [DOI: 10.2298/FUACE1201001S].
11. Krivoshapko S.N., Shtikov A.G., Shabanov V.P. Changing torse shells by plane elements // *Voенно-Stroitelnyy Byulleten*. 1982. № 2. Pp. 16-18.
12. Krivoshapko S.N. Construction of developments of torses and folds // *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo i Architekturye*. 1987. № 11. Pp. 114-116.
13. Wenninger M. Polyhedron Models. Cambridge: Cambridge University Press, 1971. 238 p.
14. Kirichkov I.V. Precondition of origin of folded forming in architecture // *Architecture and Design*. 2018. № 1. Pp 7-18 [DOI: 10.7256/2585-7789.2018.1.27423].
15. Ermolenko E.V. Forms and constructions on the architecture of the soviet avant-garde and their interpretation in modern foreign practice // *Academia. Architecture and Construction*. 2020. № 1. Pp. 39-48 [DOI 10.22337/2077-2020-1-39-48].
16. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Formation of folded constructions by using contemporary wooden trusses // *Journal of Applied Engineering Science*. 9(2011)2. 195. Pp. 297-304.
17. Andreas Falk, Peter von Buelow, Poul Henning Kirkegaard. Folded plate structures as building envelopes // World Conference on Timber Engineering (WCTE). Auckland. New Zealand. 15 - 19 July 2012. Session 50, Future trends 4. Pp. 155-164.
18. Albertus Sidharta Muljadinata and A. M. Subakti Darmawan. Redefining folded plate structure as a form-resistant structure // *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. April 2016., Vol. 11. No. 7. Pp. 4782-4792. [ISSN 1819-6608].
19. Vlasov V.Z. Izbrannie Trudy. Vols. I-III. Moscow: Nauka, 1964. .
20. Goldberg J.E., and Leve H.L. Theory of Prismatic Folded Plate Structures. IABSE, 1957. V. 17.
21. Song Myung-Kwan, Kim Kyeong-Ho, Kim Sun-Hoon. Adaptive finite element buckling analysis of folded plate structures// *Structural Engineering and Mechanics*. September 2006. V. 24. N. 2. Pp. 269-273 [https://doi.org/10.12989/sem.2006.24.2.269].
22. Ohga M., Shigematsu T., Kohigashi S. Analysis of folded plate structures by a combined boundary element-transfer matrix method// *Computers & Structures*. January 1991. V. 41. N. 4. Pp. 739-744. [https://doi.org/10.1016/0045-7949(91)90183-m].
23. Ivanov S.P. Analysis of a non-linear plate system by a variational energy method of V.Z. Vlasov. *Izvestiya Vuzov. Stroitelstvo*. 2002. № 6. Pp. 23-29.
24. Danial A.N., Doyle J.F., Rizzi S.A. Dynamic analysis of folded plate structures// *J. Vib. Acoust.* Oct 1996, 118(4): 591-598 [https://doi.org/10.1115/1.2888339]
25. Korotich A.V. Prospects of development of architecture of folded covers. *Akademicheskyy Vestnik URALNIIPROEKT RAASN*. 2010/ 2. Pp. 47-49.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривошапко С.Н., Алборова Л.А., Мамиева И.А. Оболочечные структуры: генезис, материалы и подвиды. Часть 1: Подвиды и направления// *Academia. Архитектура и строительство*. 2021. № 3. С. 125-134 [DOI: 10.22337/2077-9038-2021-3-125-134].
2. Руднов В.С., Владимиров Е.В., Доманская И.К., Герасимова Е.С. Строительные материалы и изделия: учеб. пособие. Под общ. ред. доц., канд. техн. наук И.К. Доманской. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 203 с. [ISBN 978-5-7996-2352-4]
3. Мамиева И.А., Разин А.Д. Знаковые пространственные сооружения в форме конических поверхностей// *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 10. С. 5-11.
4. Nyeng Christian A. Bock, Yamb Emmanuel B. Application of cyclic shells in architecture, machine design, and bionics// *Int. J. of Modern Engineering Research*. 2012. Vol. 2.Iss. 3. Pp. 799-806.
5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N. *Encyclopedia of Analytical Surfaces*. – Springer International Publishing Switzerland, 2015. 752 p. [DOI: 10.1007/978-3-319-11773-7].
6. Кривошапко С.Н. Оболочки и стержневые структуры в форме аналитически задаваемых поверхностей в современной архитектуре // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 3. С. 20-30. [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-20-30].
7. Мамиева И.А. Аналитические поверхности для параметрической архитектуры в современных зданиях и сооружениях // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 150-165.
8. Ярмош Т.С., Храбатина Н.В., Мирошниченко В.В. Складчатые конструкции. Перспективы развития новых форм // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. №12. С. 71-75. [DOI: 10.12737/22829].
9. Кривошапко С.Н. Многогранники и квазимногогранники в архитектуре гражданских и промышленных сооружений // *Строительство и реконструкция*. 2020. № 4 (90). С. 48-64. [DOI: 10.33979/2073-7416-2020-90-4-48-64].
10. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Folded structures in modern architecture// *Facta Universitatis. Series: Architecture and Civil Engineering*. 2012. Vol. 10. No 1. Pp. 1-16 [DOI: 10.2298/FUACE1201001S].
11. Кривошапко С.Н., Штыков А.Г., Шабанов В.П. Замена торсовых оболочек плоскими элементами // *Военно-строительный бюллетень*. 1982. №2. С. 16-18.
12. Кривошапко С.Н. Построение разверток торсов и складок // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. 1987. № 11. С. 114-116.
13. Веннинджер М. Модели многогранников. Пер. с англ. М.: «Мир», 1974. 238 с.
14. Киричков И.В. Предпосылки возникновения складчатого формообразования в архитектуре// *Архитектура и дизайн*. 2018. № 1. С. 7-18. [DOI: 10.7256/2585-7789.2018.1.27423].
15. Ермоленко Е.В. Формы и построения в архитектуре советского авангарда и их интерпретация в современной зарубежной практике // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 39-48. [DOI: 10.22337/2077-2020-1-39-48].
16. Nenad Šekularac, Jelena Ivanović Šekularac, Jasna Čikić Tovarović. Formation of folded constructions by using contemporary wooden trusses // *Journal of Applied Engineering Science*. 9(2011)2. 195. Pp. 297-304.
17. Andreas Falk, Peter von Buelow, Poul Henning Kirkegaard. Folded plate structures as building envelopes// *World Conference on Timber Engineering (WCTE)*. Auckland. New Zealand. 15 - 19 July 2012. Session 50, Future trends 4. Pp. 155-164.
18. Albertus Sidharta Muljadinata and A. M. Subakti Darmawan. Redefining folded plate structure as a form-resistant structure// *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. APRIL 2016. Vol. 11. N. 7. Pp. 4782-4792. [ISSN 1819-6608].
19. Власов В.З. Избранные труды. Т. I-III. М.: Наука, 1964.
20. Goldberg J.E., and Leve H.L. *Theory of Prismatic Folded Plate Structures*. IABSE, 1957. V. 17.
21. Song Myung-Kwan, Kim Kyeong-Ho, Kim Sun-Hoon. Adaptive finite element buckling analysis of folded plate structures// *Structural Engineering and Mechanics*. September 2006. V. 24, N. 2. Pp. 269-273. [https://doi.org/10.12989/sem.2006.24.2.269].
22. Ohga M., Shigematsu T., Kohigashi S. Analysis of folded plate structures by a combined boundary element-transfer matrix method// *Computers & Structures*. January 1991. V. 41, N. 4. Pp. 739-744. [https://doi.org/10.1016/0045-7949(91)90183-m].
23. Иванов С.П. Расчет нелинейных пластинчатых систем вариационным методом В.З. Власова // *Известия вузов. Строительство*. 2002. № 6. С. 23-29.
24. Danial A.N., Doyle J.F., Rizzi S.A. Dynamic analysis of folded plate structures // *J. Vib. Acoust.* Oct 1996, 118(4): 591-598 [https://doi.org/10.1115/1.2888339]
25. Коротич А.В. Перспективы развития архитектуры складчатых оболочек // *Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН*. 2010. 2. С. 47-49.

