

ISSN ONLINE 2782-1919

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



**Том 7
выпуск**

2

2026

**VOLUME 7
ISSUE 2**

ИЗДАНИЕ ЯРОСЛАВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 2020 года, выходит 4 раза в год

Включен в Перечень ВАК РФ и Единый государственный
перечень научных изданий, уровень 3

**Том 7
Выпуск 2**

Ярославль 2026

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор: С.В. ФЕДОСОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва)
Заместитель главного редактора: П.Б. РАЗГОВОРОВ (д.т.н., проф., Ярославль)
Ответственный секретарь: И.А. ВОРОНОВ (Ярославль)

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.А. АБДЫКАЛЫКОВ (д.т.н., проф., Кыргызстан, Бишкек), П.А. АКИМОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), М.О. БАКАНОВ (советник РААСН, д.т.н., доц., Москва), В.В. БЕЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Тверь), А.М. БЕЛОСТОЦКИЙ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.М. БУРГОНУТДИНОВ (д.т.н., проф., Пермь), Н.И. ВАТИН (советник РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербурге), Г.В. ЕСАУЛОВ (вице-президент РААСН, акад. РААСН, д. архитектуры, проф., Москва) А.В. ЗАХАРОВ (советник РААСН, к. архитектуры, проф., Иваново), А.Б. КАПРАНОВА (д.ф.-м.н., проф., Ярославль), В.И. КОЛЧУНОВ (академик РААСН, д.т.н., проф., Москва), В.Г. КОТЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Йошкар-Ола), Н.Н. КУДРЯШОВ (к. архитектуры, проф., Ярославль), А.Е. ЛЕБЕДЕВ (д.т.н., доц., Ярославль), С.Н. ЛЕОНОВИЧ (иностраннный акад. РААСН, д.т.н., проф., Республика Беларусь, Минск), В.Л. МОИДРУС (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.И. МОХОВ (акад. РАЕН, д.т.н., проф., Москва), Т.А. НИЗИНА (советник РААСН, д.т.н., проф., Саранск), П.И. ПОСПЕЛОВ (д.т.н., проф., Москва), Ю.В. ПУХАРЕНКО (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербурге), С.П. РУДОБАШТА (д.т.н., проф., Москва), В.Е. РУМЯНЦЕВА (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Иваново), В.П. СЕЛЯЕВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Саранск), М.Ю. ТАРИШИС (д.т.н., доц., Ярославль), В.И. ТРАВУШ (вице-президент РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.А. ТРЕЩЕВ (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Тула), В.Н. ФЕДОСЕЕВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Иваново), RADIVOJE MITROVIĆ (PhD по техн. н., проф., Республика Сербия, Белград)

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет»

Адрес редакции: 150023, Россия, г. Ярославль, Московский проспект, 88

Телефон: +7 (4852) 44-32-75
E-mail: razgovorovpb@ystu.ru
Электронный адрес: <http://comincon.ru>

Журнал издается при содействии Российской академии архитектуры и строительных наук

Редактор: В.Б. Доброхотов
Англ. перевод: Л.А. Тюкина
Корректура и компьютерная верстка: А.С. Фролов

Зарегистрирован: 27 ноября 2020 (Свидетельство ЭЛ № ФС 77 - 79733)
Периодичность: 4 раза в год
Подписка и распространение: Свободный доступ

PUBLISHED BY YAROSLAVL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Established in November 2020, published quarterly

Included in the List of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation and Unified State List of Scientific Publication, Level 3

Volume 7

Issue 2

Yaroslavl 2026

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

«SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION»

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: S.V. FEDOSOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow)
Deputy Editor-in-Chief: P.B. RAZGOVOROV (doc.eng.sc., prof., Yaroslavl)
Executive secretary: I.A. VORONOV (Yaroslavl)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A.A. ABDYKALYKOV (doc.eng.sc., prof., Kyrgyzstan, Bishkek), P.A. AKIMOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), M.O. BAKANOV (adv. RAACS, doc.eng.sc., doc., Moscow) V.V. BELOV (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Tver), A.M. BELOSTOTSKII (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), A.M. BURGONUTDINOV (doc.eng.sc., prof., Perm), N.I. VATIN (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saint-Petersburg), G.V. ESAULOV (vice-pres. RAACS, acad. RAACS, doc. arch., prof., Moscow), A.V. ZAKHAROV (adv. RAACS, cand. arch., prof., Ivanovo), A.B. KAPRANOVA (doc. phys. and math. sc., prof., Yaroslavl), V.I. KOLCHUNOV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), V.G. KOTLOV (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Yoshkar-Ola), N.N. KUDRIASHOV (cand. arch., prof., Yaroslavl), A.E. LEBEDEV (doc.eng.sc., doc., Yaroslavl), S.N. LEONOVICH (for. acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Belarus, Minsk), V.L. MONDRUS (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), A.I. MOKHOV (acad. RANS, doc.eng.sc., prof., Moscow), T.A. NIZINA (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saransk), P.I. POSPELOV (doc.eng.sc., prof., Moscow), Iu.V. PUKHARENKO (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saint-Petersburg), S.P. RUDOBASHTA (doc.eng.sc., prof., Moscow), V.E. RUMIANTSEVA (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Ivanovo), V.P. SELIAEV (acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Saransk), M.Yu. TARSHIS (doc.eng.sc., doc., Yaroslavl), V.I. TRAVUSH (Vice Pres. RAACS, acad. RAACS, doc.eng.sc., prof., Moscow), A.A. TRESHCHEV (corr. memb. RAACS, doc.eng.sc., prof., Tula), V.N. FEDOSEEV (adv. RAACS, doc.eng.sc., prof., Ivanovo), RADIVOJE MITROVIĆ (PhD eng.sc., prof., Serbia, Belgrade)

Founder: Yaroslavl State Technical University
Editorial office address: 88, Moskovsky Prosp., Yaroslavl, 150023, Russia
Telephone: +7 (4852) 44-32-75
E-mail: razgovorovpb@ystu.ru
Website: <http://comincon.ru>

Published with the assistance of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

Editor: V.B. Dobrokhotov
English translator: L.A. Tiukina
Proofreading and layout designer: A.S. Frolov

Registration: 27 November 2020 (Certificate EL No FS 77 - 79733)
Frequency: Quarterly
Subscription and distribution: Open Access

СОДЕРЖАНИЕ / TABLE OF CONTENTS

Строительные конструкции, здания и сооружения

И.В. Лапин, С.А. Тумаков, Г.Н. Голубь

- 8 Расчет редуцированных геометрических характеристик легких стальных тонкостенных конструкций с автоматизацией в электронных таблицах
I.V. Lapin, S.A. Tutakov, G.N. Golub'
Calculation of reduced geometric characteristics of lightweight thin-walled steel structures using automated spreadsheet analysis

Строительные материалы и изделия

М.О. Баканов

- 21 Динамические модели и алгоритмы оптимального управления в технологии строительных материалов

М.О. Баканов

Dynamic models and algorithms for optimal control in building materials technology

М.П. Степанова, А.М. Усачев, И.Д. Токарев

- 37 Сравнительный анализ качества щебня из различных месторождений в условиях квотирования их добычи

М.П. Stepanova, A.M. Usachev, I.D. Tokarev

Comprehensive comparative analysis of the quality of crushed stone from various deposits under the conditions of their production quotas

Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Т.И. Трубникова, Г.В. Проваторова

- 48 Создание промышленного строительного кластера как модель инновационного развития дорожной отрасли в условиях эксклава

T.I. Trubnikova, G.V. Provatorova

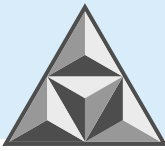
Creation of an industrial construction cluster as a model for the innovative development of the road sector within an exclave context

- А.Е. Лебедев, А.С. Суханов, А.А. Мурашов, А.И. Холодкова*
- 64 Моделирование процесса измельчения частиц асфальтобетона с использованием новой конструкции центробежной мельницы
- A.E. Lebedev, A.S. Sukhanov, A.A. Murashov, A.I. Kholodkova*
- Simulation of the asphalt concrete particle grinding process employing a novel centrifugal mill configuration

Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности

- О.Н. Чеберева, Е.Ю. Стрельникова*
- 78 Функционально-технологические особенности архитектурного проектирования при инклюзивном обучении в зданиях общеобразовательных школ
- O.N. Chebereva, E.Iu. Strelnikova*
- Functional and technological features of architectural design for inclusive education in general education school buildings
- 110 Информация для авторов



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.014, 624.075

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-8-20

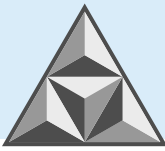
Расчет редуцированных геометрических характеристик легких стальных тонкостенных конструкций с автоматизацией в электронных таблицах

И.В. Лапин, С.А. Тумаков, Г.Н. Голубь

Иван Владимирович Лапин, Сергей Анатольевич Тумаков, Григорий Николаевич Голубь*

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

*lapinivan16@yandex.ru, sergtum1958@yandex.ru, golubgn@ystu.ru**



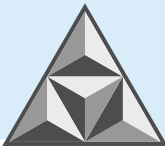
Рассмотрены вопросы теории и практические приемы расчета конструкций каркаса из легких стальных тонкостенных конструкций с учетом редуцирования сечений вследствие появления локальных зон потери устойчивости. Проведен обзор технической и научной литературы, посвященной расчету стальных тонкостенных конструкций с учетом редуцирования сечения. Подобраны методы расчета таких конструкций, соответствующие их реальному поведению под действием нагрузки. Разработаны и апробированы инженерные приемы расчета редуцированных геометрических характеристик сечений тонкостенных стальных элементов в соответствии с актуальными нормами по проектированию с применением функционала программных средств электронной табличной обработки. Показаны практические результаты расчета геометрических характеристик редуцированного сечения по разработанному алгоритму в сравнении с другими программными средами расчета характеристик сечений конструкций.

Ключевые слова: тонкостенные стальные элементы, редукция сечений, электронная таблица

Для цитирования:

Лапин И.В., Тумаков С.А., Голубь Г.Н. Расчет редуцированных геометрических характеристик легких стальных тонкостенных конструкций с автоматизацией в электронных таблицах // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 8-20.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-8-20



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-8-20

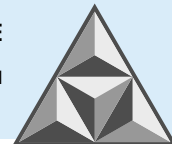
Calculation of reduced geometric characteristics of lightweight thin-walled steel structures using automated spreadsheet analysis

I.V. Lapin, S.A. Tumakov, G.N. Golub'

Ivan Vladimirovich Lapin, Sergey Anatolevich Tumakov, Grigoriy Nikolaevich Golub'*

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

*lapinivan16@yandex.ru, sergtum1958@yandex.ru, golubgn@ystu.ru**



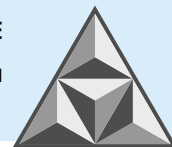
This paper examines the theory and practical methods for the design of lightweight steel thin-walled frame structures, taking into account the reduction in cross-sectional area due to the occurrence of local zones of instability. The authors have reviewed the technical and scientific literature on the design of thin-walled steel structures, taking into account section reduction. Methods for calculating such structures have been selected, corresponding to their actual behavior under the action of loads. The authors have developed and tested engineering methods for calculating the reduced geometric characteristics of thin-walled steel members in accordance with current design standards, utilising spreadsheet software functionality. The paper presents practical results of calculating the geometric characteristics of reduced cross-sections using the developed algorithm, in comparison with other software environments for calculating characteristics sections of structures.

Keywords: thin-walled steel elements, section reduction, spreadsheet

For citation:

Lapin I.V., Tumakov S.A., Golub' G.N. Calculation of reduced geometric characteristics of lightweight thin-walled steel structures using automated spreadsheet analysis // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 8-20. URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-8-20



ВВЕДЕНИЕ

Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) проектируют и изготавливают из холодногнутого элемента, толщина которых не превышает 4 мм. В настоящее время они достаточно востребованы в промышленном и гражданском строительстве. Примеры каркасов зданий приведены на рис. 1.



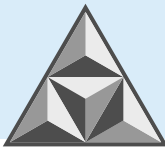
Рис. 1. Примеры применения легких стальных тонкостенных конструкций

Fig. 1. Examples of the use of lightweight, thin-walled steel structures

Основными достоинствами таких конструкций, отмеченными в [1], являются высокая заводская готовность, практически полное отсутствие «мокрых процессов», а также сравнительно малая металлоемкость, которая подтверждается при сопоставлении удельного расхода металла для различных типов каркаса [2]. Особенность работы тонкостенного стального элемента – локальная потеря устойчивости сжатых частей поперечного сечения. Этот аспект необходимо учитывать как при расчете несущей способности элемента, так и при определении фактических геометрических характеристик сечения. Требуемые прочностные характеристики элементов ЛСТК обеспечиваются за счет оптимально подобранной формы и размеров поперечного сечения. Для повышения жесткостных характеристик профилей при прокате могут формироваться стандартизированные местные элементы жесткости, препятствующие развитию потери локальной устойчивости сжатых составляющих частей профиля.

Актуальность использования методов расчета эффективных геометрических характеристик тонкостенных стальных элементов обусловлена несовершенством методик, описанных в [3], а также узкой направленностью ввиду специфики работы конструкций малой толщины и рядом принимаемых допущений. Так, в [4, 5] показаны альтернативные методы расчета, позволяющие в значительной степени упростить процесс проектирования ЛСТК. Кроме того, в [5] описывается расчет общей потери устойчивости, производимый обратным численно-аналитическим методом, который, в отличие от методик в своде правил [3], учитывает комплексное воздействие силовых факторов.

Цель настоящей работы – разработка и апробация инженерных методик расчета редуцированных геометрических характеристик сечений тонкостенных стальных элементов согласно нормам проектирования с применением функционала программных средств табличной обработки.



Автоматизированные способы расчета обладают достаточной точностью для инженерных моделей и позволяют существенно сократить продолжительность работ. Так, в [6] описывается расчетная программа, генерирующая таблицу, содержащую коэффициенты общей потери устойчивости, которые позволяют использовать стандартную методику расчета сжатых стальных элементов. Аналог расчета эффективных геометрических характеристик сечений тонкостенных конструкций с применением средств обработки данных в электронных таблицах представлен в [7].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основные теоретические положения, а также типовые примеры численного расчета редуцированных геометрических характеристик поперечного сечения тонкостенного стального элемента достаточно подробно рассмотрены в пособии [8] к своду правил [3].

В соответствии с требованиями свода правил [3] следует выполнить верификацию применимости расчета на основании максимальных значений отношений габаритных размеров элементов поперечного сечения – высоты h , высоты отгиба c и отношения ширины b к толщине t (см. рис. 2).

Первоначально необходимо определить полные геометрические характеристики поперечного сечения. В настоящей работе рассмотрен точный алгоритм учета влияния зонгиба на данные характеристики; применение его является рациональным ввиду достаточно высокой степени автоматизации вычислений. Геометрические характеристики рассчитываются по стандартным формулам сопротивления материалов.

Теоретические размеры плоских участков поперечного сечения профиля с учетом зонгиба следует определять как расстояние между средними точками соседних угловых элементов, как это показано на рис. 3.

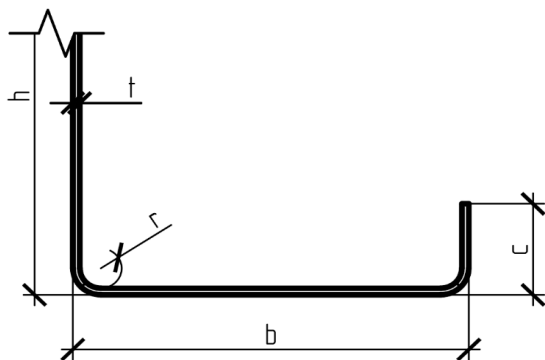


Рис. 2. Буквенное обозначение размеров частей С-образного сечения

Fig. 2. Letters used to indicate the dimensions of parts with a C-shaped cross-section

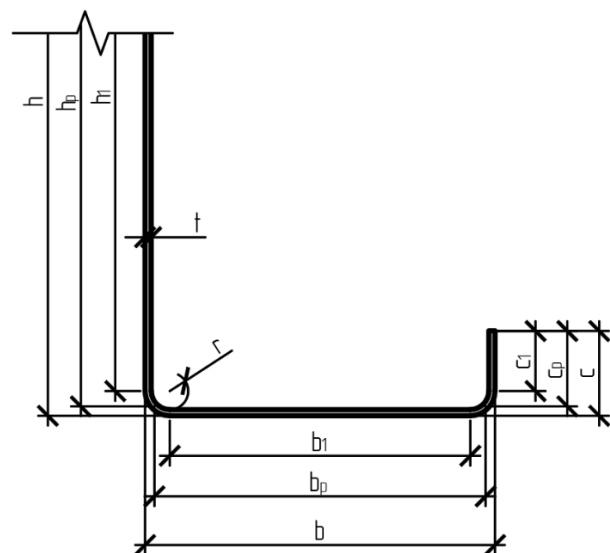
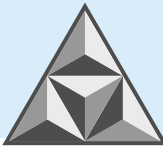


Рис. 3. Теоретические размеры частей С-образного сечения

Fig. 3. Theoretical dimensions of the C-section components

Редукция геометрических параметров элемента реализуется с использованием двух альтернативных подходов – изменением толщины элемента либо, при условии постоянства указанного параметра, изменением его линейных размеров по стандартным формулам [3]:



$$b_{ef} = \rho \cdot b_p, \quad (1)$$

$$t_{ef} = \rho \cdot t_p, \quad (2)$$

где ρ – коэффициент редукиции, рассчитанный по формулам (3), (4) или (5), (6) для сжатых гладких пластин, закрепленных по двум или одной сторонам соответственно.

$$\rho = 1.0 \text{ при } \bar{\lambda}_p \leq 0.673; \quad (3)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p^{-0.055 \cdot (3+\psi)}}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ при } \bar{\lambda}_p > 0.673; \quad (4)$$

$$\rho = 1.0 \text{ при } \bar{\lambda}_p \leq 0.748; \quad (5)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p^{-0.188}}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ при } \bar{\lambda}_p > 0.748, \quad (6)$$

где $\bar{\lambda}_p$ – условная гибкость пластины, при этом

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{R_y}{\sigma_{cr}}}, \quad (7)$$

где R_y – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, определяемое по типовой формуле;

σ_{cr} – критическое напряжение потери устойчивости пластины.

В рамках моделирования напряженно-деформированного состояния элемента поперечного сечения профиля условную гибкость пластины определяют с учетом допущения о линейности эпюры напряжений (рис. 4).

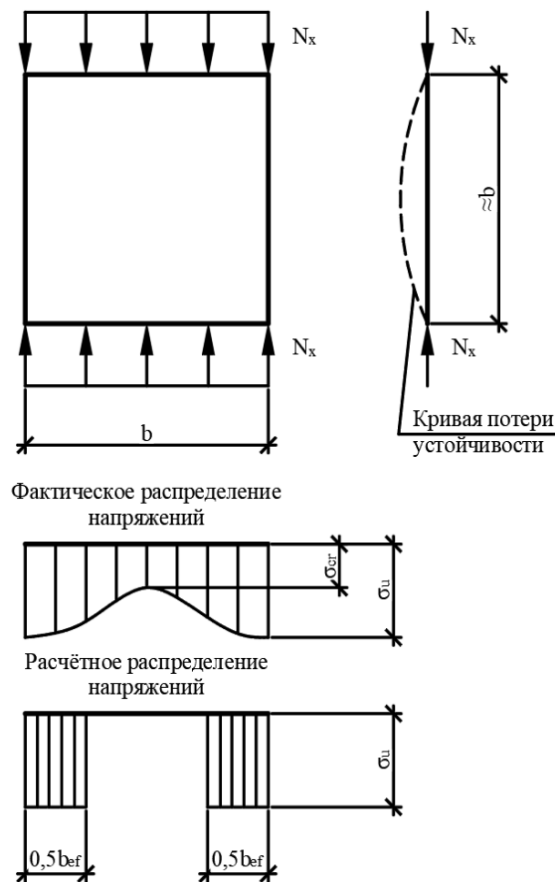
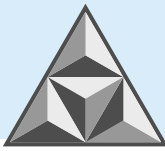


Рис. 4. Распределение напряжений в сжатой пластине с параллельными закрепленными гранями

Fig. 4. Stress distribution in a compressed plate with parallel fixed faces



Количественная оценка распределения напряжений ψ , осуществляемая через отношение их значений на противоположных краях пластины, позволяет вычислить коэффициент k_σ , учитывающий влияние условий закрепления и характер напряжений.

Впервые экспериментально-теоретическая методика расчета сжатых стальных пластин в закритической стадии работы, основанная на исключении частей сжатой пластины, не способных воспринимать приложенную нагрузку, предложена *T. von Karman* [9].

В данной работе рассматривается более предпочтительный, с точки зрения нормативно-технической документации, метод расчета редукции в сечении, в котором принимается допущение равенства максимальных реальных напряжений пределу текучести стали ($\sigma_{com} = R_y$).

В соответствии с [3] расчет критического напряжения местной потери устойчивости сжатой пластины выполняется по формуле:

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^2}, \quad (8)$$

где E – модуль упругости стали;

ν – коэффициент Пуассона.

При наличии в гнутом профиле дополнительных продольных элементов жесткости необходимо определить степень их влияния на редукцию сечения в целом. В [3] данные элементы рассматриваются как сжатые стержни, раскрепляемые по длине упругоподатливой связью K (см. рис. 5).

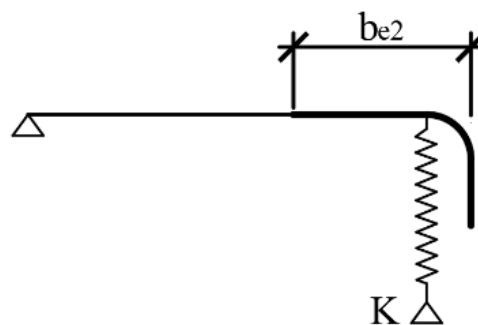


Рис. 5. Расчетная схема конечного элемента жесткости сжатой пластины

Fig. 5. Design of the end stiffening element arranged in a compressed plate

Согласно основным положениям теории упругости, жесткость связи K на единицу длины регламентируется как отношение величины погонной единичной нагрузки u к соответствующему линейному перемещению δ .

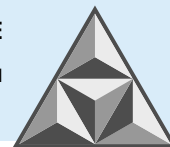
Критическое напряжение потери устойчивости конечного элемента жесткости в упругой стадии работы рассчитывается:

$$\sigma_{cr,s} = \frac{\sqrt{K \cdot E \cdot I_s}}{A_s}, \quad (9)$$

где I_s и A_s – геометрические характеристики начального сечения конечного элемента жесткости (момент инерции и площадь);

ν – коэффициент Пуассона.

На основании жесткости связи K , рассчитываемой по стандартным формулам свода правил [3], вычисляется коэффициент понижения несущей способности (χ_d), позволяющий учесть потерю устойчивости формы сечения.



$$\chi_d = 1,0 \text{ при } \bar{\lambda}_d \leq 0,65; \quad (10)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723 \cdot \bar{\lambda}_d \text{ при } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38; \quad (11)$$

$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} \text{ при } \bar{\lambda}_d \geq 1,38. \quad (12)$$

Коэффициент снижения несущей способности необходим для расчета конечных редуцированных характеристик ввиду уменьшения толщины краевого элемента.

$$t_{red} = \chi_d \cdot t. \quad (13)$$

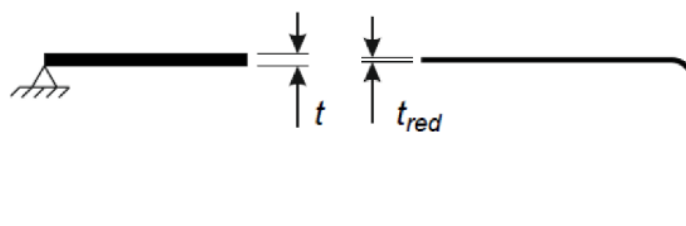


Рис. 6. Окончательная расчетная схема конечного элемента жесткости сжатой пластины

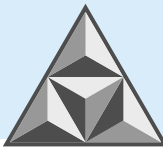
Fig. 6. Final version of the end element scheme for ensuring the rigidity of a compressed plate

Современный рынок программного обеспечения располагает рядом сертифицированных программных решений, предназначенных для расчета легких стальных тонкостенных конструкций, соответствующих требованиям действующей нормативно-технической документации. Программа *StatUs*, предназначенная для оценки прочности элементов систем вентилируемых фасадов, имеет функционал расчета редукиции сечения составных элементов в соответствии с отечественными сводами правил. Облачный калькулятор *LSTK.STEEL-ELEMENTS.RU* позволяет определять прочностные характеристики центрально сжатого и изгибаемого элемента на основании известных требований [3]. Кроме того, имеется комплекс *CFSTEEL*, в функционал которого входит расчет геометрических характеристик тонкостенных элементов, определение прочности стержней, ферм и прогонов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей, производимый в соответствии с российскими нормами [3], Европейскими нормами EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 и Североамериканскими нормами *North American Specification AISI S100*. При этом программы могут быть в некоторой степени заменены стандартными электронными таблицами, входящими в традиционный состав офисного программного обеспечения [12].

Электронные таблицы являются эффективным инструментом для проведения расчетов в различных сферах [8, 9]. В профессиональной деятельности строителей их применяют для определения редуцированных геометрических характеристик с последующей возможностью использования стандартных программ расчета конструктивных элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продemonстрируем выполнение расчета эффективных геометрических характеристик сечения тонкостенного профиля с применением инструментария электронных таблиц. В предлагаемом варианте алгоритма расчета характеристик редуцированного сечения



применяется метод расчета по критическим напряжениям, а также использован итерационный расчет коэффициента снижения несущей способности (χ_d).

На рис. 7 представлены поля таблицы с исходной информацией.

Элемент:	профиль	на выбор (профиль/накладка/стык)					
Коэффициент надёжности по материалу:			1,05				
Марка стали:	350	Н/мм ²					
Модуль Юнга:	210000	Н/мм ²					
Коэффициент Пуассона (для стали):	0,3						
$R_y=$	333,3333	Н/мм ²					
$h=$	300	мм					
$b=$	90	мм					
$c=$	21,8	мм					
$r_{ном}=$	4,76	мм					
$t_{ном}=$	1,6	мм					
$t_{мр}=$	0,04	мм	в данном конкретном случае, для цинкового покрытия класса 275				

Рис. 7. Поле таблицы для ввода исходной информации

Fig. 7. Table field for input of initial information

При вводе данных из полей таблицы автоматически обновляются значения в ячейках проверки применимости СП 260.1325800.2023 [3] (см. рис. 8) и итог расчета геометрических характеристик поперечного сечения (см. рис. 9).

Проверка требований пунктов 7.1.1, 7.1.2 СП 260.1325800.2023					
$b/t=$	57,69231	\leq	60		
$c/t=$	13,97436	\leq	50		
Вывод:	допустимо применение СП 260.1325800.2023				

Рис. 8. Поле таблицы для проверки применимости

Fig. 8. Table field for checking applicability

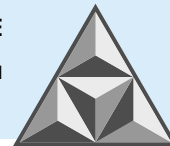
Геометрические характеристики профиля					
$r=$	4,78	мм	$b_p=$	85,14303	мм
$x_1=$	3,931514	мм	$c_p=$	19,37151	мм
$b_1=$	77,28	мм	$h_p=$	295,143	мм
$c_1=$	15,44	мм	$A_g=$	791,745	мм ²
$h_1=$	287,28	мм	(сечение без цинкового покрытия)		

Рис. 9. Полные геометрические характеристики поперечного сечения

Fig. 9. Full geometric characteristics of the cross-section

В данной работе осуществляется постоянная верификация геометрических характеристик поперечного сечения, рассчитанных в системе автоматизированного проектирования (САПР) типа CAD при помощи команды «МАСС-ХАР» и сателлите программного комплекса SCAD TОНУС.

При расчете редукации в элементе необходимо определить напряженное состояние в полном сечении, а после принять максимальное значение реальных напряжений равным пределу текучести применяемой стали, но при определении коэффициентов ψ и k_s принимают реальные соотношения напряжений. На основании типового соотношения значений напряжений, с учетом СП 260.1325800.2023 [3], подобрана схема и формулы для определения эффективных размеров сечения (рис. 10).



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Мушинский А.Н., Зимин С.С.** Строительство быстровозводимых зданий и сооружений // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 4 (31). С. 182-193.
2. **Корсун Н.Д., Простакишина Д.А.** Применение легких тонкостенных конструкций как способ энергосбережения в стальном строительстве // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 5 (76). С. 83-89. DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-5-83-89.
3. **СП 260.1325800.2023.** Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования [Электронный ресурс]: свод правил / Минстрой России; разработчик: АО «ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова». Москва, 2023. 114 с. Режим доступа: [<https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/364390/>] (дата обращения: 06.03.2026). – Зарегистрировано в Росстандарте.
4. **Белый Г.И.** Аналитически-численный метод расчета на устойчивость стержневых элементов легких стальных тонкостенных конструкций // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 4 (81). С. 39-46. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-4-39-46.
5. **Белый Г.И., Смирнов М.О.** Обратный численно-аналитический метод расчета легких стальных тонкостенных стержневых элементов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 3. С. 57-68. DOI 10.33622/0869-7019.2021.03.57-68.
6. **Смирнов М.О.** Совершенствование обратного численно-аналитического метода расчета ЛСТК на устойчивость при внецентренном сжатии // *Вестник гражданских инженеров*. 2021. № 1 (84). С. 46-52. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-1-46-52.
7. **Смирнов М.О.** Совершенствование методики определения редуцированных сечений стержней из холодногнутых профилей при однопараметрическом нагружении // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 2 (79). С. 60-67. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-60-67.
8. **Расчет элементов из стальных гнутых профилей** (к СП 260.1325800.2016): пособие / Ассоциация «Объединение участников бизнеса по развитию стального строительства». Москва, 2019.
9. **Von Kármán T., Sechler E.E., Donnell L.H.** The Strength of Thin Plates in Compression // *Transactions ASME*. 1932. Vol. 54. APM 54–5.
10. **Дуркина Н.В.** О применении электронных таблиц Microsoft Excel в расчетах различных строительных конструкций // *Научные чтения: Сб. мат. науч.-практ. конф. профессорско-препод. состава Сыктывкарского лес. ин-та по итогам науч.-исслед. работы в 2008 г.* Сыктывкар, 2009. С. 564-566.
11. **Демидова О.Л., Малинина Н.Л.** Подготовка студентов технических специальностей МАИ по дисциплине «Численные методы» с применением электронных таблиц Excel // *Мат. XIX Межд. конф. по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015)*. Алушта, 2015. С. 718-719.
12. **Тумаков С.А., Голубь Г.Н.** Расчет оснований массивных подпорных стен с применением электронных таблиц // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5. Вып. 4. С. 8-20. DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-4-8-20.

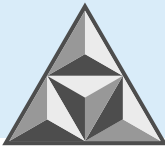
Поступила в редакцию 10.04.2026

Одобрена после рецензирования 29.04.2026

Принята к опубликованию 27.05.2026

REFERENCES

1. **Mushinskii, A.N. and Zimin, S.S.** (2015), Construction of prefabricated buildings and structures, *Construction of unique buildings and structures*. no. 4 (31), pp. 182-193 (in Russian).
2. **Korsun, N.D. and Prostakishina, D.A.** (2019), Application of lightweight thin-walled structures as a method of energy saving in steel construction, *Bulletin of civil engineers*, no. 5 (76), pp. 83-89 (in Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-5-83-89.



3. **SP 260.1325800.2023.** Thin-walled steel structures made of cold-formed galvanized sections and corrugated sheets. Design rules [Electronic resource]: set of rules / Ministry of Construction of the Russian Federation; developer: JSC TsNIIPSK im. N.P. Melnikov. Moscow, 2023. 114 p. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/364390/> (accessed 06.03.2026). - Registered by Rosstandart.
4. **Belyi, G.I.** (2020), Analytical and numerical method for calculating the stability of rod elements of light steel thin-walled structures, *Bulletin of civil engineers*, no. 4 (81), pp. 39-46 (in Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-39-46.
5. **Belyi, G.I. and Smirnov, M.O.** (2021), Inverse numerical-analytical method for calculating light steel thin-walled rod elements, *Industrial and Civil Engineering*, no. 3, pp. 57-68 (in Russian). DOI 10.33622/0869-7019.2021.03.57-68.
6. **Smirnov, M.O.** (2021), Improvement of the inverse numerical-analytical method for calculating LSTC stability under eccentric compression, *Bulletin of Civil Engineers*, no. 1 (84), pp. 46-52 (in Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-1-46-52.
7. **Smirnov, M.O.** (2020), Improving the methodology for determining reduced sections of rods made of cold-formed sections under single-parameter loading, *Bulletin of Civil Engineers*, no. 2 (79), pp. 60-67 (in Russian). DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-60-67.
8. **Calculation of elements made of bent steel sections (to SP 260.1325800.2016):** manual / Association "Association of business participants for the development of steel construction", Moscow, 2019.
9. **Von Kármán, T., Sechler, E. E. and Donnell, L.H.** (1932), The Strength of Thin Plates in Compression, *Transactions ASME*, vol. 54, APM 54-5.
10. **Durkina, N.V.** On the use of Microsoft Excel spreadsheets in calculations of various building structures, *Proc.: Collection of papers from the scientific and practical conference of the academic staff of the Syktyvkar Forestry Institute, based on the results of research work in 2008*, Syktyvkar, 2009, pp. 564-566 (in Russian).
11. **Demidova, O.L. and Malinina, N.L.** Training of students of technical specialties of MAI in the discipline "Numerical Methods" using Excel spreadsheets, *Proc. XIX Int. Conf. on Computational Mechanics and Modern Applied Software Systems (VMSPPS'2015)*, Alushta, 2015, pp. 718-719 (in Russian).
12. **Tumakov, S.A. and Golub', G.N.** (2024), Calculation of massive retaining wall foundations using spreadsheets, *Smart Composite in Construction*, vol. 5, iss. 4, pp. 8-20 (in Russian). DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-4-8-20.