**Информация об авторах:**

**Страшнов Станислав Викторович**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,  
кандидат технических наук, заведующий кафедрой общеобразовательных дисциплин.  
E-mail: [shtrafnoy@gmail.com](mailto:shtrafnoy@gmail.com)

**Мабена Сиканьисиве Мерси**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,  
магистрант департамента строительства.  
E-mail: [mabhenasikha@gmail.com](mailto:mabhenasikha@gmail.com)

**Алборова Лана Анатольевна**

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия,  
магистрант департамента архитектуры.  
E-mail: [dikko@yandex.ru](mailto:dikko@yandex.ru)

**Information about authors:**

**Strashnov Stanislav V.**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,  
candidate of Technical Sciences, Head of the General Education Courses Department.  
E-mail: [shtrafnoy@gmail.com](mailto:shtrafnoy@gmail.com)

**Mabhena Sikhanyisiwe Mercy**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,  
master's degree student of the Department of Civil Engineering.  
E-mail: [mabhenasikha@gmail.com](mailto:mabhenasikha@gmail.com)

**Alborova Lana An.**

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,  
master's degree student of the Department of Architecture.  
E-mail: [dikko@yandex.ru](mailto:dikko@yandex.ru)

Е.В. ХОЛОДОВА<sup>1</sup>

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

## РАСКРЫТИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ АРХИТЕКТУРЫ МОСКВЫ И ЗАМОСКОВНОГО КРАЯ НА УСАДЕБНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО КУРСКОГО КРАЯ 1-Й ПОЛОВИНЫ XVIII В.: ИСТОЧНИКИ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Аннотация.* Впервые разносторонне проводятся обследования городских и загородных усадеб Курского края 1-й пол. XVIII в. (обмеры, фотофиксация, натурные зарисовки), выявляются архивные и печатные источники, воскрешающие образы утраченных дворянских и купеческих усадеб, осуществляется общий анализ исследуемой темы.

Важным результатом исследования становится раскрытие особенностей влияния архитектуры Москвы и Замосковского края на другие регионы страны (на примере Курского края), что открывает новые страницы многогранной культуры, архитектуры и строительства русской провинции.

Введение в научный оборот конкретных памятников архитектуры Замосковского и Курского края заданного периода, их углубленное изучение может быть использовано в научной литературе, лекционных курсах и проектно-охранной документации.

Публикация выполнена в рамках темы по Плану ФНИ РААСН и Минстроя России на 2022 год.

**Ключевые слова:** вотчины, дачи, усадьбы, палаты, дома, архитектура, стилистика, объёмно-планировочные решения.

E. V. KHOLODOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning (NIITIAG) Branch of the Federal State Budgetary Institution "TsNIIP of the Ministry of Construction of Russia", Moscow, Russia

## DISCLOSURE OF THE FEATURES OF THE INFLUENCE OF ARCHITECTURE OF MOSCOW AND THE ZAMOSKOVNY REGION ON THE ESTATE CONSTRUCTION OF THE KURSK REGION IN THE 1st HALF OF THE 18TH CENTURY: SOURCES AND OBJECTS OF RESEARCH

*Abstract.* For the first time, comprehensive surveys of urban and suburban estates of the Kursk Territory are carried out. 18th century (measurements, photo fixation, natural sketches), archival and printed sources are identified that resurrect images of lost noble and merchant estates, and a general analysis of the topic under study is carried out. An important result of the study is the disclosure of the peculiarities of the influence of the architecture of Moscow and the Zamoskovskiy Territory on other regions of the country (on the example of the Kursk Territory), which opens up new pages of the multifaceted culture, architecture and construction of the Russian province. Introduction into scientific circulation of specific architectural monuments of the Zamoskovskiy and Kursk regions of a given period, their in-depth study can be used in scientific literature, lecture courses and design and security documentation.

The publication was made as part of the theme according to the Plan of the FNI RAASN and the Ministry of Construction of Russia for 2022.

**Keywords:** estates, dachas, estates, chambers, houses, architecture, style, space-planning solutions.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дневник курского помещика И.П. Анненкова / Предисловие Ф.И. Лаппо // Материалы по истории. Издание Академии наук СССР. М., 1957. С. 599-823.
2. Марков А. (Шарки). Родные гнёзда. Сан Франциско, 1962.
3. Марков Е.Л. Барчуки: Картины прошлого. СПб., 1875.
4. Кохановская. «Сумеречные рассказы» (старое воспоминание тетушки) // Русь. 1885. № 3–6.
5. Кохановская Н.С. Семейная память. СПб., 1885. 134 с.
6. Из воспоминаний княгини Витгенштейн // Русская старина. 1908. Т.136. С. 735-742.
7. Фёдоров С.И. Марьино. М., 1989. 192 с.
8. Фёдоров С.И. Марьино князей Барятинских. Курск, 1994. 224 с.
9. Фёдоров С.И. Скульптура усадьбы "Марьино". Курск, 2002. 176 с.
10. Кончин Е.В. Эмиссары восемнадцатого года. М.: Московский рабочий, 1981. 160 с.
11. Кончин Е.В. "Марьино" август восемнадцатого... Курск, 2001. 160 с.
12. Тарасова М.С. Из истории усадебного коллекционирования в Курской губернии // Культурное наследие Курского края: Сборник докладов областной научно-практической конференции. Курск, 1998. С. 41-45.
13. Тарасова М.С. Иконография Барятинских // Там же. С. 45-49.
14. Тарасова М.С. «Мемории» во дворце И.И. Барятинского «Марьино» // Сб. материалов научной конференции. Курск, 2006. С. 43-57.
15. Синянская Н.А. К истории рода князей Барятинских и о музыкальной культуре дворянских усадеб Курской губернии в первой трети XIX века // Русская усадьба: Сборник Общества изучения русской усадьбы / Ред.-сост. М.В. Нащокина. М., 2004. Вып. 10 (26). С. 556-566.
16. Колесникова Л.И. Весёлая Лопань. Усадьба Мухановых // Русская провинциальная усадьба / Сост. Р.В. Андреева, Л.Ф. Попова. Воронеж, 2001. С. 18-23.
17. Колесникова Л.И. Корочанские мелкопоместные усадьбы // Там же. С.35-38.
18. Наследие семьи Шварц. К 170-летию В.Г. Шварца. Курск, 2008.
19. Очерки истории Курского края. Курск, 2007.
20. Чижикова Л.Н. Русско-украинское пограничье. История и судьбы традиционно-бытовой культуры (XIX-XX века). М., 1988. 251 с.
21. Черников С.В. Дворянские имения Центрально-Чернозёмного региона России. Рязань, 2003. 344 с.
22. Шаповалов В.А. Дворянство имения Центрально-Чернозёмного региона России в пореформенный период. М.-Белгород, 2002. 252 с.
23. Эволюция сословной структуры общества Центрального Черноземья в пореформенный период (на примере Курской губернии) /Под ред. В.А. Шаповалова. Белгород, 2005. 428 с.
24. Плохинский М. Гетман Мазепа в роли великорусского помещика // Сборник Харьковского историко-филологического общества. Харьков: Типография К. Счастни, 1892. С. 37-38.
25. Поздняков Л.Н. Белгород с уездом XVII в. Состояние края до 1600 года // Известия Курского Губернского Общества Краеведения: Орган Совета Общества. Курск: издание Курского губернского Общества Краеведения, 1927. №5. С. 37.
26. Холодова Е.В. Образцовые усадебные хозяйства и экономические посёлки в системе крупных и крупнейших имений. Курского края XVIII – 1-й половины XIX веков// Строительство и реконструкция (журнал). 2019. №4. С. 123-125.
27. Домик Петра Великого в слободе Борисовке // Труды Курского губернского статистического комитета. Курск: Типография Губернского правления, 1863. С. 579-581.
28. Выпись из летописи Успенской, что в Бору церкви г. Рыльска // Труды Курской Губернской Учёной архивной Комиссии. Курск: Типография Курского Губернского Земства, 1911. В.1. С. 296-298.
29. Российский государственный Военно-исторический архив РГВИА.Ф.ВУА.. Д.18800. Ч.1-15. Описание Курского наместничества вообще и порознь всякого города и уезда, с планами города и картами уезда, сочинённое в 1775 году курским губернским землемером и поручиком Иваном Башиловым.
30. Пилявский В.И., Тиц А.А., Ушаков Ю.С. История русской архитектуры: учебник для вузов. Л.,1984. С. 269.

REFERENCES

1. Diary of the Kursk landowner I.P. Annenkov / Foreword by F.I. Lappo // Materials on history. Edition of the Academy of Sciences of the USSR. M., 1957. S. 599-823.
2. Markov A. (Sharki). native nests. San Francisco, 1962.
3. Markov E.L. Barchuki: Pictures of the past. St. Petersburg, 1875.
4. Kokhanovskaya. "Twilight stories" (an old memoir of an aunt) // Rus. 1885. N. 3–6.
5. Kokhanovskaya N.S. Family memory. St. Petersburg, 1885. 134 p.

6. From the memoirs of Princess Wittgenstein // Russian antiquity. 1908. V.136. Pp.735-742.
7. Fedorov S.I. Maryino. M., 1989. 192 p.
8. Fedorov S.I. Maryino princes Baryatinsky. Kursk, 1994. 224 p.
9. Fedorov S.I. Sculpture of the estate "Maryino". Kursk, 2002. 176 p.
10. Konchin E.V. Emissaries of the eighteenth year. M.: Moskovsky Rabochiy, 1981. 160 p.
11. Konchin E.V. "Maryino" August eighteenth ... Kursk, 2001. 160 p.
12. Tarasova M.S. From the history of estate collecting in the Kursk province // Cultural heritage of the Kursk region: Collection of reports of the regional scientific and practical conference. Kursk, 1998. S. 41-45.
13. Tarasova M.S. Iconography of the Baryatinsky // Ibid. Pp. 45-49.
14. Tarasova M.S. "Memoria" in the palace of I.I. Baryatinsky "Maryino" // Sat. scientific conference materials. Kursk, 2006. P. 43-57.
15. Sinyanskaya N.A. To the history of the family of the princes Baryatinsky and the musical culture of the noble estates of the Kursk province in the first third of the 19th century // Russian estate: Collection of the Society for the Study of the Russian estate / Ed.-comp. M.V. Nashchokin. M., 2004. Issue. 10 (26). P. 556-566.
16. Kolesnikova L.I. Merry Lopan. Mukhanov's estate // Russian provincial estate / Comp. R.V. Andreeva, L.F. Popov. Voronezh, 2001. S. 18-23.
17. Kolesnikova L.I. Korochansky small estates // Ibid. pp.35-38.
18. The legacy of the Schwartz family. To the 170th anniversary of V.G. Schwartz. - Kursk, 2008.
19. Essays on the history of the Kursk region. Kursk, 2007.
20. Chizhikova L.N. Russian-Ukrainian border. History and fate of traditional everyday culture (XIX-XX centuries). M., 1988. 251 p.
21. Chernikov S.V. Noble estates of the Central Black Earth region of Russia. - Ryazan, 2003. 344 p.
22. Shapovalov V.A. The nobility of the estate of the Central Black Earth region of Russia in the post-reform period. - M.-Belgorod, 2002. from. 252.
23. The evolution of the class structure of the society of the Central Chernozem region in the post-reform period (on the example of the Kursk province) / Ed. V.A. Shapovalov. Belgorod, 2005. 428 p.
24. Plokhinsky M. Hetman Mazepa as a Great Russian landowner // Collection of the Kharkov Historical and Philological Society. Kharkov: Printing house of K.Schastny, 1892. P. 37-38.
25. Pozdnyakov L.N. Belgorod with the district of the XVII century. The state of the region until 1600 // Proceedings of the Kursk Provincial Society of Local Lore: Organ of the Council of the Society. - Kursk: publication of the Kursk Provincial Society of Local Lore, 1927. No. 5. P. 37.
26. Kholodova E.V. Exemplary estate farms and economic settlements in the system of large and largest estates. Kursk region XVIII - 1st half of the XIX centuries // Construction and reconstruction (magazine). 2019.No. 4. P. 123-125.
27. House of Peter the Great in the settlement of Borisovka // Proceedings of the Kursk provincial statistical committee. Kursk: Printing house of the Provincial government, 1863. S. 579-581.
28. An extract from the chronicle of the Assumption, which is in the forest of the church in the city of Rylysk // Proceedings of the Kursk Provincial Scientific Archival Commission. Kursk: Printing house of the Kursk Provincial Zemstvo, 1911. V.I. P.296-298.
29. Russian State Military Historical Archive RGVA.F.VUA .. D.18800. Part 1-15. Description of the Kursk governorship in general and separately of any city and county, with city plans and maps of the county, composed in 1775 by the Kursk provincial surveyor and lieutenant Ivan Bashilov.
30. Pilyavsky V.I., Tits A.A., Ushakov Yu.S. History of Russian architecture: a textbook for universities. L., 1984. P. 269.