Received 10.04.2026

Approved 29.04.2026

Accepted 27.05.2026



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 666.9.01:620.1

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-21-36

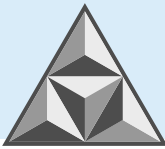
Динамические модели и алгоритмы оптимального управления в технологии строительных материалов

М.О. Баканов

Максим Олегович Баканов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация

mask-13@mail.ru



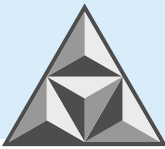
Современное производство строительных материалов сталкивается с вызовом интеграции фундаментальных физико-химических знаний о материале в контуры оперативного автоматизированного управления. Существующий разрыв между статическими лабораторными исследованиями и упрощенными эмпирическими моделями в автоматизации сдерживает переход к парадигме «Строительство 4.0» и интеллектуальному управлению качеством (Quality 4.0). Целью является разработка универсальной методологии управления качеством, объединяющей три ключевых компонента – фундаментальную физико-химическую модель процесса, алгоритм оценки текущего состояния материала по косвенным измерениям и оптимизатор управляющих воздействий. Триада «Модель – Оценка – Управление» позволяет рассматривать технологический процесс как динамическую систему с распределенными параметрами. Представлен математический аппарат, включающий уравнения тепломассопереноса и химической кинетики, а также современные методы оценки состояния материала (фильтры Калмана и фильтр частиц) и алгоритмы оптимального управления, принцип максимума Понтрягина и обучение с подкреплением. Применимость методологии продемонстрирована на примере транспортировки бетонной смеси. Предложенный подход создает основу для создания «умных» производств и цифровых двойников в строительной индустрии.

Ключевые слова: строительные материалы, кинетика твердения, модель предиктивного управления, Industry 4.0, Construction 4.0, фильтр Калмана, цифровой двойник

Для цитирования:

Баканов М.О. Динамические модели и алгоритмы оптимального управления в технологии строительных материалов // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 21-36.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-21-36



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-21-36

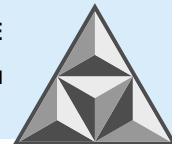
Dynamic models and algorithms for optimal control in building materials technology

M.O. Bakanov

Maksim Olegovich Bakanov

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

mask-13@mail.ru



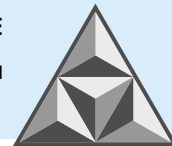
The modern production of building materials has to deal with the challenge of integrating fundamental physical and chemical knowledge of the material into operational automated control systems. The existing gap between static laboratory studies and simplified empirical models in automation is hindering the transition to the 'Construction 4.0' paradigm and intelligent quality management (Quality 4.0). The purpose of this study is to develop a universal quality control methodology that combines three key components, namely a fundamental physico-chemical model of the process, an algorithm for assessing the current state of the material based on indirect measurements, and an optimiser for control actions. The triad, designated as 'Model – Assessment – Control', allows the technological process to be viewed as a dynamic system with distributed parameters. A mathematical framework is presented, comprising heat and mass transfer equations and chemical kinetics, as well as modern state estimation methods (in particular, Kalman filters and particle filters) and optimal control algorithms, the Pontryagin maximum principle and reinforcement learning. The applicability of the methodology is demonstrated using the example of concrete mix transport. The proposed approach provides a basis for the creation of 'smart' manufacturing and digital twins in the construction industry.

Keywords: building materials, hardening kinetics, model predictive control, Industry 4.0, Construction 4.0, Kalman filter, digital twin

For citation:

Bakanov M.O. Dynamic models and algorithms for optimal control in building materials technology // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 21-36.
URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-21-36



ВВЕДЕНИЕ

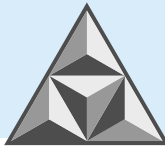
Современное производство строительных материалов представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных физико-химических, механических и технологических процессов. В их число входят подготовка сырья, перемешивание компонентов, формование, структурообразование, уплотнение, тепловая обработка и сушка. При этом важно отметить, что традиционно задачи материаловедения и автоматизации развивались параллельно. Действительно, первое направление сосредоточилось на изучении структуры и свойств материала в статических условиях, то есть на лабораторных образцах. Второе же направление ориентируется на контроль технологических параметров (температура, давление, время) без глубокой связи с внутренними процессами, протекающими в материале [1].

С учетом современных тенденций, текущий этап развития промышленности определяется концепцией «Индустрия 4.0» (*Industry 4.0*), ориентированной на интеграцию киберфизических систем, интернета вещей (*IoT*), искусственного интеллекта и облачных технологий в производственные процессы [2, 3]. Закономерным отражением представленных тенденций в строительной отрасли становится формирование парадигмы «Строительство 4.0» (*Construction 4.0*). Она предполагает создание «умных» производств, цифровых двойников технологических процессов и роботизированных комплексов [4]. При этом ключевым направлением развития признается цифровизация управления качеством (*Quality 4.0*), основанная на непрерывном мониторинге, аналитике данных в реальном времени и прогнозировании свойств готовой продукции [5, 6].

Именно здесь особенно остро проявляется существующий разрыв. Фундаментальные физико-химические модели, описывающие эволюцию структуры и свойств материала, до сих пор слабо интегрированы в контуры оперативного управления технологическими процессами. Поэтому переход к полностью цифровизированному производству строительных материалов затруднен [7, 8].

Анализ литературных источников подтверждает наличие разрыва между детализированными физико-химическими моделями и практическими задачами оперативного управления. К примеру, в [9, 10] представлены фундаментальные исследования кинетики гидратации цемента и теплофизики твердения. Однако они ориентированы сугубо на стационарные условия. С другой стороны, в исследованиях по автоматизации процессов обжига клинкера [11, 12] или сушки керамики [13] часто используют упрощенные эмпирические модели. Последние, хотя и позволяют эффективно обрабатывать возмущения, не учитывают внутреннюю эволюцию свойств материала. Так, в [11] описывается создание советующей системы управления обжигом клинкера на основе статистических методов и передаточных функций. Данный подход обеспечивает стабилизацию процесса, однако не раскрывает связи управляющих параметров с фазовым составом материала.

В связи с этим целью является разработка универсальной методологии управления качеством строительных материалов. Она служит идее объединить три ключевых компонента – фундаментальную физико-химическую модель процесса, алгоритм оценки текущего состояния материала по косвенным измерениям и оптимизатор управляющих воздействий. Данный подход, обозначаемый как «Модель – Оценка – Управление» (*Model – Estimation – Control*), позволяет рассматривать технологический процесс как динамическую систему с распределенными параметрами и, таким образом, активно влиять на конечные свойства продукта.



МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Общая концепция интегрального управления

Предлагаемая методология базируется на нескольких основополагающих принципах. Во-первых, это принцип неразрывности, согласно которому качество строительного материала в любой момент времени представляет собой функцию трех групп факторов, а именно: начального состава (рецептуры), истории внешних воздействий (условий среды) и вектора управляющих параметров (режимов обработки).

Далее рассматривается принцип «Модель – Оценка – Управление», предполагающий наличие трех взаимосвязанных компонентов для эффективного управления (рис. 1).



Рис. 1. Структура триады «Модель – Оценка – Управление»

Fig. 1. Structure of the Model-Evaluation-Control (MEC) triad

Первый компонент – фундаментальная модель, описывающая связь технологических параметров с эволюцией внутренних переменных состояния, то есть степени гидратации, пористости, фазового состава, а также полей температур и напряжений. Второй компонент – оценщик, который по косвенным измерениям восстанавливает полный вектор состояния системы и адаптирует модель к реальным условиям. Третий компонент – оптимизатор (регулятор), рассчитывающий управляющие воздействия на основе прогнозирования целевых критериев качества.

Кроме того, методология опирается на принцип полимасштабности. Он означает, что модель должна учитывать связь микроуровня, включающего кинетику реакций и фазовые переходы, и макроуровня, охватывающего теплообмен в агрегате и гидродинамику потоков. Благодаря предложенному подходу появляется возможность целенаправленно влиять на микроструктуру материала через макроскопические параметры управления.

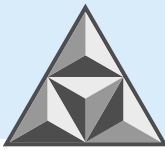
Наконец, важнейшее значение приобретает принцип адаптивности. Система управления должна непрерывно корректировать прогнозы, обучаясь на поступающих данных (*data assimilation*), поскольку это актуально при изменчивости сырья и внешних условий.

В формализованном виде объект управления описывается системой уравнений следующего вида:

$$\frac{\partial x(r,t)}{\partial t} = F(x, \nabla x, u(t), \theta, t), \quad (1)$$

$$y(t) = H(x(r_s, t)) + v(t), \quad (2)$$

где $x(r, t)$ – вектор состояния системы (распределение температуры, влажности, степени превращения);



$u(t)$ – вектор управляющих воздействий (скорость вращения, температура теплоносителя, частота вибрации);

θ – вектор параметров модели;

$y(t)$ – вектор выходных величин;

H – оператор наблюдения;

$v(t)$ – шум измерений;

∇x – пространственный градиент состояния;

F – нелинейный оператор, описывающий физико-химические процессы;

r_s – координаты размещения датчиков;

$x(r_s, t)$ – состояние в точках измерения.

Задача управления формулируется как поиск закона изменения $u(t)$ на интервале $[t_0, t_k]$, который обеспечивает минимум функционала качества, то есть

$$J = \Phi(x(t_k)) + \int_{t_0}^{t_k} L(x(t), u(t), t) dt \quad (3)$$

при ограничениях на управление и фазовые переменные.

Здесь J – функционал качества;

$x(t_k)$ – состояние в конечный момент времени (значения в конце интервала управления);

L – интегральный штраф за отклонения и затраты во всем интервале.

2. Математический аппарат управления

Основа предлагаемой методологии – адекватное описание динамики изменения свойств материала. Для большинства технологических процессов базовыми являются уравнения теплопереноса и химической кинетики. В их число, в частности, входит уравнение нестационарного теплопереноса [14, 15]:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_{эфф} \nabla T) + Q_{ист}(T, \alpha, u), \quad (4)$$

где ρ – плотность;

c_p – удельная теплоемкость;

$\lambda_{эфф}$ – эффективный коэффициент теплопроводности, зависит от структуры и влажности;

$Q_{ист}$ – мощность внутренних источников (экзотермические процессы, диссипативный нагрев);

α – степень химического превращения (безразмерная величина, принимает значения 0...1).

Для процессов сушки или влажностной обработки ключевым становится уравнение массопереноса влаги [16]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{эфф} \nabla \varphi) - \beta(\varphi - \varphi_{равн})f(T) - \rho_p \frac{\partial \alpha}{\partial t}, \quad (5)$$

где φ – влагосодержание;

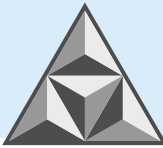
$D_{эфф}$ – эффективный коэффициент диффузии;

β – параметр десорбции;

α – степень химического превращения (например, гидратации);

$\varphi_{равн}$ – равновесное влагосодержание для окружающей среды;

$f(T)$ – температурная функция, описывающая зависимость скорости испарения от температуры;



ρ_p – плотность сухого вещества.

Далее кинетика структурообразования описывается обобщенной моделью:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_0 \exp\left(-\frac{E_a(T)}{RT}\right) f(\alpha), \quad (6)$$

где $E_a(T)$ – энергия активации, которая зависит от температуры [17];

k_0 – предэкспоненциальный множитель (константа скорости реакции);

$f(\alpha)$ – кинетическая функция; так, для гидратации цемента $f(\alpha) = (1 - \alpha)^{2/3}$.

Для процессов формирования важны реологические модели, связывающие напряжение и деформации. В частности, обобщенная модель Бингама для вязкопластичных сред [18, 19] представляется в виде:

$$\tau = \tau_0(T, \alpha) + K(T, \alpha)\dot{\gamma}^n, \quad (7)$$

где τ – касательное напряжение;

τ_0 – динамическое предельное напряжение сдвига;

K – коэффициент консистенции;

$\dot{\gamma}$ – скорость сдвига.

3. Демонстрационный пример: транспортировка бетонной смеси

Для иллюстрации практической реализуемости предлагаемого методического подхода рассмотрим процесс транспортировки бетонной смеси в автобетоносмесителе. В данном случае система уравнений (4) – (6) конкретизируется с учетом параметров, идентифицированных для портландцемента ЦЕМ I 42,5Н:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (\lambda_{эфф} \nabla T) + (1 - \alpha) \Delta h \frac{d\alpha}{dt} + \alpha \omega^b + q_{окр}, \quad (8)$$

где $\Delta h = 480 \text{ Дж} \cdot \text{г}^{-1}$ – удельная теплота гидратации;

ω – скорость вращения барабана ($\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$);

a, b – эмпирические коэффициенты.

Внешний теплообмен $q_{окр}$ включает конвективную составляющую лучистого теплообмена и поглощение солнечного излучения.

Кинетика гидратации описывается модифицированной моделью Кнудсена с переменной энергией активации [20]:

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(-\frac{E_a(T)}{RT}\right) (1 - \alpha)^{2/3}, \quad (9)$$

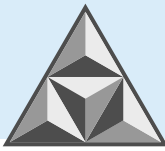
где $E_a(T) = 33.5 + 1.47T$ ($\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$).

Указанная зависимость позволяет учитывать ускорение реакции гидратации при повышении температуры, что имеет критическое значение при транспортировке строительных материалов и смесей в жарких климатических условиях.

Реологическая модель Бингама дополнена зависимостью от степени гидратации и температуры:

$$\tau = [\tau_0 e^{-0.021(T-293)} + 0.15\alpha] + K\dot{\gamma}^{0.78}. \quad (10)$$

Для оценки неизмеримых переменных состояния – полей α и T в объеме материала – по данным поверхностных датчиков используется ансамблевый фильтр Калмана ($EnKF$), алгоритм которого описывается ниже уравнениями (12), (13). Оптимизация управления $\omega(t)$ осуществляется в рамках модели предсказывающего управления (MPC) с целевым



функционалом, штрафующим за отклонения температуры в критической зоне и градиенты температур:

$$J[\omega(t)] = \int_t^{t+T_p} \left([T_{\text{крит}}(t) - T_{\text{цел}}]^2 + \lambda \|\nabla T(t)\|_{\max} \right) dt \quad (11)$$

при технологических ограничениях $2 \leq \omega(t) \leq 15 \text{ мин}^{-1}$ и $|\dot{\omega}| \leq 3 \text{ мин}^{-1} (\text{с}^{-1})$.

4. Методы оценки состояния

Поскольку прямое измерение всех переменных состояния (например, степени гидратации в объеме изделия) часто бывает невозможным, ключевой становится задача их оценки, которая заключается в восстановлении $\hat{x}(t)$ по доступным измерениям $y(t)$.

В первую очередь, среди методов оценки следует выделить фильтр Калмана и его модификации. Для линейных систем оптимальным является классический фильтр Калмана; для нелинейных систем применяются более сложные подходы. Так, расширенный фильтр Калмана (*EKF*) предполагает линеаризацию модели в окрестности текущей оценки [21]. Действительно, он прост в реализации, но может давать сбои при сильной нелинейности. В отличие от него, сигма-точечный фильтр Калмана (*UKF*) использует детерминированный набор точек для распространения нелинейности, благодаря чему при решении многих задач он оказывается точнее, чем *EKF* [22]. Для систем большой размерности эффективен ансамблевый фильтр Калмана (*EnKF*), применяющий совокупность траекторий для аппроксимации ковариаций [23]:

$$x_k^{f,i} = M(x_{k-1}^{a,i}, u_{k-1}) + w_k^i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (12)$$

где $x_k^{f,i}$ – прогнозируемое состояние i -ансамбля на шаге k ;

$x_{k-1}^{a,i}$ – апостериорная оценка i -ансамбля на шаге $k-1$;

u_{k-1} – управление на шаге $k-1$;

w_k^i – шум модели для i -ансамбля;

i – индекс ансамбля;

N – размер ансамбля.

Затем производится коррекция по измерениям:

$$x_k^{a,i} = x_k^{f,i} + K_k(y_k - Hx_k^{f,i} + v_k^i), \quad (13)$$

где K_k – матрица усиления по Калману, вычисляемая по ансамблевым ковариациям;

$x_k^{a,i}$ – апостериорная оценка i -ансамбля после коррекции;

y_k – вектор измерений на шаге k (показания датчиков);

v_k^i – шум измерений для i -ансамбля.

Для негауссовых распределений и сильно нелинейных систем применяется фильтр частиц (*Particle Filter*), представляющий апостериорное распределение при достаточном наборе взвешенных частиц [23]. При этом их веса обновляются по правдоподобию измерений:

$$w_k^i \propto w_{k-1}^i p(y_k | x_k^i), \quad (14)$$

где w_k^i – вес частицы на k -шаге (нормированная вероятность, сумма весов равна 1);

w_{k-1}^i – вес i -частицы на предыдущем шаге (априорный вес);

$p(y_k | x_k^i)$ – функция правдоподобия, то есть вероятность получить измерение y_k при данном состоянии x_k^i .

Сравнение методов оценки состояния представлено в табл. 1.

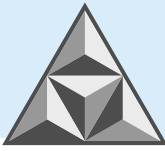


Таблица 1. Сравнение методов оценки состояния

Table 1. Comparison of condition assessment methods

Метод	Точность	Вычислительная сложность	Применимость	Обработка негауссовских помех
<i>EKF</i>	Средняя	Низкая	Умеренно нелинейные системы	Нет
<i>UKF</i>	Высокая	Средняя	Сильно нелинейные	Нет
<i>EnKF</i>	Высокая	Зависит от числа ансамблей	Сильно нелинейные, большая размерность	Ограниченно
<i>PF</i>	Очень высокая	Высокая	Любые нелинейности и распределения	Да

При наличии достаточного объема данных эффективны нейросетевые наблюдатели. В подобных ситуациях глубокие нейронные сети обучаются аппроксимировать обратную зависимость состояния от измерений [24]. Подобный метод особенно ценен, когда аналитическая модель слишком сложна или неизвестна.

5. Методы оптимального управления

Первоначально в рамках методологии рассматривается модель предсказывающего управления (*MPC*). Суть подхода заключается в том, что на каждом шаге решается задача оптимизации на горизонте прогноза $[t_k, t_k + T_p]$ [25, 26]:

$$\min_{u(\cdot)} J = \int_t^{t+T_p} (\|x(\tau) - x_{цель}\|_Q^2 + \|u(\tau)\|_R^2) d\tau, \tag{15}$$

где $u(\cdot)$ – траектория управления на горизонте (искомая функция управления);

t – текущий момент времени (начало горизонта прогноза);

T_p – горизонт прогноза (интервал планирования);

$x(\tau)$ – прогнозируемая траектория состояния (поведение при управлении u),

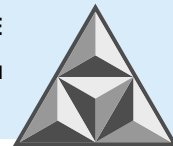
Есть ограничения: $u_{\min} \leq u(\tau) \leq u_{\max}$ и $x_{\min} \leq x(\tau) \leq x_{\max}$ при $\tau \in [t_k, t_k + T_p]$. На практике реализуется только первое значение $u(t)$, после чего горизонт сдвигается. Для нелинейных систем в таких схемах применяют последовательное квадратичное программирование (*SQP*) или иные методы нелинейной оптимизации.

Другим подходом является принцип максимума Понтрягина (см. табл. 2).

Таблица 2. Сравнение методов управления

Table 2. Comparison of control methods

Метод	Тип модели	Оптимальность	Вычислительная нагрузка	Учет ограничений
<i>MPC</i>	Любая (линейная/нелинейная)	Субоптимальное на горизонте	Высокая	Явно учитывает
Принцип максимума	Детерминированная, непрерывная	Глобальное (для задач с фиксированным временем)	Средняя (решение краевой задачи)	Через множители Лагранжа
Обучение с подкреплением	<i>Black-box</i> (без модели)	Стремится к оптимальному при обучении	Очень высокая на этапе обучения	Может учитываться через штрафы



В случаях, когда используется детерминированная модель с фиксированным временем, данный принцип позволяет свести исходную задачу к краевой для сопряженных переменных [27]. Показательный пример применения представлен в [28], где данный подход использован для оптимизации скорости виброуплотнения бетонных смесей. В результате удалось сократить время формования при одновременном повышении прочности на 25-30%.

Наконец, современным направлением является обучение с подкреплением (*Reinforcement Learning*). В данной парадигме агент (система управления) обучается методом проб и ошибок на модели или реальном процессе, максимизируя накопленное вознаграждение [29]. Этот подход представляется перспективным для многостадийных процессов, характеризующихся неполной информацией о модели.

Отсюда следует, что выбор конкретных алгоритмов определяется характеристиками технологического процесса. Например, для процессов с ярко выраженными распределенными параметрами и сложной нелинейностью предпочтительным сочетанием является ансамблевый фильтр Калмана (*EnKF*) совместно с нелинейным *MPC*. В свою очередь, для быстрых процессов, где вычислительные ресурсы ограничены, оправдано применение *UKF* или *EKF* в комбинации с линеаризованным *MPC*.

Кроме того, при наличии экспертных знаний эффективным инструментом может стать нечеткая логика (*Fuzzy Logic Control*) [30], позволяющая формализовать качественные представления технологов. В ситуациях, где возможно накопление данных, а кинетика процессов отличается особой сложностью, наиболее перспективным направлением оказывается обучение с подкреплением.

6. Результаты вычислительного эксперимента

Для верификации предложенной методологии и демонстрации ее эффективности проведена серия вычислительных экспериментов, моделирующих процесс транспортировки бетонной смеси в автобетоносмесителе в течение 60 мин. Начальные условия соответствовали типовой смеси, имеющей температуру $T_0 = 293$ К, влажность $\varphi_0 = 0.15$ и нулевую степень гидратации ($\alpha = 0$). Внешние условия: $T_{\text{окр}} = 298$ К, относительная влажность $RH = 60\%$. Моделирование выполняли на сетке контрольных объемов с использованием неявной схемы Гира второго порядка.

На первом этапе осуществляли сравнение прогнозных данных, полученных по модели (8), с измерениями, выполненными на лабораторном стенде (табл. 3).

Таблица 3. Результаты валидации математической модели

Table 3. Results of the mathematical model validation

Параметр	RMSD	Диапазон изменений	Относительная ошибка, %
Температурное поле	0.94 К	0.5 К	188
Кинетика гидратации	0.01	1.0	1.0
Влажностный режим	0.02	1.0	2.0

Верификация показала высокую точность прогноза кинетики гидратации (среднеквадратичное отклонение $RMSD = 1.0\%$) и влажностного режима ($RMSD = 2.0\%$). Значительное расхождение по температурному полю ($RMSD = 188\%$) указывает на необходимость дальнейшего уточнения граничных условий и учета адгезии смеси. Однако данное обстоятельство не является критичным для демонстрации работоспособности управляющего алгоритма, поскольку гидратация, представляющая ключевой процесс,



моделируется с высокой точностью. На втором этапе решалась задача оптимизации профиля скорости вращения барабана $\omega(t)$. В качестве базового режима была принята максимальная скорость вращения $\omega = 15 \text{ мин}^{-1}$, предусмотренная конструкцией антиблокировочной системы (АБС). Целевой функционал $J[\omega(t)]$ был направлен на минимизацию градиентов температуры в массиве смеси и поддержание ее в заданном диапазоне.

Оптимизация выполнялась методом SQP; результаты представлены на рис. 2 и в табл. 4.

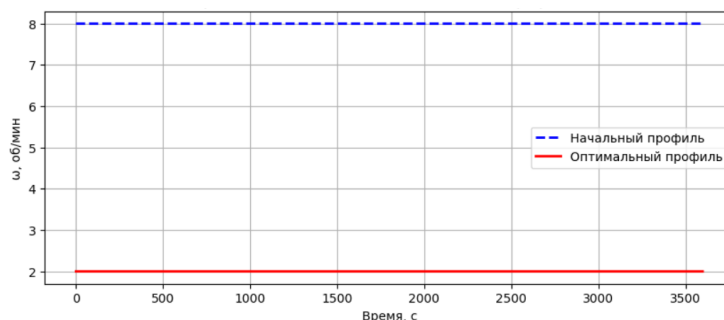


Рис. 2. Сравнение начального и оптимального профилей скорости вращения тормозного барабана АБС

Fig. 2. Comparison of the initial and optimal ABS drum speed profiles

Таблица 4. Эффективность предложенной системы адаптивного управления

Table 4. Efficiency of the proposed management system

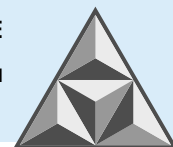
Показатель	Значение
Снижение скорости вращения	86.7% (с 15 до 2 мин^{-1})
Снижение функционала стоимости	85.0% (с 425620 до 35100)
Расчетное снижение энергозатрат	42%
Стандартное отклонение температурного поля	0.046 К
Контроль степени гидратации	$\alpha < 0.0023$ за время транспортировки

Полученные данные демонстрируют, что предложенная система адаптивного управления позволяет радикально (на 86.7%) снизить скорость вращения барабана без нанесения ущерба качеству смеси. Ее использование приводит к снижению механического воздействия на смесь, предотвращая ее расслоение. При этом достигается высокая однородность температурного поля (стандартное отклонение 0.046 К) и гарантируется, что степень гидратации не превысит критического порога ($\alpha < 0.0023$) до момента укладки.

При анализе результатов моделирования выявлена тесная связь параметров: коэффициент корреляции между временем и степенью гидратации составил 0.9999, что подтверждает экспоненциальный характер кинетики. Также установлена зависимость, имеющая значимость при осуществлении экспресс-контроля: снижение температуры на 0.1 К приводит к замедлению гидратации на 3.7%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение разработанной системы управления с традиционными методами управления транспортировкой бетона показывает ее преимущество по ключевым параметрам. В отличие от эмпирических регламентов, предписывающих поддерживать постоянную скорость вращения в диапазоне 2-6 мин^{-1} [31], предложенный подход динамически адаптируется к текущему состоянию смеси и внешним условиям. Благодаря этому достигается экономия энергии на 42% при сохранении качества строительного материала. Зарубежные аналоги, использующие упрощенные модели [32], не обеспечивают подобной глубины интеграции физико-химических процессов.

**Таблица 5.** Сравнительный анализ систем управления транспортировкой бетонных смесей**Table 5.** Comparative analysis of concrete mix transportation control systems

Параметр	Традиционные системы	Зарубежные аналоги	Предлагаемая система
Основа управления	Эмпирические регламенты (ГОСТ)	Упрощенные модели	Комплексная физико-химическая модель
Учет внешних воздействий	Ограниченный	Частичный	Полный (Т, влажность, теплообмен излучением)
Адаптивность	Отсутствует	Ограниченная	Полная (EnKF, MPC)
Энергоэффективность	Базовая	Улучшенная на 15-20%	Улучшенная на 42%
Прогноз качества	Отсутствует	Косвенный	Прямой (контроль α, T)

Следовательно, предлагаемая методология создает основу для перехода к интеллектуальным системам управления качеством в строительной отрасли. В рамках данного подхода свойства продукции становятся результатом целенаправленного управления динамикой структурообразования в реальном времени.

ВЫВОДЫ

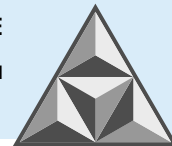
На основе ансамблевого фильтра Калмана (EnKF) синтезирована модель предсказывающего управления (MPC) с возможностью оптимизации методом последовательного квадратичного программирования (SQP). Данная комбинация является эффективной при неполной информации о состоянии материала. Основные преимущества разработанной системы: снижение скорости вращения барабана на 86.7% (с 15 до 2 мин⁻¹) и сопутствующее уменьшение энергозатрат; обеспечение высокой однородности температурного поля ($\sigma = 0.046$ К); контроль степени гидратации ($\alpha < 0.0023$) – в пределах допустимых значений. При этом выявленная погрешность прогноза температурного поля составила 188%, что требует уточнения граничных условий и последующего перехода к трехмерному моделированию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Баженов Ю.М.** Технология бетона: учебник для студ. высш. учеб. заведений, обучающихся по строительным специальностям. М.: Изд-во АСВ, 2011. 524 с. ISBN 978-5-93093-138-9.
2. **Манин П.** Уберизация строительства. Как отрасль переходит в цифровую среду // РБК Компании: [сайт]. 2025. 31 июля. URL: <https://companies.rbc.ru/news/yZw0YPjwPI/uberizatsiya-stroitelstva-kak-otrasl-perehodit-v-tsifrovuyu-sredu> (дата обращения: 12.03.2026).
3. Industry 4.0, Smart Factory and Connected Operations // SG Systems Global : [сайт]. 2024. URL: <https://sgsystemsglobal.com/ru/glossary/industry-4-0-smart-factory-and-connected-operations> (дата обращения: 12.03.2026).
4. **Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О.** Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0»: обзор // Вестник МГСУ. 2021. № 7. С. 885-902. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitel'naya-otrasl-i-kontseptsiya-industriya-4-0-obzor> (дата обращения: 12.03.2026).
5. **Tanane B., Bentaha M.L., Dafflon B., Moalla N.** Bridging the gap between Industry 4.0 and manufacturing SMEs: A framework for an end-to-end Total Manufacturing Quality 4.0's implementation and adoption // *Journal of Industrial Information Integration*. 2025. Vol. 45. P. 100833.
6. **Микаева С.А., Микаева А.С.** Повышение качества продукции как инструмент обеспечения экономической безопасности отрасли приборостроения в условиях развития индустрии 4.0 // Вестник Удмуртского университета. Сер. Экономика и право. 2025. Т. 35. № 5. С. 835-844.



7. **Nahmad Vazquez A., Garivani S., Dackiw J.N.** Decentralized, data-informed, robotic-based digital timber micro-factories // *Construction Robotics*. 2024. Vol. 8. № 2. P. 24.
8. **Kosse S. [et al.]** Industry 4.0 enabled modular precast concrete components: a case study // *International RILEM Conference on Synergising expertise towards sustainability and robustness of CBMs and concrete structures* : proc. Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. P. 229-240.
9. **Карпенко Н.И.** Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 413 с. ISBN 5-274-01682-0.
10. **Федосов С.В.** Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии: моногр. Иваново : ПресСто, 2010. 363 с.
11. **Порхало В.А., Рубанов В.Г., Луценко О.В.** Советующая система управления процессом обжига клинкера с применением локальных подсистем на основе принципов автономности и каскадности // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2014. № 9. С. 4-9.
12. **Пиров Ф.С.** Автоматизация и управление технологическими процессами обжига клинкера при производстве цемента : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.06; Московский автомоб.-дор. гос. техн. ун-т (МАДИ). М., 2011. 23 с.
13. **Чумак Л.И., Лавренюк И.В., Платонова Т.О.** Математическое моделирование процесса сушки керамического кирпича в туннельных сушилах // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2010. № 10 (151). С. 26-30.
14. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности. М. : Высш. шк., 1967. 600 с.
15. **Карслоу Г., Егер Д.** Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 488 с.
16. **Гагарин В.Г.** Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : спец. 05.23.01, 05.23.03; НИИ строительной физики РААСН. М., 2000. 47 с.
17. **Хузин А.Ф.** Кинетика тепловыделения при гидратации цемента, модифицированного комплексной наномодифицированной добавкой // *Изв. Казанского гос. арх.-строит. ун-та*. 2016. № 1 (35). С. 216-220.
18. **Reiner M., Leaderman H.** Deformation, strain, and flow // *Physics Today*. 1960. Vol. 13. № 9. P. 47-48.
19. **Шмигальский В.Н.** Формование изделий на виброплощадках. М.: Стройиздат, 1968. 104 с.
20. **Абзаев Ю.А., Коробков С.В., Аниканова Л.А., Старенченко В.А.** Термодинамическое моделирование гидратации портландцемента с разным содержанием воды // *Вестник Томского гос. арх.-строит. ун-та*. 2022. № 24 (5). С. 122-132. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-5-122-132>.
21. **Kalman R.E.** A new approach to linear filtering and prediction problems // *Journal of Basic Engineering*. 1960. Vol. 82. № 1. P. 35-45.
22. **Julier S.J., Uhlmann J.K.** Unscented filtering and nonlinear estimation // *Proceedings of the IEEE*. 2004. Vol. 92. № 3. P. 401-422.
23. **Evensen G.** The ensemble Kalman filter: Theoretical formulation and practical implementation // *Ocean dynamics*. 2003. Vol. 53. № 4. P. 343-367.
24. **Johansen A.** A tutorial on particle filtering and smoothing: Fifteen years later. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2009. 40 p.
25. **Гудфеллоу Я, Бенджио И., Курвилль А.** Глубокое обучение; пер. с англ. А.А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2018. 652 с. ISBN 978-5-97060-618-6.
26. **García C.E., Prett D.M., Morari M.** Model predictive control: Theory and practice – A survey // *Automatica*. 1989. Vol. 25. № 3. P. 335-348.
27. **Черешко А.А.** Методы управления технологическими процессами на основе ассоциативных прогнозирующих моделей: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 2.3.3; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова. М., 2022. 116 с.
28. **Понтрягин Л.С. Болтынский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.** Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1969. 384 с.
29. **Сторожук Н.А., Дехта Т.Н.** Оптимальное управление уплотнением бетонных смесей вибрационным способом и его особенности // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. № 4 (243-244). С. 56-64.
30. **Sutton R.S., Barto A.G.** Reinforcement learning: An introduction. Cambridge: MIT Press, 1998. 322 p.
31. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия // Стандартинформ: Москва, Россия. 2012. 19 с.