**Информация об авторе:**

**Холодова Елена Васильевна**

Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ) Филиал ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России", г. Москва, Россия,  
ведущий научный сотрудник, кандидат архитектуры, член Союза архитекторов России, советник РААСН.  
E-mail: [tora-9@yandex.ru](mailto:tora-9@yandex.ru)

**Information about author:**

**Kholodova Elena V.**

Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning (NIITIAG) Branch of the Federal State Budgetary Institution "TSNIIP of the Ministry of Construction of Russia", Moscow, Russia,  
leading researcher, Candidate of Architecture, member of the Union of Architects of Russia, adviser to the RAASN.  
E-mail: [tora-9@yandex.ru](mailto:tora-9@yandex.ru)



А.Д. АЛТЫНБЕКОВА<sup>1</sup>, Р.Е. ЛУКПАНОВ<sup>1</sup>, С.Б. ЕНКЕБАЕВ<sup>1</sup>,  
Д.С. ДЮСЕМБИНОВ<sup>1</sup>, Н.К. ЕРЖАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>НАО «Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати», г. Тараз, Казахстан

## УДОБОУКЛАДЫВАЕМЫЙ БЕТОН БЫСТРОГО ТВЕРДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

***Аннотация.** В статье представлены результаты влияния комплексной добавки на улучшение физико-механических характеристик материала. Оценка физико-механических характеристик бетона произведена для четырех типов бетона. Основными оценочными параметрами, являлись: сроки схватывания, прочность на сжатие и растяжение при изгибе, водопоглощение. В представленной работе авторы использовали комплексную добавку, содержащую в своем составе щелочь (каустическая сода), послеспиртовую барду (отходы спиртового производства) и регулятор твердения (гипс) в разных соотношениях. Показано, что совместное применение в составе комплексной добавки, обладающей хорошо совместимыми механизмами их влияния на процессы гидратации, схватывания и твердения цементной массы, взаимно дополняет и усиливает действие каждого ингредиента добавки. Увеличение концентрации комплексной добавки в цементной смеси до 7% от массы цемента не только оказывает влияние на процесс разжижения цементного раствора, сокращение времени схватывания и твердения цементной массы, но и повышает прочность на сжатие цементного камня на всех сроках твердения. Анализ дает основание утверждать, что комплексная добавка обеспечивает уменьшение водопоглощения бетона. Выявлено, что бетон с исследуемой комплексной добавкой обладает высокими физико-механическими показателями. Найдены оптимальные дозировки рассматриваемой добавки, которые использовались в настоящей работе.*

***Ключевые слова:** комплексная добавка, послеспиртовая барда, каустическая сода, гипс, буронабивная свая, сроки схватывания, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, водопоглощение.*

A.D. ALTYNBEKOVA<sup>1</sup>, R.E. LUKPANOV<sup>1</sup>, S.B. YENBEKAEV<sup>1</sup>,  
D.S. DYUSSEMBINOV<sup>1</sup>, N.K. YERZHANOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

## FAST-HARDENING WORKABLE CONCRETE FOR THE PRODUCTION OF BORED

***Abstract.** The article presents the results of the effect of a complex additive on improving the physical and mechanical characteristics of the material. The evaluation of the physical and mechanical characteristics of concrete was made for four types of concrete. The main parameters were: setting time, compressive and flexural strength, water absorption. In the presented work the authors used a complex additive containing in its composition alkali (caustic soda), post-alcoholic bard (alcohol production waste) and hardening regulator (gypsum) in different ratios. It is shown that the combined use in the composition of a complex additive, which has well-compatible mechanisms of their influence on the processes of hydration, setting and hardening of the cement mass, mutually complements and enhances the effect of each ingredient of the additive. Increasing the concentration of the complex additive in the cement mixture up to 7% of the cement mass not only affects the process of*

© Алтынбекова А.Д., Лукпанов Р.Е., Енкебаев С.Б., Дюсембинов Д.С., Ержанова Н.К., 2022

*cement mortar liquefaction, shortening the time of setting and hardening of the cement mass, but also increases the compressive strength of the cement in all periods of hardening. The analysis suggests that the complex additive provides a reduction in water absorption of concrete. It has been revealed that concrete with the studied complex additive has high physical and mechanical properties. The optimum dosages of the considered additive have been found and used in the present work.*

**Keywords:** *complex additive, post-alcohol bard, caustic soda, gypsum, bored pile, setting time, compressive strength, flexural strength, water absorption.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байджанов Д.О., Абдрахманова К.А. Особенности микрокремнезема как минеральной добавки в цементное вяжущие // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. № 2-1 (46). С. 73-76.
2. Абдрахманова К.А., Байджанов Д.О. Высокопрочный бетон модифицированный с различными добавками // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Пенза, 2019. С. 102-104.
3. Купчикова Н.В., Максимов А.О., Зинченко Д.В. Эволюция технологии устройства буронабивных свайных фундаментов с уширениями // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования. Астрахань, 2018. С. 113-121.
4. Пономарев А.Б., Соловьев А.В., Богомолова О.А. К вопросу определения расчетной нагрузки на сваю // Актуальные проблемы геотехники. 2014. С. 159-165.
5. Тринкер Б.Д. и др. Эффективность применения комплексных добавок ПАВ и электролитов // Бетон и железобетон. 2007. № 10. С. 12-13.
6. Петрова Т.М., Смирнова О.М. Современные модифицирующие добавки для производства сборного бетона и железобетона // Известия Петербургского университета путей сообщения 2010. №4. С. 203-212.
7. Боцман Л.Н., Строкова В.В., Ищенко А.В., Боцман А.Н. Модифицирование бетона за счет введения различных видов добавок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 90-94.
8. Кушбакова Б.Б. Ботиров И.Ш., Мухамедбаев А.А. Влияние химической добавки на прочность бетона // Scientific progress. 2021. №1 (6). С. 302-304.
9. Бахташ К.Н., Абдрахманов У.К. Исследование возможности повышения качества бетона введением модифицирующих добавок // Молодой ученый. 2020. № 22. С. 91-94.
10. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками. Москва. 2014. Учебное пособие. 160 с.
11. Руководство по применению химических добавок к бетону. М., Стройиздат, 1975, 66 с.
12. Анисимов С.Н., Кононова О.В., Минаков Ю.А., Лешканов А.Ю., Смирнов А.О. Исследование прочности тяжелого бетона с пластифицирующими и минеральными добавками // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2 (часть 1).
13. Jeyanth A., Kosalram R., Rajkiran R.C. Influence of chemical admixtures on the strength properties of concrete [Влияние химических добавок на прочностные свойства бетона] / Conference: SET conference, VIT university. 2013. <https://www.researchgate.net/publication/267624951> DOI: 10.13140/2.1.1107.0404
14. Дружинкин С.В., Немыкина Д.А., Краснова Е.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на прочность бетона / Инженерный Вестник Дона. 2018. № 2.
15. Ефимов В.М., Рожин И.И., Попенко Ф.Е., Степанов А.В., Степанов А.А., Васильчук Ю.К. Устройство буронабивных свай в условиях криолитозоны центральной Якутии // Арктика и антарктика. Москва, 2018. С. 133-141.
16. Ширшаева Д.В., Устюгов А.С. Комплексная добавка для цементного вяжущего // Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск, 2019. С. 878-879.
17. Калашников В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов. Ч. 2. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2007. № 6. С. 8-11.
18. Базаров Б.Г., Норжинбадам С., Санжаасурен Р., Доржиева С.Г., Урханова Л.А. Пластифицирующие добавки в бетон на основе промышленных отходов // Вестник ВСГУТУ. 2012. № 1 (36). С. 27.
19. Копаница Н.О., Сорокина Е.А. Демьяненко О.В. Влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3d-печати // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018 (4). С. 122-134.
20. Кинд В.В. Коррозия цементов и бетона в гидротехнических сооружениях // В.В. Кинд. М.: Госэнергоиздат, 1955. 320 с.
21. Пустовгар А.П. Эффективность применения современных суперпластификаторов в сухих строительных смесях // 4-я Междунар. научно-техн. конф. «Современные технологии сухих смесей в строительстве «MixBUILD»». Санкт-Петербург, 2002. С. 45-52.

22. Иванов И.М., Крамар Л.Я., Кирсанова А.А., Тьери В. Влияние комплекса "микрокремнезем-суперпластификатор" на формирование структуры и свойств цементного камня // Вестник ЮжноУральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Т. 18. № 1. С. 32-40.
23. Калашников В.И. Особенности реологических изменений цементных композиций под действием ионностабилизирующих пластификаторов // Сборник трудов «Технологическая механика бетона». Рига: РПИ, 1984. С. 103-118.
24. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны // Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
25. Калашников В.И. Учет реологических изменений бетонных смесей с суперпластификаторами // Материалы IX Всесоюзной 53 конференции по бетону и железобетону (Ташкент, 1983). Пенза, 1983. С. 7-10.
26. Танг Ван Лам. Возможность применений высококачественного мелкозернистого торкрет-бетона для строительства метро // сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Издательство: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва). 2016. С. 909-912.
27. Батраков, В.Г. Адсорбция и пластифицирующий эффект суперпластификатора С-3 в зависимости от состава цемента / В.Г. Батраков, Т.Е. Тюрина, В.Р. Фаликман // Бетоны с эффективными добавками. М.: НИИЖБ, 1985. С. 8-14.
28. Gaitero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles [Снижение скорости выщелачивания кальция из цементной пасты путем добавления наночастиц кремнезема]. Cem. Concr. Res, 2008. Vol.38. Pp.1112–1118.
29. Kopanitsa N., Sarkisov Y., Gorshkova A., Demyanenko O. Additives for Cement Compositions Based on Modified Peat [Добавки для цементных композиций на основе модифицированного торфа] // AIP Conference Proceedings 1698, 070015 (2016). С. 070015-0-070015-5.
30. Sanchez F., Zhang L., Ince C. Multi-scale performance and durability of carbon nanofiber/cement composites [Многоуровневая работа и долговечность углеродного нановолокна/цементных композитов]. In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic; 2009. P. 345.

## REFERENCES

1. Bajdzhanov D.O., Abdrahmanova K.A. Osobennosti mikrokremsnezema kak mineral'noj dobavki v cementnoe vjazhushhie [Peculiarities of microsilica as a mineral additive in cement binders] // Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2019. No. 2-1 (46). Pp. 73-76. (rus)
2. Abdrahmanova K.A., Bajdzhanov D.O. Vysokoprochnyj beton modifitsirovannyj s razlichnymi dobavkami [High-strength concrete modified with various additives] // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovacii. Penza. 2019. Pp. 102-104. (rus)
3. Kupchikova N.V., Maksimov A.O., Zinchenko D.V. Jevoljucija tehnologii ustrojstva buronabivnyh svajnyh fundamentov s ushireniami [Evolution of technology for bored pile foundations with extensions] // Innovacionnoe razvitie regionov: potencial nauki i sovremennogo obrazovanija. Astrahan'. 2018. Pp. 113-121. (rus)
4. Ponomarev A.B., Solov'ev A.V., Bogomolova O.A. K voprosu opredelenija raschetnoj nagruzki na svaju [To determine the design load on the pile] // Aktual'nye problemy geotekhniki. 2014. Pp. 159–165. (rus)
5. Trinker B.D. i dr. Jeffektivnost' primeneniya kompleksnyh dobavok PAV i jelektrolitov [Effectiveness of complex surfactant and electrolyte additives] // Beton i zhelezobeton. 2007. No. 10. Pp. 12–13. (rus)
6. Petrova T.M., Smirnova O.M. Sovremennye modifitsirujushhie dobavki dlja proizvodstva sbornogo betona i zhelezobeta [Modern modifying additives for the production of precast concrete and reinforced concrete] // Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija. 2010. No. 4. Pp. 203-212. (rus)
7. Bocman L.N., Strokova V.V., Ishhenko A.V., Bocman A.N. Modifitsirovanie betona za schet vvedeniya razlichnyh vidov dobavok [Modifying concrete by introducing different types of additives] // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2016. No. 6. Pp. 90-94. (rus)
8. Kushbakova B.B., Botirov I.Sh., Muhamedbaev A.A. Vlijanie himicheskoj dobavki na prochnost' betona [Effect of a chemical additive on the strength of concrete] // Scientific progress. 2021. No.1 (6). Pp. 302-304. (rus)
9. Bahtash K.H., Abdrahmanov U.K. Issledovanie vozmozhnosti povysheniya kachestva betona vvedeniem modifitsirujushchih dobavok [Study of the possibility of improving the quality of concrete by introducing modifying additives] // Molodoj uchenyj. 2020. No. 22. Pp. 91-94. (rus)
10. Zotkin A.G. Betony s jeffektivnymi dobavkami [Concretes with effective additives]. Moskva. 2014. Uchebnoe posobie. 160 p. (rus)
11. Rukovodstvo po primeneniju himicheskih dobavok k betonu [Guidelines for the use of chemical concrete additives]. M., Strojizdat, 1975. 66 p.