32. **Сограби Т.В.** Роль взаимодействия газа с поверхностью аэрозольной частицы в ее движении при больших числах Кнудсена: дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 2022. 123 с.

Поступила в редакцию 17.03.2026

Одобрена после рецензирования 16.04.2026

Принята к опубликованию 12.05.2026

REFERENCES

1. **Bazhenov, Iu.M.** (2011), Concrete Technology: a textbook for students of higher educational institutions studying in construction specialties. Moscow: ASV Publishing House, 524 p. (in Russian).
2. **Manin, P.** (2025), Uberization of Construction. How the Industry is Transitioning to a Digital Environment / RBC Companies: Available at: <https://companies.rbc.ru/news/yZw0YPjwPI/uberizatsiya-stroitelstva-kak-otrasl-perehodit-v-tsifrovuyu-sredu> (accessed 12.03.2026) (in Russian).
3. Industry 4.0, Smart Factory and Connected Operations // SG Systems Global: [website]. (2024), Available at: <https://sgsystemsglobal.com/ru/glossary/industry-4-0-smart-factory-and-connected-operations> (accessed 12.03.2026) (in Russian).
4. **Ginzburg, A.V., Adamtsevich, L.A. and Adamtsevich, A.O.** (2021), The construction industry and the concept of "Industry 4.0": an overview, *Bulletin of MGSU*, no. 7, pp. 885-902. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroitel'naya-otrasl-i-kontseptsiya-industriya-4-0-obzor> (accessed 12.03.2026) (in Russian).
5. **Tanane, B., Bentaha, M.L., Dafflon, B. and Moalla, N.** (2025), Bridging the gap between Industry 4.0 and manufacturing SMEs: A framework for an end-to-end Total Manufacturing Quality 4.0's implementation and adoption, *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 45, p. 100833.
6. **Mikaeva, S.A. and Mikaeva A.S.** (2025), Improving product quality as a tool for ensuring economic security of the instrument-making industry in the context of Industry 4.0 development, *Bulletin of Udmurt University. Series Economics and Law*, vol. 35, no. 5, pp. 835-844 (in Russian).
7. **Nahmad Vazquez, A., Garivani, S. and Dackiw J.N.** (2024), Decentralized, data-informed, robotic-based digital timber micro-factories, *Construction Robotics*, vol. 8, no. 2, p. 24.
8. **Kosse, S. [et al.]** (2023), Industry 4.0 enabled modular precast concrete components: a case study, *International RILEM Conference on Synergising expertise towards sustainability and robustness of CBMs and concrete structures: proc.* Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 229-240.
9. **Karpenko, N.I.** (1996), General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat, 413 p. (in Russian).
10. **Fedosov, S.V.** (2010), Heat and mass transfer in technological processes of the construction industry: monograph. Ivanovo: PresSto, 363 p. (in Russian).
11. **Porkhalo, V.A., Rubanov, V.G. and Lutsenko, O.V.** (2014), Advisory control system for the clinker burning process using local subsystems based on the principles of autonomy and cascade, *Devices and systems. Management, control, diagnostics*, no. 9, pp. 4-9 (in Russian).
12. **Pirov, F.S.** (2011), Automation and control of technological processes of clinker burning in cement production: abstr. diss. ... cand. tech. sc.: 05.13.06; Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). Moscow, 23 p. (in Russian).
13. **Chumak, L.I., Lavreniuk, I.V. and Platonova T.O.** (2010), Mathematical Modeling of the Drying Process of Ceramic Bricks in Tunnel Dryers, *News of the Dnieper State Academy of Construction and Architecture*, vol. 10, no. 151, pp. 26-30 (in Russian).
14. **Lykov, A.V.** (1967), Theory of Heat Conductivity. Moscow: Vyssh. shk., 600 p. (in Russian).
15. **Carslaw, G. and Eger, D.** (1964), Thermal conductivity of solids. Moscow: Nauka, 488 p. (in Russian).
16. **Gagarin, V.G.** (2000), Theory of the state and transfer of moisture in building materials and thermal insulation properties of building enclosing structures: abstr. diss. ... doc. eng. sc.: 05.23.01, 05.23.03; Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering. Moscow, 47 p. (in Russian).

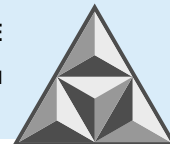


17. **Khuzin, A.F.** (2014), Kinetics of heat release during hydration of cement modified with a complex nanomodified additive, *Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*, no. 1 (35), pp. 216-220 (in Russian).
18. **Reiner, M. and Leaderman, H.** (1960), Deformation, strain, and flow, *Physics Today*, vol. 13, no. 9, pp. 47-48.
19. **Shmigal'skii, V.N.** (1968), Forming products on vibrating platforms. Moscow: Stroyizdat, 104 p. (in Russian).
20. **Abzaev, Iu.A., Korobkov, S.V., Anikanova, L.A. and Starenchenko, V.A.** (2022), Thermodynamic modeling of hydration of Portland cement with different water contents, *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, vol. 24, no. 5, pp. 122-132 (in Russian). <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-5-122-132>.
21. **Kalman, R.E.** (1960), A new approach to linear filtering and prediction problems, *Journal of Basic Engineering*, vol. 82, no. 1, pp. 35-45.
22. **Julier, S.J. and Uhlmann, J.K.** (2004), Unscented filtering and nonlinear estimation, *Proc. IEEE*, vol. 92, no. 3, pp. 401-422.
23. **Evensen, G.** (2003), The ensemble Kalman filter: Theoretical formulation and practical implementation, *Ocean dynamics*, vol. 53, no. 4, pp. 343-367.
24. **Johansen, A.** (2009), A tutorial on particle filtering and smoothing: Fifteen years later. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 40 p.
25. **Goodfellow, Ian, Bengio, Yoshua and Courville, Aaron** (2018), *Deep Learning; translated from English by A.A. Slinkin*. Moscow: DMK Press, 652 p. (in Russian).
26. **Garcia, C.E., Prett, D.M. and Morari M.** (1989), Model predictive control: Theory and practice – A survey, *Automatica*, vol. 25, no. 3, pp. 335-348.
27. **Chereshko, A.A.** (2022), Methods of technological process control based on associative predictive models: diss. ... cand. eng. sc.: 2.3.3. Moscow, 116 p. (in Russian).
28. **Pontriagin, L.S., Boltianskii, V.G., Gamkrelidze, R.V. and Mishchenko, E.F.** (1969), *Mathematical theory of optimal processes*. Moscow: Nauka, 384 p. (in Russian).
29. **Storozhuk, N.A. and Dekhta, T.N.** (2018), Optimal control of concrete mixture compaction by vibration and its features, *News of the Dnieper State Academy of Construction and Architecture*, no. 4 (243-244), pp. 56-64 (in Russian).
30. **Sutton, R.S. and Barto, A.G.** (1998), *Reinforcement learning: An introduction*. Cambridge: MIT Press, 322 p.
31. GOST 7473-2010. Concrete Mixes. Specifications. Standartinform: Moscow, Russia. 2012. 19 p. (in Russian).
32. **Sograbi, T.V.** (2022), The Role of Gas Interaction with the Surface of an Aerosol Particle in its Motion at Large Knudsen Numbers: diss. ... cand. phys. and math. sc. Yekaterinburg, 123 p. (in Russian).

Received 17.03.2026

Approved 16.04.2026

Accepted 12.05.2026



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.3

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47

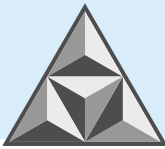
Сравнительный анализ качества щебня из различных месторождений в условиях квотирования их добычи

М.П. Степанова, А.М. Усачев, И.Д. Токарев

Мария Петровна Степанова*, Александр Михайлович Усачев, Илья Денисович Токарев

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

*max035@yandex.ru**, *ausachev@cchgeu.ru*, *ilyatokarev9909@gmail.com*



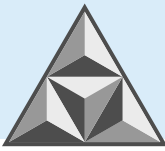
Рассмотрена актуальная проблема, обусловленная запретом добычи общераспространенных полезных ископаемых на землях Ростовской области и ростом потребности в качественном щебне для железобетонных изделий и дорожных покрытий. В связи с этим возникает необходимость быстрого перехода на иные сырьевые источники для современного строительства, в частности, альтернативой может служить песчаниковый щебень из Тульской области. В работе проводится комплексная оценка эксплуатационных свойств щебня из песчаника различных месторождений и даются рекомендации по наиболее эффективному его применению.

Ключевые слова: заполнители для бетона, щебень, песчаник, оценка качества, сравнительный анализ

Для цитирования:

Степанова М.П., Усачев А.М., Токарев И.Д. Сравнительный анализ качества щебня из различных месторождений в условиях квотирования их добычи // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 37-47. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47

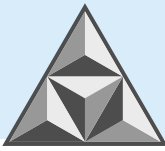
Comprehensive comparative analysis of the quality of crushed stone from various deposits under the conditions of their production quotas

M.P. Stepanova, A.M. Usachev, I.D. Tokarev

Mariia Petrovna Stepanova*, Aleksandr Mikhailovich Usachev, Iliia Denisovich Tokarev

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

*max035@yandex.ru**, *ausachev@cchgeu.ru*, *ilyatokarev9909@gmail.com*



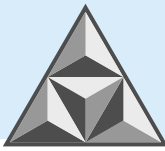
The paper discusses a relevant issue arising from the ban on the extraction of common minerals on land in the Rostov Region and the growing demand for high-quality crushed stone for reinforced concrete products and road surfacing. Consequently, there is a need for a rapid transition to alternative raw material sources for modern construction; in particular, sandstone crushed stone from the Tula Region could be used as an alternative. The study provides a comprehensive assessment of the performance properties of sandstone crushed stone from various deposits and offers recommendations for its most effective use.

Keywords: concrete aggregates, crushed stone, sandstone, quality assessment, comparative analysis

For citation:

Stepanova M.P., Usachev A.M., Tokarev I.D. Comprehensive comparative analysis of the quality of crushed stone from various deposits under the conditions of their production quotas // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 37-47. URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-37-47



ВВЕДЕНИЕ

Ежегодное потребление щебня в РФ стабильно превышает 200 млн т, что отражает высокий уровень развития инфраструктурного и строительного комплексов страны. Основными потребителями щебня из плотных осадочных пород являются крупные административные центры и федеральные города, обладающие развитой транспортной и производственной инфраструктурой.

По данным Росстата за 2024 год, годовой совокупный объем потребления щебня из осадочных плотных пород в Центральном федеральном округе (ЦФО) составляет 16.5-19.0 млн т. Из этого количества 40-45% (6.6-8.6 млн т) обеспечивается за счет внутреннего производства регионов ЦФО и региональных поставок. Наиболее значительный объем потребления приходится на Московский мегаполис (Москва и Московская область), где собственная добыча строительного сырья отсутствует [1]. Снабжение региона осуществляется преимущественно за счет поставок из Южного федерального округа (ЮФО) – Ростовской области и Краснодарского края, а также частично субъектов ЦФО – Владимирской, Тульской, Калужской, Костромской, Смоленской, Рязанской, Липецкой и других областей [2] (см. рис. 1).

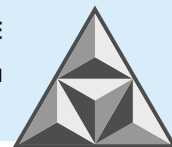


Рис. 1. Долевое распределение источников щебня для Центрального федерального округа

Fig. 1. Share distribution of crushed stone sources for the Central Federal District

Однако в конце 2025 года Постановлением Правительства РФ № 1457 внесены коррективы в использование сырьевой базы строительной отрасли на территории Ростовской области. Согласно этому Постановлению, добыча общераспространенных полезных ископаемых – щебня, песка, гравия, глины, известняка и торфа – полностью запрещается на сельскохозяйственных землях. Закон исключает всякую возможность перевода данных категорий земель в иную категорию под промышленную разработку. В связи с этим из 340 месторождений Ростовской области 170 (то есть ровно половина) оказывается вне закона. Наиболее крупное Обуховское месторождение утратит до 65% своих запасов, а Федоровское месторождение – 78% территории. Общий дефицит вырастет до 7.0-8.4 млн м³ ежегодно. Таким образом, возникает необходимость трансформации логистической ветки поставок сырьевой базы ЦФО и мобилизации мощностей других месторождений, в том числе – с возможностью применения песчаников Тульской области [3-6].

В связи с этим целью работы явилось проведение сравнительного анализа качества песчаникового щебня месторождений Тульской и Ростовской областей и выработка рекомендаций по его последующему применению в производстве железобетонных изделий различного назначения и материалов для дорожных покрытий.



Основные задачи:

- оценка физико-механических свойств щебня-песчаника месторождений Обуховское, Донской камень, Турдейское;
- систематизация нормативных требований к качеству щебня для дорожных бетонов и железобетонных изделий;
- выдача рекомендаций по применению щебня Тульской области в качестве альтернативы при производстве железобетонных изделий (ЖБИ) и устройстве дорожных покрытий.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Важными характеристиками щебня в соответствии с требованиями ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний», а также ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» являются: зерновой состав; насыпная плотность; дробимость; содержание зерен пластинчатой и игловатой формы; содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц; содержание глины в комках; истираемость; морозостойкость. В ранее выполненных работах [7, 8] указанные характеристики были определены для щебня Обуховского месторождения Ростовской области.

Здесь же проводился комплекс исследований щебня-песчаника наиболее крупных месторождений в Тульской области (Донской камень и Турдейское) с целью рекомендования их в качестве альтернативы для замещения поставок из Ростовской области.

Щебень оценивался по внешнему виду, так как указанная морфологическая характеристика напрямую коррелирует с физико-механическими показателями. Щебень Обуховского месторождения представляет собой зерна светло-серого цвета, преимущественно – кубовидной и слегка пластинчатой формы, с шероховатой поверхностью (рис. 1, а). Щебень месторождения Донской камень отличается темным серо-коричневым оттенком с заметными включениями примесных пород и повышенной долей игловатых фракций (рис. 1, б). Песчаник Турдейского месторождения имеет однородный светло-серый цвет с преобладанием правильных кубовидных форм и минимальным количеством дефектов поверхности. Турдейский щебень визуально демонстрирует высокое качество и возможность применения в ответственных конструкциях (рис. 2, в).

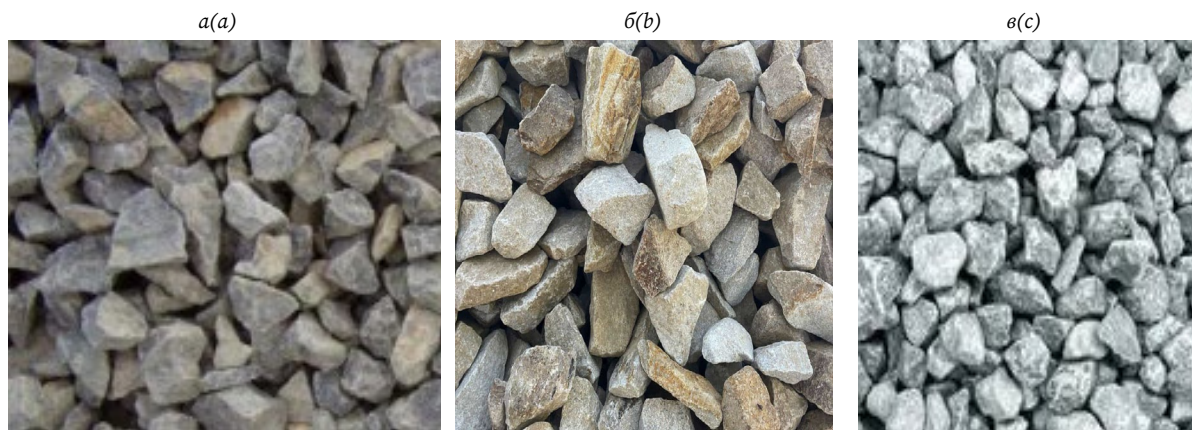
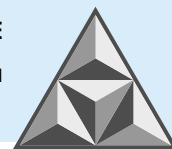


Рис. 2. Внешний вид щебня различных месторождений:

a – Обуховское; *б* – Донской камень; *в* – Турдейское

Fig. 2. Appearance of crushed stone from the following deposits:

a - Obukhovskoe, *b* - Donskoi Stone, *c* - Turdeiskoe



После оценки внешнего вида образцы щебня данных месторождений исследовали в соответствии с требованиями ГОСТ 8267-93 на содержание зерен пластинчатой и игловатой формы и микроструктурную чистоту. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, примесей (пылевидные, глинистые частицы) и слабых пород в щебне различных месторождений

Table 1. Content of plate-shaped and needle-shaped grains in crushed stone, content of impurities (dust-like and clay particles) and weak rocks in crushed stone from various deposits

Показатель	Обуховское	Донской камень	Турдейское
Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	14.2	12.5	8.5
Группа по ГОСТ 8267-93	Группа 2 ($\leq 15\%$)	Группа 2 ($\leq 15\%$)	Группа 1 ($\leq 10\%$)
Содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц, %	1.0	1.2	0.9
Содержание глины в комках, %	0.0	0.1	0.0
Содержание слабых пород, %	0.3	0.4	0.2
Чистота по ГОСТ	Высокая ($\leq 1\%$)	Хорошая ($\leq 1.5\%$)	Отличная ($\leq 1\%$)

Все образцы щебня соответствуют требованиям ГОСТ 8267-93 по форме зерен и микроструктурной чистоте. Турдейский щебень по форме зерен (лещадности) соответствует группе 1, что является лучшим показателем по сравнению с другими образцами строительных материалов, в то время как месторождения Обуховское и Донской камень относятся к группе 2.