12. Anisimov S.N., Kononova O.V., Minakov Ju.A., Leshkanov A.Ju., Smirnov A.O. Issledovanie prochnosti tjazhelogo betona s plastificirujushhimi i mineral'nymi dobavkami [Study of the strength of heavy concrete with plasticizers and mineral additives] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. № 2 (1). (rus)
13. Jeyanth A., Kosalram R., Rajkiran R.C. Influence of chemical admixtures on the strength properties of concrete // Conference: SET conference, VIT university. 2013. <https://www.researchgate.net/publication/267624951> DOI: 10.13140/2.1.1107.0404
14. Druzhinin S.V., Nemykina D.A., Krasnova E.A. Vlijanie superplastificirujushhix dobavok na prochnost' betona [Effect of superplasticizing additives on concrete strength] // *Inzhenernyj Vestnik Dona*. 2018. No. 2. (rus)
15. Efimov V.M., Rozhin I.I., Popenko F.E., Stepanov A.V., Stepanov A.A., Vasil'chuk Ju.K. Ustrojstvo buronabivnyh svaj v uslovijah kriolitozony central'noj Jakutii [Installation of bored piles in the cryolithozone conditions of central Yakutia] // *Arktika i antarktika*. Moskva, 2018. Pp. 133-141. (rus)
16. Shirshaeva D.V., Ustjugov A.S. Kompleksnaja dobavka dlja cementnogo vjazhushhego [Complex additive for cement binders] // *Izbrannye doklady 65-j Jubilejnoj universitetskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov i molodyh uchenyh*. Tomsk, 2019. Pp. 878-879. (rus)
17. Kalashnikov V.I. Cherez racional'nuju reologiju – v budushhee betonov. Ch. 2. Tonkodispersnye reologicheskie matricy i poroshkovye betony novogo pokolenija [Through rational rheology into the future of concrete. Part 2: Fine rheological matrices and new generation powder concretes] // *Tehnologii betonov*. 2007. No. 6. Pp. 8-11. (rus)
18. Bazarov B.G., Norzhinbadam S., Sanzhaasuren R., Dorzhieva S.G., Urhanova L.A. Plastificirujushhie dobavki v beton na osnove promyshlennyh othodov [Plasticizing additives in concrete based on industrial waste] // *Vestnik VSGUTU*. 2012. № 1 (36). Pp. 27. (rus)
19. Kopanica N.O., Sorokina E.A., Dem'janenko O.V. Vlijanie dobavki termomodificirovannogo torfa na tehnologicheskie svojstva stroitel'nyh smesej dlja 3d-pechati [Effect of thermally modified peat additive on the technological properties of construction mixtures for 3d-printing] // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2018 (4). Pp. 122-134. (rus)
20. Kind V.V. Korrozija cementov i betona v gidrotehnicheskix sooruzhenijah [Corrosion of cements and concrete in hydraulic structures] // V.V. Kind. M.: Gosjenergoizdat, 1955. 320 p. (rus)
21. Pustovgar A.P. Jeffektivnost' primeneniya sovremennyh superplastifikatorov v suhix stroitel'nyh smesjah [Effectiveness of modern superplasticizers in dry building mixes] // 4-ja Mezhdunar. nauno-tehn. konf. «Sovremennye tehnologii suhix smesej v stroitel'stve «MixBUILD»». Sankt-Peterburg, 2002. Pp. 45-52. (rus)
22. Ivanov I.M., Kramar L.Ja., Kirsanova A.A., T'eri V. Vlijanie kompleksa "mikrokremnezem-superplastifikator" na formirovanie struktury i svojstv cementnogo kamnja [Influence of the complex "microsilica-superplasticizer" on the formation of the structure and properties of cement stone] // *Vestnik JuzhnoUral'skogo gosudarstvennogo universiteta*. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2018. T. 18. No. 1. Pp. 32-40. (rus)
23. Kalashnikov V.I. Osobennosti reologicheskix izmenenij cementnyh kompozicij pod dejstviem ionnostabilizirujushhix plastifikatorov [Peculiarities of rheological changes of cement compositions under the action of ionic stabilizing plasticizers] // *Sbornik trudov «Tehnologicheskaja mehanika betona»*. Riga: RPI, 1984. Pp. 103-118. (rus)
24. Bazhenov Ju.M. Modificirovannye vysokokachestvennye betony [Modified high quality concretes] // Ju.M. Bazhenov, B.C. Dem'janova, V.I. Kalashnikov. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 368 p. (rus)
25. Kalashnikov V.I. Uchet reologicheskix izmenenij betonnyh smesej s superplastifikatorami [Accounting for rheological changes in concrete mixtures with superplasticizers] // *Materialy IX Vsesojuznoj 53 konferencii po betonu i zhelezobetonu* (Tashkent, 1983). Penza, 1983. Pp. 7-10. (rus)
26. Tang Van Lam. Vozmozhnost' primeneniya vysokokachestvennogo melkozernistogo torkret-betona dlja stroitel'stva metro [The possibility of using high-quality fine-grained shotcrete for subway construction] // *sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoj mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchjonyh*. FGBOU VO «Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet». Izdatel'stvo: Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet (Moskva). 2016. Pp. 909-912. (rus)
27. Batrakov V.G. Adsorbicija i plastificirujushhij jeffekt superplastifikatora S-3 v zavisimosti ot sostava cementa [Adsorption and plasticizing effect of superplasticizer C-3 depending on cement composition] / V.G. Batrakov, T.E. Tjurina, V.R. Falikman // *Betony s jeffektivnymi dobavkami*. M.: NIIZhB, 1985. Pp. 8-14. (rus)
28. Gaitero J.J., Campillo I., Guerrero A. Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles, *Cem. Concr. Res.* 2008. Vol.38. Pp.1112–1118.
29. Kopanitsa N., Sarkisov Y., Gorshkova A., Demyanenko O.. Additives for Cement Compositions Based on Modified Peat // *AIP Conference Proceedings* 1698, 070015 (2016). C. 070015-0-070015-5.
30. Sanchez F., Zhang L., Ince C. Multi-scale performance and durability of carbon nanofiber/cement composites. In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. *Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction)*. Prague, Czech Republic; 2009. P. 345.

### Информация об авторах:

**Алтынбекова Алия Досжанкызы**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, докторант кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [kleo-14@mail.ru](mailto:kleo-14@mail.ru)

**Лукпанов Рауан Ермагамбетович**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, PhD, ассоциированный профессор кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

E-mail: [rauan\\_82@mail.ru](mailto:rauan_82@mail.ru)

**Енкебаев Серик Бейсенгалиевич**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирование зданий и сооружений.

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

**Дюсембинов Думан Серикович**

НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», г. Нур-Султан, Казахстан, кандидат технических наук, доцент кафедры технология промышленного и гражданского строительства.

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

**Ержанова Нурлиза Киякбаевна**

НАО «Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати», г. Тараз, Казахстан, магистр, старший преподаватель кафедры водные ресурсы.

E-mail: [nurliza66@mail.ru](mailto:nurliza66@mail.ru)

### Information about authors:

**Altynbekova Aliya D.**

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan, doctoral student of the department of technology of industrial and civil engineering.

E-mail: [kleo-14@mail.ru](mailto:kleo-14@mail.ru)

**Lukpanov Rauan E.**

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan, PhD, associated professor of the department of technology of industrial and civil engineering.

E-mail: [rauan\\_82@mail.ru](mailto:rauan_82@mail.ru)

**Yenkebayev Serik B.**

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan, candidate in technical sciences, associated professor of the department of design of buildings and structures.

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

**Dyusseminov Duman S.**

Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Nur-Sultan, Kazakhstan, candidate in technical sciences, associate professor of the department of Industrial and Civil Engineering Technology.

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

**Yerzhanova Nurliza K.**

Taraz Regional University named after M.H. Dulati, Taraz, Kazakhstan, MSC, senior lecturer of the department of water resources.

E-mail: [nurliza66@mail.ru](mailto:nurliza66@mail.ru)

Е.В. ТКАЧ<sup>1</sup>, Ю.С. ФИЛИМОНОВА<sup>1</sup>, А.И. КОРНЕЕВ<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
г. Москва, Россия<sup>2</sup>Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Россия

## ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНЫМ ПОЛИМЕРНЫМ МОДИФИКАТОРОМ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

**Аннотация.** Основной задачей получения бетонов, в частности для гидромелиоративного строительства, с повышенными эксплуатационными показателями путем модифицирования их структуры и свойств комплексными добавками с каждым годом становится всё более актуальным. В рамках данных исследований рассмотрены вопросы, связанные с модификацией состава тяжелого бетона с применением комплексной химической добавки, состоящей из суперпластификатора Melflux 5581 F и водорастворимой полимерной добавки Полидон-А.

Целью исследования является разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение тяжелого бетона на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором (Melflux + Полидон-А) для сельскохозяйственного строительства.

Объект исследования - тяжелый бетон на основе полидисперсного вяжущего с комплексным полимерным модификатором для сельскохозяйственного строительства.

Результаты исследования: Полученный модифицированный бетон характеризуется повышением прочности на сжатие и растяжение при изгибе, условному коэффициенту интенсивности напряжений, водопоглощению, водонепроницаемости и морозостойкости, что дает возможность рекомендовать его для производства строительных изделий и конструкций, работающих в суровых условиях эксплуатации, в частности, для лотков оросительных систем.

**Ключевые слова:** гидромелиоративное строительство, полидисперсное вяжущее, модифицирование, суперпластификатор, водорастворимая полимерная добавка, водонепроницаемость, прочность, морозостойкость.

E.V. TKACH<sup>1</sup>, YU.S. FILIMONOVA<sup>1</sup>, A.I. KORNEEV<sup>2</sup><sup>1</sup>National Research Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russia<sup>2</sup>Tver State Technical University, Tver, Russia

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

**Abstract.** The main task of obtaining concrete, in particular for irrigation and drainage construction, with increased performance by modifying their structure and properties with complex additives is becoming more and more relevant every year. Within the framework of these studies, issues related to the modification of the composition of heavy concrete with the use of a complex chemical additive consisting of the superplasticizer Melflux 5581 F and the water-soluble polymer additive Polydon-A were considered.

The aim of the study is to develop a scientifically based technological solution that provides the production of heavy concrete based on a polydisperse binder with a complex polymer modifier (Melflux + Polydon-A) for agricultural construction.

The object of study is heavy concrete based on a polydisperse binder with a complex polymeric modifier for agricultural construction.



*Research results: The resulting modified concrete is characterized by an increase in compressive and tensile strength in bending, a conditional stress intensity factor, water absorption, water resistance and frost resistance, which makes it possible to recommend it for the production of building products and structures operating in harsh operating conditions, in particular, for trays irrigation systems.*

**Keywords:** *irrigation and drainage construction, polydisperse binder, modification, superplasticizer, water-soluble polymer additive, water resistance, strength, frost resistance.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд. Ассоциации строительных вузов. 2006. 368 с.
2. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. (Chemistry, Moscow, 1980).
3. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, *Construction Materials*, 8, 84-87(2015) DOI: 10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88.
4. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kizinievich O., Kizinievich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, *Construction Materials*. 2016. № 8. С. 20-29.
5. Энтин З.Б., Юдович Б.Э. Многокомпонентные цементы. Научн. тр. // НИИцемент, 1994. Вып 107. С. 3-76. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-25-29.
6. Величко Е.Г., Шумилина Ю.С. К проблеме формирования дисперсного состава и свойств высокопрочного бетона // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 2. С. 235-243. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.
7. Самченко С.В., Егоров Е.С. Управление свойствами цементной пасты при ее модифицировании предварительно гидратированной цементной суспензией // Техника и технология силикатов. 2021. Т. 28. № 2. С. 54-58.
8. Самченко С.В., Абрамов М.А., Егоров Е.С. Особенности протекания гидратации и твердения цементных паст с добавкой гидратированного цемента // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27. № 1. С. 24-28.
9. Филимонова Ю.С., Величко Е.Г. Исследование комплексной модификации тяжелого бетона // Строительство и реконструкция. 2021. №4 (96). С.107-109. DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112.
10. Соловьев В.И., Ткач Е.В., Серова Р.Ф., Ткач С.А., Тоимбаева Б.М., Сейдинова Г.А. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органоминеральными модификаторами // Фундаментальные исследования. 2014. №8-3. С. 590-595.
11. Самченко С.В., Козлова И.В., Земскова О.В., Дударева М.О., Шубина Е.С. Сравнительный анализ способов модифицирования шлакопортландцемента ультрадисперсным компонентом // Техника и технология силикатов. 2020. Т. 27. № 4. С. 113-120.
12. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Цементный бетон с улучшенными физико-механическими свойствами на основе применения активированного микрокремнезема // Инновации и инвестиции. 2019. №10. С. 289-292.
13. Ткач Е.В., Темирканов Р.И. Улучшение физико-механических свойства модифицированного бетона на основе применения химически активированного микрокремнезема с микроармирующим волокном // Строительство и реконструкция. 2020. №2 (88). С. 123-135.
14. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. *Applied Mechanics and Materials*, **459**, 82-86(2013) DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82
15. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-303**, (470-478) 2006. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470
16. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-302**, 26-34(2006). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.26156.
17. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. *Advanced Materials Research*. **1054**, 154-161(2014). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154
18. Калашников В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов, *Construction Materials*. 2008. № 3. С. 20-23.
19. Суздальцев О.В. Новые высокоэффективные бетоны, *New university. Technical sciences*, 7-8(29-30), 44-47(2014).
20. Melihov I.V. Physicochemical Evolution of Solid, (Binomial. Knowledge laboratory, Moscow, 2009).