Песчаник Турдейского месторождения имеет отличную чистоту с малым содержанием пылевидных, илистых и глинистых частиц, полным отсутствием глины в комках и минимальным количеством слабых пород, как и щебень Обуховского месторождения, который характеризуется высокой чистотой при полном отсутствии глины в комках и низким содержанием слабых пород. Донской камень обладает хорошей чистотой с минимальным присутствием глины в комках и умеренным содержанием слабых пород.

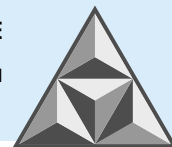
Далее в работе были определены такие физико-механические свойства щебня, как плотность, марка по дробимости и по истираемости. Результаты испытаний указанных свойств строительного щебня приведены в табл. 2.

Таблица 2. Основные показатели щебня из песчаника различных месторождений

Table 2. Main characteristics of sandstone crushed stone from various deposits

Месторождение	Наименование показателя		
	Насыпная плотность, $\text{т}\cdot\text{м}^{-3}$	Марка щебня по дробимости	Марка щебня по истираемости
Обуховское	1.44	1200	И1
Донской камень	1.42	1000	И2
Турдейское	1.46	1400	И1

Насыпная плотность у всех образцов колеблется в довольно узком диапазоне (1.42-1.46 $\text{т}\cdot\text{м}^{-3}$), что типично для плотных песчаников и не оказывает существенного влияния на выбор материала. Марка по дробимости (M1200, M1000, M1400) является ключевым показателем прочности крупного заполнителя. Турдейский щебень (M1400) обладает наивысшей прочностью, Обуховский (M1200) – высокой, а Донской камень (M1000) – средней прочностью из числа испытуемых. Установлена марка И1 по истираемости, определяемая износостойкостью при абразивном воздействии, у щебня-песчаника из Турдейского и Обуховского месторождений.



При исследовании морозостойкости песчаников выяснилось, что показатели в паспортах качества для Обуховского месторождения выше экспериментальных значений. Измерения, выполненные по ускоренной методике (циклическое насыщение в растворе сульфата натрия и высушивание при температуре $110\pm 5^\circ\text{C}$), соответствуют марке песчаников по морозостойкости F100 [5], так как после 15 циклов испытаний потери массы образцов составили более 5%. При этом лучшим показателем морозостойкости отличается щебень Турдейского месторождения (F250).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

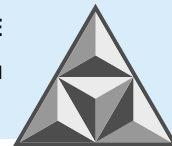
Произведенные оценки физико-механических свойств щебня-песчаника изученных месторождений позволили разработать рекомендации по эффективному их использованию для различных областей применения, с учетом физико-механических характеристик, условий эксплуатации и экономических факторов.

Так, в случае применения для автомобильных дорог песчаник должен соответствовать ключевым нормативным документам, включая СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги» (актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*) и ГОСТ Р 59300-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия». В соответствии с ними минимальная марка щебня по дробимости должна быть не ниже М400 для щебеночных оснований и М800 для верхних слоев дорожных покрытий I–II категорий. Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы не должно превышать 15% (группа 2 по ГОСТ 8267-93), а доля зерен слабых пород – 5% от общей массы. Также нормируется количество пылевидных и глинистых частиц (до 2%) и глины в комках (до 0.25%), что было отмечено в ряде работ [9-13].

Анализ полученных данных показал, что все рассмотренные образцы щебня соответствуют требованиям действующих нормативных документов. Щебень Обуховского и Турдейского месторождений характеризуется высокой прочностью (M1200 – M1400) и низким содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы, что позволяет использовать его в верхних слоях дорожных покрытий I категории. Материал месторождения Донской камень с маркой M1000 также соответствует принятым стандартам и обеспечивает достаточную прочность в случае применения в дорожных покрытиях II–III категорий.

Проведенные исследования щебня месторождений Обуховское, Донской камень и Турдейское выявили соответствие его свойств требованиям других областей применения в строительной практике. Так, щебень-песчаник Турдейского месторождения обладает наилучшими показателями – максимальной прочностью и группой лещадности 1, что обеспечивает расчетный срок его службы на уровне 25-30 лет. Он может применяться для высоконагруженных дорожных покрытий I категории (аэропорты, федеральные автомобильные дороги М4/М12), возведения мостовых конструкции и опор, а также получения бетонных покрытий с интенсивностью А100+ тыс. автомобилей в сутки.

В случае использования щебня-песчаника для производства ЖБИ проведена его проверка на соответствие специализированным нормативным документам, включая ГОСТ 10922-2012 «Железобетонные изделия железобетонных конструкций. Общие технические условия», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» и СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».



В табл. 3 приведены требования по основным показателям качества щебня в соответствии с нормативами. Согласно данным, представленным в табл. 3, щебень-песчаник месторождения Донской камень, характеризующийся повышенным содержанием зерен лещадной формы (12.5%), можно рекомендовать для производства массовых ЖБИ (бордюры, лотки, кольца колодцев) и бетонов классов В15–В25.

Щебень Обуховского месторождения, характеризующийся высокой плотностью и прочностью, а также низким содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы, целесообразно применять для производства бетонов классов В25 – В30.

Таблица 3. Значение основных физико-механических показателей щебня в соответствии с требованиями действующих норм

Table 3. The value of the main physical and mechanical characteristics of crushed stone in accordance with the requirements of regulatory documentation

Показатель	Требования для ЖБИ
Дробимость	M800–M1200 (класс В20–В40)
Лещадность	≤12% (группа 1, для ответственных ЖБИ)
Пылевидные частицы	≤1.0%
Слабые породы	≤1.0%
Глина в комках	≤0.1%
Морозостойкость	F150–300

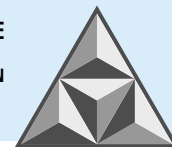
Щебень Турдейского месторождения может быть использован для всех видов ЖБИ, в том числе ответственного назначения (В30 – В40) (плиты перекрытий, каркас высотных зданий и т.д.). Общие рекомендации по применению даны в табл. 4.

Таблица 4. Комплексная оценка области применения щебня-песчаника исследованных месторождений

Table 4. Comprehensive assessment of the application area of sandstone crushed stone from the analyzed deposits

Применение	Обуховское	Донской камень	Турдейское	Рекомендуемое месторождение
ЖБИ (В30+)	±	±	+	Турдейское
Бетон товарный В25–В30	+	+	+	Любое
Дорожное покрытие 1-2 категории	+	+	+	Любое
Щебеночное основание	+	+	+	Любое
Для ответственных ЖБИ (аэропорты, мосты)	-	±	+	Турдейское

Таким образом, для получения ЖБИ класса В30 и выше наиболее предпочтительным является Турдейское месторождение. Щебни Обуховского месторождения и Донской камень рассматриваются к применению как допустимые, но с ограничениями. Для товарного бетона классов В25 – В30 все рассмотренные месторождения обеспечивают достаточное качество щебня. Для дорожных покрытий 1-2 категорий и оснований дорог щебень из всех карьеров также соответствует нормативным требованиям, поэтому выбор должен осуществляться в зависимости от экономической целесообразности и логистики. Для ответственных конструкций ЖБИ (аэропорты, мосты) щебень из Обуховского месторождения применять не рекомендуется, из месторождения Донской камень – допускается с ограничениями, а наиболее пригодным является щебень Турдейского месторождения, который и следует выбирать в качестве основного источника сырья.



ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований показывают, что щебень-песчаник из месторождений Турдейское и Донской камень (Тульская область) соответствует нормативным требованиям, а оптимизированное распределение по классам качества позволяет рекомендовать его как ресурс для производства железобетонных изделий и осуществления дорожных работ в Центральном федеральном округе взамен используемых в настоящее время сырьевых источников Южного федерального округа.

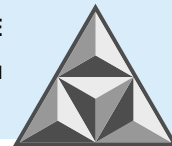
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Промышленность строительных материалов в Российской Федерации: 2020–2024 гг.: Статистический сб. М.: Росстат, 2025. 256 с.
2. **Морозов Е.Н., Скачко Д.Р., Тулино О.В.** Анализ рынка нерудных строительных материалов // XII Межд. молодежный форум "Образование. Наука. Производство": Мат. форума, Белгород, 01–20 октября 2020 года. Белгород: Белгородский гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, 2020. С. 1362–1365.
3. **Дьячкова А.Ю., Романов С.М.** Оценка состояния и перспективы развития рынка нерудных строительных материалов в России // Горный инф.-аналит. бюл. (науч.-техн. журнал). 2013. № S217. С. 9-12.
4. **Карпенко О.В.** Оценка состояния и перспективы развития рынка нерудных строительных материалов // Научный вестник Московского гос. горного ун-та. 2010. № 7. С. 36-40.
5. **Нагин А.С.** Повышение эффективности работы крупных строительных компаний на основе совокупного обеспечения объектов нерудным минеральным сырьем: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.22. М., 2011. 24 с.
6. **Худякова Л.И., Войлошников О.В., Тимофеева С.С.** Решение вопросов рационального природопользования на примере месторождений Северо-Байкальской провинции // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 3 (19). С. 182-187.
7. **Усачев, А.М., Сиденко А.А.** Изучение основных свойств щебня из песчаника и оценка его качества // Химия, физика и механика материалов. 2023. № 2 (37). С. 89-98.
8. **Усачев А.М., Сиденко А.А.** Оценка морозостойкости щебня из песчаника // Химия, физика и механика материалов. 2024. № 2 (41). С. 155-162.
9. **Степанова М.П., Белькова Н.А., Баранов Е.В.** Оптимизация состава бетона для основания и покрытия дорог // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 1 (54). С. 83-89. DOI: 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89.
10. **Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Wegiorz M.** Wplyw modyfikacji forwowania powierzchni betonu na rysoodpornosc elementow zelbetowych: "Krynica 2004": Warszawa-Krynica, t. 3, pp. 11-18.
11. **De Schutter G.** Effect of limestone filler as mineral addition in selfcompacting concrete / Belgium Magnel laboratory of concrete research, 36 Conference on Our World in concrete & Structures Singapore, 14-16 August 2011. P. 25.
12. **Курденкова И.Б.** Каменные материалы в дорожном строительстве. М.: Московский авт.-дорожный гос. техн. ун-т (МАДИ), 2018. 80 с.
13. **Ндайзейе Ф., Белькова Н.А., Шелковникова Т.И., Иващенко Е.И.** Оценка качества сырьевых материалов республики Бурунди для производства дорожных бетонов // Умные композиты в строительстве. 2025. Т. 6. Вып. 3. С. 38-47. DOI 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47.

Поступила в редакцию 11.03.2026

Одобрена после рецензирования 08.04.2026

Принята к опубликованию 12.05.2026



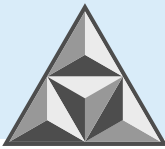
REFERENCES

1. Construction Materials Industry in the Russian Federation: 2020–2024. Statistical Collection. Moscow: Rosstat, 2025. 256 p. (in Russian).
2. **Morozov, E.N., Skachko, D.R. and Tulino, O.V.** (2020), Analysis of the Non-Ferrous Construction Materials Market, *XII International Youth Forum "Education. Science. Production": Forum Proc.*, Belgorod, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, pp. 1362-1365 (in Russian).
3. **Diachkova, A.Iu. and Romanov, S.M.** (2013), Assessment of the State and Prospects for the Development of the Market for Non-Metallic Building Materials in Russia, *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, no. S217, pp. 9-12 (in Russian).
4. **Karpenko, O.V.** (2010), Assessment of the State and Prospects for the Development of the Market for Non-Metallic Building Materials, *Scientific Bulletin of the Moscow State Mining University*, no. 7, pp. 36-40 (in Russian).
5. **Nagin, A.S.** (2011), Improving the efficiency of large construction companies based on the combined supply of non-metallic mineral raw materials: abstr. diss. ... cand. eng. sc., 05.02.22. Moscow, 24 p. (in Russian).
6. **Khudiakova, L.I., Voiloshnikov, O.V. and Timofeeva, S.S.** (2013), Solving the Problems of Sustainable Natural Resource Management on the Example of the North Baikal Province Deposits, *Systems. Methods. Technologies*, no. 3 (19), pp. 182-187 (in Russian).
7. **Usachev, A.M. and Sidenko, A.A.** (2023), Study of the Basic Properties of Sandstone Rubble and Assessment of Its Quality, *Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*, no. 2 (37), pp. 89-98 (in Russian).
8. **Usachev, A.M. and Sidenko, A.A.** (2024), Assessment of frost resistance of sandstone crushed stone, *Chemistry, Physics and Mechanics of Materials*, no. 2 (41), pp. 155-162 (in Russian).
9. **Stepanova, M.P., Belkova, N.A. and Baranov, E.V.** (2023), Optimization of concrete composition for road base and pavement, *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*, no. 1 (54), pp. 83-89 (in Russian). DOI 10.24866/2227-6858/2023-1/83-89.
10. **Ajdukiewicz, A., Kliszczewicz, A. and Wegiorz, M.** Wplyw modyfikacji forwowania powierzchni betonu na rysoodpornosc elementow zelbetowych: "Krynica 2004": Warszawa-Krynica, t. 3, pp. 11-18.
11. **De Schutter, G.** (2011), Effect of limestone filler as mineral addition in selfcompacting concrete, Belgium Magnel laboratory of concrete research, *36 Conference on Our World in concrete & Structures Singapore*, 14-16 August 2011, p. 25.
12. **Kurdenkova, I.B.** (2018), Stone Materials in Road Construction. Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 80 p. (in Russian).
13. **Ndaiizeye, F., Belkova, N.A., Shelkovnikova, T.I. and Ivashchenko, E.I.** (2025), Quality assessment of raw materials in the Republic of Burundi for road concrete production, *Smart Composite in Construction*, vol. 6, iss. 3, pp. 38-47 (in Russian). DOI 10.52957/2782-1919-2025-6-3-38-47.

Received 11.03.2026

Approved 08.04.2026

Accepted 12.05.2026



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.72

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-48-63

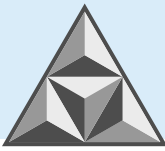
Создание промышленного строительного кластера как модель инновационного развития дорожной отрасли в условиях эксклава

Т.И. Трубникова, Г.В. Проваторова

Татьяна Игоревна Трубникова*, **Галина Владимировна Проваторова**

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Владимир, Российская Федерация

*tatasofa1983@mail.ru**, *asf.inst@yandex.ru*



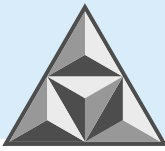
На примере Калининградской области обосновывается необходимость формирования промышленного строительного кластера как эффективного механизма инновационного развития дорожной отрасли. Актуальность исследований обусловлена особым геополитическим положением региона, требующим повышенного уровня экономической самодостаточности и технологической независимости, особенно в сфере дорожного строительства. Целью работы явилось создание концептуальной модели кластера, интегрирующего предприятия строительной индустрии, научно-образовательные учреждения, логистические и цифровые платформы. Применены методы системного, структурно-функционального и сравнительного анализа, а также элементы прогнозирования. Представлены предпосылки кластеризации: действующая инфраструктура поддержки предпринимательства (Центр кластерного развития), успешные региональные кластерные инициативы в смежных отраслях и реализация национального проекта «Безопасные качественные дороги». Предложенная модель ориентирована на решение задач замещения зарубежного сырья, внедрение инновационных материалов (геосетки, композиты, металлические и железобетонные изделия) и цифровых систем мониторинга. Она может быть адаптирована для других приграничных и полужекскавных территорий Российской Федерации.