REFERENCES

1. Bazhenov YU.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high quality concretes. M.: Ed. Association of construction universities. 2006. 368 p.
2. Ur'ev N.B. Vysokokoncentrirovannye dispersnye sistemy, (Chemistry, Moscow, 1980).
3. Isaeva YU.V., Velichko E.G., Kasumov A.SH. Structure optimization of ultra-light cement mortar with due regard for geometrical and physical and mechanical characteristics of components, *Construction Materials*, **8**, 84-87(2015) DOI: 10.31659/0585-430X-2015-728-8-84-88.
4. Yakovlev G.I., Ginuchickaya YU.N., Kizinievich O., Kizinievich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics, *Construction Materials*. 2016. N. 8. С. 20-29.
5. Entin Z.B., YUdovich B.E. Mnogokomponentnye cementy. Nauchn. tr. // NIICement, 107. 1994. Pp. 3-76. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-25-29.
6. Velichko E.G., SHumilina YU.S. K probleme formirovaniya dispersnogo sostava i svoystv vysokoprochnogo betona // *Vestnik MGSU*, **15(2)**, 235-243(2020). DOI: 10.22227/1997-0935.2020.2.235-243.
7. Samchenko S.V., Egorov E.S. Control of the properties of cement paste during its modification with a pre-hydrated cement suspension. *Technique and technology of silicates*. **28 (2)**, 54-58 (2021).
8. Samchenko S.V., Abramov M.A., Egorov E.S. Peculiarities of hydration and hardening of cement pastes with the addition of hydrated cement. *Technique and technology of silicates*. **27 (1)**, 24-28(2020).
9. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Cement concrete with improved physical and mechanical properties based on the use of activated silica fume. *Innovations and investments*. **10**, 289-292(2019).
10. Tkach E.V., Temirkanov R.I. Improving the physical and mechanical properties of modified concrete based on the use of chemically activated microsilica with micro-reinforcing fiber. *Construction and Reconstruction*. **2 (88)**, 123-135(2020).
11. Samchenko S.V., Kozlova I.V., Zemskova O.V., Dudareva M.O., Shubina E.S. Comparative analysis of methods for modifying Portland slag cement with an ultrafine component, *Technique and technology of silicates*. **27 (4)**, 113-120(2020).
12. Filimonova YU.S., Velichko E.G. Study of the complex modification of heavy concrete // *Construction and reconstruction*. **4 (96)**, 107-109(2021). DOI: 10.33979/2073-7416-2021-96-4-107-112.
13. Soloviev V.I., Tkach E.V., Serova R.F., Tkach S.A., Toimbaeva B.M., Seydinova G.A. Research of cement stone porosity modified by complex organic mineral modifiers // *Fundamental research.*, **8-3**, 590-595(2014).
14. Xu S.Q. The Comprehensive Utilization of Fly Ash. *Applied Mechanics and Materials*, **459**, 82-86(2013) DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.459.82
15. Feng N., Peng G. High Performance Concrete with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-303**, 470-478(2006). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.470
16. Nai-Qian Feng, Gai-Fei Peng A Development of the Research on High Performance Concrete Incorporated with High Volume Fly Ash. *Key Engineering Materials*. **302-302**, 26-34(2006). DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.26156.
17. Reiterman Comparative Investigations of some Properties Related to Durability of Cement Concretes Containing Different Fly Ashes. *Advanced Materials Research*. **1054**, 154-161(2014). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1054.154
18. Kalashnikov V.I. Promyshlennost' nerudnyh stroitel'nyh materialov i budushchee betonov, *Construction Materials*. 2008. N. 3. Pp. 20-23.
19. Suzdal'cev O.V. Novye vysokeffektivnye betony, *New university. Technical sciences*, **7-8(29-30)**, 44-47(2014).
20. Melihov I.V. Physicochemical Evolution of Solid, (Binomial. Knowledge laboratory, Moscow, 2009).

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](mailto:ev_tkach@mail.ru)

**Филимонова Юлия Сергеевна**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия, преподаватель кафедры строительного материаловедения.  
E-mail: [JuliaS06@mail.ru](mailto:JuliaS06@mail.ru)

**Корнеев Александр Игоревич**

Тверской государственный технический университет г. Тверь, Россия, аспирант кафедры Автоматизация технологических процессов.  
E-mail: [blpgg@yandex.ru](mailto:blpgg@yandex.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](mailto:ev_tkach@mail.ru)

**Filimonova Yulia S.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,  
lecturer of the department of building materials science.

E-mail: [JuliaS06@mail.ru](mailto:JuliaS06@mail.ru)

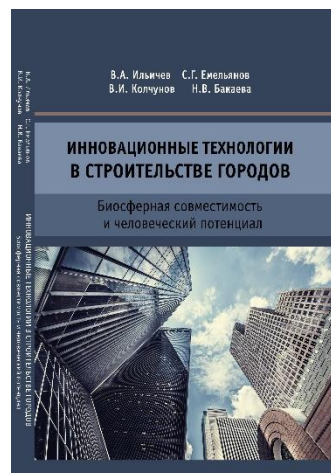
**Korneev Alexander I.**

Tver State Technical University Tver, Russia  
postgraduate of the department Automation of technological processes.

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

**ОТЗЫВ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
«ИННОВАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В  
СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРОДОВ.  
БИОСФЕРНАЯ  
СОВМЕСТИМОСТЬ И  
ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ»**

Москва: Издательство: АСВ, 2019, 208 с.  
авторов: академика РААСН *В.А. Ильичева*,  
член-корреспондента РААСН *С.Г. Емельянова*,  
академика РААСН *В.И. Колчунова*,  
советника РААСН *Н.В. Бакаевой*



В учебном пособии, подготовленном коллективом авторов под руководством академика РААСН В.И. Ильичева, представлен междисциплинарный подход, который направлен на формирование пространственных параметров качества жизни с позиции симбиоза города и биосферы. Сегодня в учебной литературе недостаточно или практически отсутствуют издания, отражающие формирование нового мировоззрения человека через когнитивное, аффективное и духовное взаимодействие с природой, направленное на преодоление антагонистического отношения к окружающей город природной среде.

Настоящее пособие отражает опыт научных исследований авторов, который систематизирован в совокупность научных установок Российской академии архитектуры и строительных наук – парадигму биосферосовместимого развития человечества, послужившую в последующем методологической базой для разработки Доктрины градоустройства и расселения.

Научные положения учебного пособия основаны на фундаментальных знаниях экологии, безопасности жизнедеятельности, природопользования, социологии и других смежных наук. Исходят из оценки современного состояния городской среды и принципов сбалансированной природно-антропогенной совместимости, что не только не противоречит градостроительной теории и практики планировки и застройки городов, но и наоборот, дополняет ее.

Вопросы, освещённые в учебном пособии, также могут быть положены в основу развития нормативной базы технического регулирования в градостроительстве и строительстве.

Заведующий кафедрой «Градостроительство»  
Московского архитектурного института  
академик РААСН, д-р архитектуры, профессор  
М.В. Шубенков

**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 25.04.2022  
Дата выхода в свет 17.05.2022  
Формат 70×108/16. Печ. л. 7,6  
Цена свободная. Тираж 1000 экз.  
Заказ № 89

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