Ключевые слова: Калининградская область, дорожная отрасль, инновационное развитие, промышленный строительный кластер, импортозамещение

Для цитирования:

Трубникова Т.И., Проваторова Г.В. Создание промышленного строительного кластера как модель инновационного развития дорожной отрасли в условиях эксклава // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 48-63.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-48-63



SCIENTIFIC ARTICLE

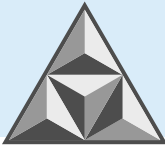
DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-48-63

Creation of an industrial construction cluster as a model for the innovative development of the road sector within an exclave context

T.I. Trubnikova, G.V. Provatorova

Tatiana Igorevna Trubnikova*, **Galina Vladimirovna Provatorova**

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russian Federation
*tatasofa1983@mail.ru**, *asf.inst@yandex.ru*



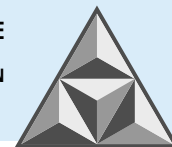
Using the example of the Kaliningrad Region, this paper substantiates the need to establish an industrial construction cluster as an effective mechanism for the innovative development of the road sector. The relevance of the study is driven by the region's distinct geopolitical position, which demands a heightened level of economic self-sufficiency and technological independence, particularly in the field of road construction. The purpose of the study was to develop a conceptual cluster model integrating construction industry enterprises, research and educational institutions, and logistics and digital platforms. The research employed methods of systems analysis, structural-functional analysis, comparative analysis, and elements of forecasting. The prerequisites for clustering are presented: the existing business support infrastructure (Cluster Development Centre), successful regional cluster initiatives in related sectors, and the implementation of the national project "Safe and High-Quality Roads". The proposed model is geared toward achieving import substitution, introducing innovative materials (geogrids, composites, metal and reinforced concrete products), and deploying digital monitoring systems. The model can also be adapted for other border and semi-exclave territories of the Russian Federation.

Keywords: Kaliningrad region, road industry, innovative development, industrial construction cluster, import substitution

For citation:

Trubnikova T.I., Provatorova G.V. Creation of an industrial construction cluster as a model for the innovative development of the road sector within an exclave context // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 48-63. URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-48-63



ВВЕДЕНИЕ

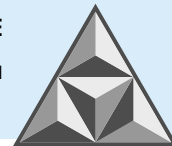
Калининградская область, являясь эксклавом Российской Федерации, сталкивается с уникальными вызовами в сфере экономического и инфраструктурного развития. Ее географическая отделенность от основной территории страны определяет повышенные требования к самодостаточности, особенно в таких критически важных секторах, как дорожное хозяйство и строительство [1]. Развитие транспортной инфраструктуры выступает здесь не просто необходимым условием для ведения хозяйственной деятельности, но и ключевым фактором обеспечения связанности региона с «большой Россией», а также основой внутреннего туризма и транзитного потенциала [2].

В последние годы регион принимает активное участие в реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги» (БКД). Согласно отчетным данным, в 2025 году в нормативное состояние приведено около 300 км дорог и 600 погонных метров мостовых сооружений. При этом внедряются инновационные технологии и материалы, что свидетельствует о готовности отрасли к совершенствованию базы и качественным изменениям [3]. Тем не менее, несмотря на определенные успехи, в указанной области сохраняется ряд системных проблем: зависимость от поставок материалов из других регионов (с сопутствующими логистическими издержками), фрагментарность внедрения научных достижений, дефицит высококвалифицированных кадров [4].

Мировой и отечественный опыт показывает, что эффективным инструментом повышения качества проектирования, строительства и эксплуатации дорог и транспортных сооружений является кластерный подход. Теоретические основы кластеризации были заложены М. Портером, который определял кластер как «группу географически соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определенной сфере и взаимодополняющих друг друга» [5]. В современной российской практике кластеры рассматриваются как «точки роста», способные обеспечить синергию науки, бизнеса и государства [6, 7].

Калининградская область обладает сформированной институциональной базой для развития кластеров. С 2017 года здесь успешно функционирует Центр кластерного развития (ЦКР), созданный при Фонде поддержки предпринимательства. Деятельность ЦКР позволила запустить и поддержать ряд отраслевых кластерных инициатив: в сфере металлообработки (Балтийский металлообрабатывающий кластер), судостроении, янтарной отрасли, информационных технологиях и туризме [8, 9]. Анализ показывает, что кластерная кооперация позволяет малым и средним предприятиям получать доступ к новым рынкам, с учетом совместного использования оборудования и участия в крупных проектах.

В то же время в регионе отсутствует промышленный строительный кластер, ориентированный на нужды дорожной отрасли. Научная гипотеза настоящей работы заключается в том, что формирование такого кластера позволит преодолеть существующие ограничения за счет вертикальной и горизонтальной интеграции участников, создания замкнутых технологических циклов и ускоренного внедрения инновационных разработок как результатов инженерных изысканий в указанной области. Особую актуальность эта задача приобрела в условиях санкционного давления и необходимости форсированного поиска



отечественных сырьевых источников для дорожного строительства и производства строительных материалов [10].

Цель данного исследования – разработка и обоснование концептуальной модели промышленного строительного кластера Калининградской области как инструмента инновационного развития дорожной отрасли. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать теоретические предпосылки и существующие региональные условия для создания кластера.
2. Идентифицировать ключевые элементы и организационно-управленческую структуру предлагаемого кластера.
3. Разработать поэтапный план формирования кластера и систематизировать возможные меры государственной поддержки.
4. Прогнозировать ожидаемые экономические, технологические и социальные эффекты от реализации кластерной инициативы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Концепция кластерного развития прошла долгий путь эволюции: от идей Альфреда Маршалла о промышленных районах до современной теории конкурентоспособности Майкла Портера. В применении к отрасли дорожного строительства кластерный подход позволяет рассматривать возведение объектов не как изолированный процесс, а как результат деятельности сложной экосистемы, включающей производителей материалов, проектировщиков, подрядчиков, транспортников, поставщиков специальной техники, а также научные и образовательные институты [11, 12].

Специфика дорожного строительства в эксклавных и приграничных регионах исследована в ряде работ [13-15]. Ключевыми особенностями, обосновывающими необходимость кластеризации в указанной отрасли, являются:

- Повышенные транспортные издержки: доставка традиционных материалов (щебень, битум, металл) из центральной России или из-за рубежа может увеличить стоимость на 20-40% [16].
- Особые климатические и грунтовые условия: близость Балтийского моря, высокая влажность и специфические типы грунтов требуют применения специализированных материалов и технологий, которые не всегда широко представлены на рынке.
- Логистическая уязвимость: зависимость от транзита через территории других государств (Литва) определяет важность создания резервов материалов и развития собственных мощностей по их производству [17].
- Необходимость быстрой адаптации инноваций: эксклав может выступать в роли «пилотной площадки» для тестирования новых технологий в изолированных условиях перед их масштабированием на основную территорию страны [18].

Институциональные и производственно-технологические факторы систематизированы в табл. 1.

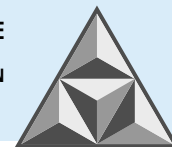


Таблица 1. Предпосылки формирования промышленного строительного кластера в Калининградской области

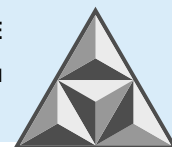
Table 1. Prerequisites for the formation of an industrial construction cluster in the Kaliningrad region

Группа предпосылок	Факторы	Примеры и характеристики
Институциональные	Наличие специализированной инфраструктуры поддержки	Центр кластерного развития (ЦКР), предоставляющий консультационные, маркетинговые услуги и софинансирование проектов (до 80% затрат) [8, 19]
	Действующие кластеры в смежных отраслях	Балтийский металлообрабатывающий кластер, судостроительный кластер, янтарный кластер. Наличие позитивного опыта кооперации [9, 20]
Производственно-технологические	Реализация нацпроекта БКД	В 2025 г. в норму приведено 300 км дорог и 600 пог. м мостов. Сформирован устойчивый спрос на современные материалы и технологии [3]
	Появление новых производств	Запуск производства композитных материалов (ООО «Калининградский композитный завод» на базе «ПГМ-Городское пространство»), инновационных самосвалов (<i>Grunwald</i>) [21, 22]
	Развитие цифровых платформ	Внедрение системы «ЭРА-ГЛОНАСС» для мониторинга транспорта и управления дорожным хозяйством [23]
Кадровые и научные	Наличие образовательных и исследовательских центров	БФУ им. И. Канта, КГТУ. Проведение профильных семинаров (сентябрь 2024 г. по инновационным технологиям в дорожном строительстве) [24]
	Реализация целевого обучения	Предприятия ОАО «Черняховский Райавтодор», ОАО «Гусевский «Райавтодор» и ООО СП «Балтдормостстрой» за 5 лет подготовили по целевому обучению десятки инженеров в профильных вузах (в том числе – Владимирском государственном университете им. А.Г. и Н.Г. Столетовых) [25]

Анализ текущей ситуации в Калининградской области показывает, что предпосылки для создания специализированного кластера уже сформированы.

МОДЕЛЬ ПРОМЫШЛЕННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА: СТРУКТУРА, УЧАСТНИКИ И МЕХАНИЗМЫ ПОДДЕРЖКИ

Предлагаемая модель промышленного строительного кластера базируется на принципах горизонтальной (между производителями схожей продукции) и вертикальной



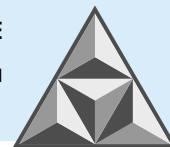
интеграции (по технологической цепочке: от науки и производства сырья до сбыта готовой продукции и эксплуатации). Детальная структура представлена в табл. 2.

Таблица 2. Модель промышленного строительного кластера Калининградской области

Table 2. A model of an industrial construction cluster in the Kaliningrad region

Элемент модели	Характеристика и потенциальные участники
Специализированная организация кластера	Управляющая компания (может быть создана на базе ЦКР или как отдельное юридическое лицо). Функции: стратегическое планирование, координация участников, продвижение кластера, взаимодействие с властью, организация совместных проектов [26]
Ядро кластера (производственный блок)	Производители стройматериалов: ООО «Т.Б.М. – Калининград», ООО «Промстрой 39», ООО «КПД Пром», ООО «ЛОТОС», ООО «Балтполипро» (битумная эмульсия, ЖБИ, металлоконструкции) [27]. Производители инновационных материалов: ООО «Калининградский композитный завод» (геосетки, композиты). Дорожно-строительные компании: ОАО «Черняховский Райавтодор», ОАО «Гусевский Райавтодор», АО «ВАД» [28]. Производители техники: завод <i>Grunwald</i> (облегченные самосвалы) [22]
Научно-образовательный блок	Университеты: БФУ им. И. Канта, КГТУ. Отраслевые лаборатории: лаборатория тестирования материалов на базе «ПГМ Городское пространство». Функции: НИОКР, подготовка и переподготовка кадров, экспертиза проектов, сертификация [24, 29]
Инновационно-цифровой блок	Платформы на базе «ЭРА-ГЛОНАСС» для мониторинга состояния дорог и движения транспорта [23]. Центр трансфера технологий для коммерциализации инновационных разработок в дорожной отрасли

Анализ модели позволяет заключить, что ядром кластера станут предприятия, непосредственно производящие строительные материалы и выполняющие дорожные работы. Вспомогательную, но вместе с тем важную роль будут выполнять научно-образовательный блок, логистическая инфраструктура и цифровые платформы.



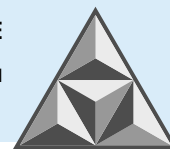
Для успешного запуска и развития кластера критически важно использовать широкий спектр доступных мер государственной поддержки, как на федеральном, так и на региональном уровне. Их систематизация приведена в табл. 3.

Таблица 3. Меры поддержки промышленного строительного кластера

Table 3. Support measures for the industrial construction cluster

Уровень поддержки	Инструменты	Потенциальные выгоды для участников кластера
Федеральный	Льготное кредитование инвестиционных проектов (30% от ключевой ставки ЦБ РФ + 3%, кредиты до 100 млрд руб. на инвестфазу + 2 года) [30]	Снижение стоимости заемного финансирования для модернизации и создания новых производств
	Пониженные страховые взносы (7.6%) для участников специнвестконтрактов (СПИК 1.0) [31]	Существенная экономия фонда оплаты труда, возможность направлять средства на развитие
	Субсидии на приобретение стартовых партий продукции (не более 50% стоимости, до 150 млн руб.) [30]	Поддержка вывода на рынок новой продукции, в том числе импортозамещающей
	Упрощение таможенного и налогового администрирования (таможенный и налоговый мониторинг) [32]	Снижение административной нагрузки, ускорение прохождения таможенных процедур, что критично для эксклава
Региональный (на уровне Калининградской обл.)	Разработка и реализация региональной программы по импортозамещению строительных материалов [33]	Формирование гарантированного спроса на продукцию локальных производителей при реализации госзаказов
	Содействие в сертификации продукции, включая международную [34]	Ускорение выхода на рынок, снижение затрат на сертификационные процедуры
	Поддержка экспортно ориентированных предприятий кластера (участие в международных выставках, бизнес-миссиях) [35]	Расширение рынков сбыта, в том числе за счет экспорта в страны Азии через порты региона
	Предоставление льгот по аренде государственного и муниципального имущества [36]	Снижение издержек на размещение производств

Развитие кластера должно проходить поэтапно, с реализацией четких целей и задач на каждом этапе. Предлагается сценарий, рассчитанный до 2030 года (табл. 4).

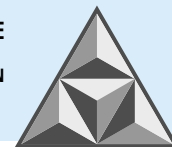
**Таблица 4.** Этапы и сроки реализации проекта кластеризации**Table 4.** Stages and timelines of the cluster project implementation

Этап	Период	Цель и ключевые задачи
1 этап: Начальный (организационный)	2025 – 2026 гг.	Формальное учреждение кластера, разработка стратегии развития, формирование пула ключевых участников, запуск первых пилотных кооперационных проектов (например, по производству импортозамещающих ЖБИ)
2 этап: Этап развития (масштабирование)	2027 – 2028 гг.	Активное развитие кооперационных связей, реализация совместных НИОКР, создание отраслевого центра компетенций (лаборатории), участие в крупных инфраструктурных проектах, наращивание экспортного потенциала
3 этап: Зрелый этап (устойчивое развитие)	2029 – 2030 гг.	Выход кластера на проектную мощность, интеграция в национальные и международные цепочки создания стоимости, превращение в Центр компетенций по инновационным дорожным технологиям для эксклавных и прибрежных территорий

Важной составляющей является ежегодное планирование конкретных мероприятий, способствующих интеграции участников и продвижению их продукции. Пример такого плана на 2026 год представлен в табл. 5.

Таблица 5. План мероприятий по развитию кластера на 2026 год**Table 5.** Action plan for cluster development for 2026

Мероприятие	Сроки	Место проведения	Ожидаемый результат
Строительная выставка «Балтийская эпоха»	22-23 мая 2026	Калининград	Презентация продукции участников, поиск партнеров, обсуждение трендов [37]
<i>MosBuild</i>	март – апрель 2026	Москва	Выход на федеральный рынок, знакомство с общероссийскими тенденциями [38]
Бизнес-миссия ДОК РФ	Июнь 2026	Республика Татарстан	Изучение опыта успешных кластеров в других регионах, обмен технологиями
Международная выставка «ИННОПРОМ»	6-9 июля 2026	Екатеринбург	Демонстрация инновационных разработок участников кластера, поиск инвесторов [39]
Бизнес-Фест / Альфа-Конфа / Вселенная бизнеса	сентябрь – ноябрь 2026	Калининград	Внутрирегиональные нетворкинг-сессии, привлечение новых участников в кластер [40, 41]



Реализация поэтапного плана развития кластера, подкрепленная ежегодными интеграционными мероприятиями, позволит к 2030 году достичь значимых экономических результатов.

ОЖИДАЕМЫЕ ЭФФЕКТЫ ОТ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

Реализация предложенной модели кластера способна привести к значительным изменениям в экономике региона и, в частности, состоянии дорожной отрасли. Эффекты носят системный характер и могут быть классифицированы как экономические, технологические и социальные (табл. 6).

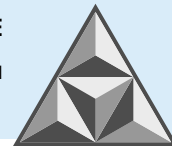
Таблица 6. Ожидаемые эффекты от создания промышленного строительного кластера

Table 6. Expected effects of the creation of an industrial construction cluster

Группа эффектов	Описание и прогнозируемые показатели
Экономические	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Импортозамещение и рост локализации</i>: создание новых производств стройматериалов. По аналогии с отчетными данными правительства области, доля местных материалов в общем объеме потребления может вырасти с текущих 15 до 45-50% к 2030 году [42]; - <i>Снижение себестоимости</i>: сокращение логистического плеча позволит снизить стоимость строительства на 10-15% [16]; - <i>Рост инвестиций</i>: развитие смежных отраслей (металлообработка, IT-технологии, химическое производство) и привлечение инвестиций в инновационные проекты (например, производство композитов мощностью 240 тыс. м³ в год с объемом инвестиций 325.5 млн руб.) [29]; - <i>Увеличение налоговых поступлений от растущего бизнеса</i>
Технологические	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ускорение трансфера инноваций</i>: создание каналов для быстрого внедрения разработок (геосетки, композитная арматура, облегченная техника <i>Grunwald</i>) в реальные дорожные проекты [22, 29]; - <i>Развитие цифровизации отрасли</i>: масштабирование платформ на базе «ЭРА-ГЛОНАСС» для управления жизненным циклом дорог и оптимизации грузоперевозок [23]; - <i>Создание центра компетенций</i>: формирование базы для разработки экспортно-ориентированных решений и реестра лучших практик для дорожной отрасли
Социальные	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Повышение качества и безопасности дорог</i>: применение инновационных, более долговечных материалов приведет к улучшению состояния дорожной сети и снижению аварийности [3]; - <i>Создание высокопроизводительных рабочих мест</i>: новые производства потребуют инженерных и рабочих кадров новой квалификации, что будет способствовать закреплению молодежи в регионе; - <i>Рост доходов населения в смежных секторах экономики</i>

ДИСКУССИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Предложенная модель не является статичной. Ее развитие будет зависеть от множества факторов, включая макроэкономическую ситуацию, скорость адаптации бизнеса к кооперации



и эффективность работы управляющей компании. Потенциальные риски связаны с инертностью крупных игроков, нежеланием делиться имеющимися и приобретенными компетенциями, а также возможным дефицитом финансирования на начальном этапе [17].

Минимизация этих рисков определяется активной ролью региональных властей – модератора и координатора процесса, использующего как инструменты «мягкой силы», так и меры прямой поддержки.

Сравнительный анализ с опытом создания кластеров в северных и приграничных регионах (например, в Карелии и Мурманской области) показывает, что успех во многом зависит от «лидера-якоря» – крупного предприятия, вокруг которого выстраивается кооперация малого и среднего бизнеса [43].

В Калининградской области такими «якорями» потенциально могут стать АО «ВАД» (дорожное строительство) и завод *Grunwald* (машиностроение).

ВЫВОДЫ

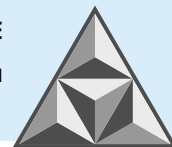
1. Формирование промышленного строительного кластера в Калининградской области является необходимой мерой для обеспечения устойчивого развития дорожной отрасли в уникальных условиях эксклава. Регион обладает всеми необходимыми предпосылками – институциональной инфраструктурой, успешным опытом кластеризации в других секторах, растущим спросом на инновации в рамках национального проекта БКД и активизирующимся производством современных материалов и техники. Предложенная концептуальная модель позволит замкнуть многие технологические цепочки внутри региона, снижая зависимость от внешних поставок и логистические издержки.

2. Критическим фактором успеха является системное использование мер государственной поддержки на федеральном и региональном уровнях, включая льготное кредитование, субсидирование, налоговые льготы и содействие в сертификации и продвижении продукции. Реализация поэтапного плана развития кластера, подкрепленная ежегодными интеграционными мероприятиями, позволит к 2030 году достичь значимых экономических (рост локализации до 45-50%), технологических (ускоренное внедрение композитов, цифровых систем) и социальных эффектов. При этом разработанная модель, учитывающая специфику эксклавной территории, может быть тиражирована в других приграничных, полуэксклавных и удаленных регионах России, сталкивающихся со схожими проблемами логистики и необходимостью форсированного замещения сырья.

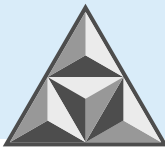
Дальнейшие исследования целесообразно направить на создание детального бизнес-плана кластера и разработку механизмов его финансирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Федоров Г.М.** Калининградская область: диагностика проблем и путей их решения // *Балтийский регион*. 2021. Т. 13. № 2. С. 4.
2. **Гуменюк И.С.** Транспортная система Калининградской области: современное состояние и перспективы развития в условиях эксклавноности // *Региональные исследования*. 2022. № 3 (77). С. 56-67.
3. **Проваторова Г.В.** Применение наномодификаторов для повышения качества дорожных битумов // *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. Вып. 3. С. 68-76. DOI: https://doi.org/10.52957/27821919_2021_3_68.
4. **Трубникова Т.И., Проваторова Г.В.** Риски ресурсного обеспечения технологических процессов дорожно-строительного кластера в условиях эксклавной территории // *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электрон. сб. ст. V Междунар. науч. конф.*, Новополюцк, 27 окт. 2023 г. Новополюцк: Полоцкий гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2024. С. 379-384.



5. **Портер М.** Конкуренция. М.: Вильямс, 2005. С. 608.
6. **Куценко Е.С.** Кластеры в экономике: основы кластерной политики государства // *Обозреватель*. 2019. № 3. С. 52-63.
7. **Земцов С.П., Барина В.А.** Смена парадигмы региональной инновационной политики в России: от выравнивания к «умной специализации» // *Вопросы экономики*. 2020. № 10. С. 65-82.
8. Центр кластерного развития Калининградской области [Электронный ресурс] // Фонд поддержки предпринимательства Калининградской области. URL: <https://mbkaliningrad.ru/cluster> (дата обращения: 27.01.2026).
9. **Поляков Р.К., Дуров А.В.** Роль кластеров и кластерной политики в развитии Калининградской области // *Региональная экономика и управление: электрон. науч. журнал*. 2017. № 2 (50). Ст. 5019. URL: <https://eee-region.ru/article/5019> (дата обращения: 27.01.2026).
10. **Кузнецова О.В.** Импортзамещение в регионах России: первые итоги и новые вызовы // *Федерализм*. 2023. Т. 28, № 2. С. 97-114.
11. **Лаврикова Ю.Г.** Кластерный подход в управлении развитием строительного комплекса региона // *Экономика региона*. 2008. № 2. С. 144-153.
12. **Асаул А.Н.** Строительный кластер – новая форма организации строительного производства // *Экономическое возрождение России*. 2019. № 3 (61). С. 12-21.
13. **Боднар Т.И., Проваторова Г.В.** Формирование стратегии кластерного развития дорожно-строительного комплекса в условиях анклавной территории (на материалах Калининградской области) // *Региональная экономика и управление: электрон. научн. журнал*. 2022. № 4 (72). Ст. 7230. URL: <https://eee-region.ru/article/7230> (дата обращения: 27.01.2026).
14. **Усов В.Ю.** Создание промышленного кластера в Калининградской области // *Экономические стратегии*. 2013. № 6-8. С. 142-146.
15. **Космачева Н.М., Черняк В.З.** Особенности формирования территориально-производственных кластеров в приграничных регионах // *Проблемы современной экономики*. 2020. № 4 (76). С. 183-187.
16. **Дорофеева Л.В.** Логистические издержки в строительстве: факторы и пути оптимизации // *Логистика сегодня*. 2024. № 1. С. 42-51.
17. **Шеховцева Л.С.** Концепция управления рисками регионального развития // *Вестник Балтийского федер. ун-та им. И. Канта*. 2023. № 2. С. 45-56.
18. **Клейнер Г.Б.** Системная экономика: шаги развития. М.: Наука, 2021. С. 350.
19. О Центре кластерного развития: постановление Правительства Калининградской области от 15.03.2017 № 123 (ред. от 10.12.2025).
20. Стратегия социально-экономического развития Калининградской области на долгосрочную перспективу [Электронный ресурс] // Правительство Калининградской области. URL: <https://gov39.ru> (дата обращения: 10.02.2026).
21. В Калининградской области открыт завод по производству композитных материалов // РБК Калининград. 2025. 15 мая. URL: <https://kaliningrad.rbc.ru> (дата обращения: 27.01.2026).
22. В Калининградской области начали производить кузова инновационного транспорта // ТАСС. 2025. 13 ноября. URL: <https://tass.ru/ekonomika/25620695> (дата обращения: 27.01.2026).
23. Калининградская область повысит эффективность управления общественным транспортом и безопасность перевозок пассажиров с помощью «ЭРА-ГЛОНАСС» // CNews. 2024. 20 ноября. URL: https://corp.cnews.ru/news/line/2024-11-20_kaliningradskaya_oblast (дата обращения: 27.01.2026).
24. Программа семинара «Российские инновационные технологии и материалы для дорожного строительства», Калининград, 12-13 сент. 2024 г. [Электронный ресурс] // Ассоциация дорожников Калининградской обл. URL: <https://dorkltd.ru> (дата обращения: 15.02.2026).
25. Отчет о целевом обучении в дорожной отрасли Калининградской области за 2020-2025 гг. [Электронный ресурс] // Мин-во образования Калининградской обл. URL: <https://edu.gov39.ru> (дата обращения: 10.02.2026).
26. Методические рекомендации по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации / Минэкономразвития РФ. М., 2022.



27. Реестр производителей строительных материалов Калининградской области [Электронный ресурс] // Мин-во строительства и ЖКХ Калининградской обл. URL: <https://minstroy.gov39.ru> (дата обращения: 27.01.2026).
28. Перечень дорожно-строительных организаций Калининградской области [Электронный ресурс] // Мин-во развития инфраструктуры Калининградской обл. URL: <https://infra.gov39.ru/companies> (дата обращения: 27.01.2026).
29. Годовой отчет ООО «ПГМ Городское пространство» за 2024 год. Калининград, 2025.
30. О промышленной политике в Российской Федерации: Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ (ред. от 08.08.2024) // Собрание законодательства РФ. 2015. № 1. С. 41.
31. Налоговый кодекс Российской Федерации (ч. 2) от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 29.12.2025) // Собрание законодательства РФ. 2000. № 32. С. 3340.
32. О таможенном регулировании в Российской Федерации: Федеральный закон от 03.08.2018 № 289-ФЗ (ред. от 28.12.2025) // Собрание законодательства РФ. 2018. № 32. С. 5082.
33. Государственная программа Калининградской области «Развитие промышленности и поддержка предпринимательства» [Электронный ресурс] // Правительство Калининградской области. URL: <https://gov39.ru> (дата обращения: 15.02.2026).
34. Постановление Правительства Калининградской области от 20.05.2024 № 245 «О порядке предоставления субсидий на сертификацию продукции для субъектов МСП».
35. Экспортный потенциал Калининградской области: аналитический обзор / Центр поддержки экспорта Калининградской области. Калининград, 2025.
36. Об аренде государственного имущества Калининградской области: Закон Калининградской области от 28.12.2020 № 287 (ред. от 01.11.2025).
37. Официальный сайт выставки «Балтийская эпоха» [Электронный ресурс]. URL: <https://balterpoch.ru> (дата обращения: 15.02.2026).
38. Официальный сайт выставки MosBuild [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mosbuild.com> (дата обращения: 15.02.2026).
39. Официальный сайт выставки ИННОПРОМ [Электронный ресурс]. URL: <https://expo.innoprom.com> (дата обращения: 15.02.2026).
40. Календарь деловых событий Калининградской области на 2026 год // Туристический портал Калининградской области. URL: <https://visit-kaliningrad.ru> (дата обращения: 15.02.2026).
41. План работы Центра кластерного развития Калининградской области на 2026 год [Электронный ресурс]. URL: <https://mbkaliningrad.ru/cluster/plan> (дата обращения: 27.01.2026).
42. Доклад Губернатора Калининградской области «Об итогах деятельности Правительства за 2025 год». Калининград, 2026.
43. Развитие кластеров в Северо-Западном федеральном округе: лучшие практики и уроки; **под ред. А.А. Шабуновой**. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2024.

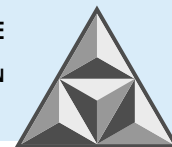
Поступила в редакцию 12.03.2026

Одобрена после рецензирования 05.05.2026

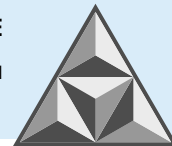
Принята к опубликованию 22.05.2026

REFERENCES

1. **Fedorov, G.M.** (2021), Kaliningrad region: diagnostics of problems and ways to solve them, *Baltic region*, vol. 13, no. 2, pp. 4-23 (in Russian).
2. **Gumenuik, I.S.** (2022), Kaliningrad region transport system: current state and prospects of development in the conditions of exclavity, *Regional studies*, no. 3 (77), pp. 56-67 (in Russian).
3. **Provatorova, G.V.** Nanomodifiers in producing higher quality paving asphalt, *Smart Composite in Construction*, vol. 2, iss. 3, pp. 68-76 (in Russian). DOI: 10.52957/27821919_2021_3_68.
4. **Trubnikova, T.I. and Provatorova, G.V.** (2024), Risks of resource provision of technological processes of the road construction cluster in the conditions of the exclave territory, *Architectural and construction complex*:



- problems, prospects, innovations: *electron. coll. of art. V Inter. Sc. Conf., Novopolotsk, October 27, 2023, Novopolotsk: Polotsk State University-thank them. Euphrosyne of Polotsk, pp. 379-384 (in Russian).*
5. **Porter, M.** Competition. Moscow: Williams, 2005, p. 608 (in Russian).
 6. **Kutsenko, E.S.** (2019), Clusters in economics: fundamentals of the cluster policy of the state, *Obozrevatel*, no. 3, pp. 52-63 (in Russian).
 7. **Zemtsov, S.P. and Barinova, V.A.** (2020), Paradigm shift of regional innovation policy in Russia: from alignment to "smart specialization", *Economic Iss.*, no. 10, pp. 65-82 (in Russian).
 8. Center for Cluster Development of the Kaliningrad region [Electronic resource], *Kaliningrad Region Entrepreneurship Support Fund*. Available at: <https://mbkaliningrad.ru/cluster>.
 9. **Poliakov, R.K. and Durov, A.V.** (2017), The role of clusters and cluster policy in the development of the Kaliningrad region, *Regional Economics and Management: an electronic scientific journal*, no. 2 (50), Art. 5019. Available at: <https://eee-region.ru/article/5019>.
 10. **Kuznetsova, O.V.** (2023), Import substitution in the regions of Russia: the first results and new challenges, *Federalism*, vol. 28, no. 2, pp. 97-114 (in Russian).
 11. **Lavrikova, Iu.G.** (2008), Cluster approach in managing the development of the construction complex of the region, *The economy of the region*, no. 2, pp. 144-153 (in Russian).
 12. **Asaul, A.N.** (2019), Construction cluster – a new form of organization of construction production, *The economic revival of Russia*, no. 3 (61), pp. 12-21 (in Russian).
 13. **Bodnar, T.I. and Provatorova, G.V.** (2022), Formation of a strategy for cluster development of the road construction complex in the conditions of the enclave territory (based on the materials of the Kaliningrad region), *Regional Economics and management: electronic scientific journal*, no 4 (72), Art. 7230. Available at: <https://eee-region.ru/article/7230> (in Russian).
 14. **Usov, V.Iu.** (2013), Creation of an industrial cluster in the Kaliningrad region, *Economic strategies*, no. 6-8, pp. 142-146 (in Russian).
 15. **Kosmacheva, N.M. and Cherniak, V.Z.** (2020), Features of the formation of territorial production clusters in border regions, *Problems of modern economics*, no. 4 (76), pp. 183-187 (in Russian).
 16. **Dorofeeva, L.V.** (2024), Logistical costs in construction: factors and ways of optimization, *Logistics today*, no. 1, pp. 42-51 (in Russian).
 17. **Shekhovtseva, L.S.** (2023), The concept of regional development risk management, *Bulletin of the Baltic Federal University named after I. Kant*, no. 2, pp. 45-56 (in Russian).
 18. **Kleiner, G.B.** System economy: steps of development. Moscow: Nauka, 2021. 350 p. (in Russian).
 19. About the Cluster Development Center: Resolution of the Government of the Kaliningrad Region dated 15.03.2017 No. 123 (as amended on 10.12.2025) (in Russian).
 20. Strategy of socio-economic development of the Kaliningrad region for the long term [Electronic resource] // Government of the Kaliningrad Region. Available at: <https://gov39.ru> (accessed: 10.02.2026) (in Russian).
 21. A plant for the production of composite materials has been opened in the Kaliningrad region, RBC Kaliningrad, 2025, May 15th. Available at: <https://kaliningrad.rbc.ru> (in Russian).
 22. The Kaliningrad region began to produce innovative transport bodies, TASS, 2025, November 13. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/25620695> (in Russian).
 23. Kaliningrad Region will improve the efficiency of public transport management and passenger transportation safety with the help of ERA-GLONASS, CNews, 2024, November 20th. Available at: https://corp.cnews.ru/news/line/2024-11-20_kaliningradsкая_oblast (in Russian).
 24. Seminar program "Russian innovative technologies and materials for road construction", Kaliningrad, September 12-13, 2024 [Electronic resource], Association of Road Builders of the Kaliningrad region. Available at: <https://dorklkd.ru> (in Russian).
 25. Report on targeted training in the Kaliningrad Region road industry for 2020-2025 [Electronic resource], Ministry of Education of the Kaliningrad region. Available at: <https://edu.gov39.ru> (in Russian).
 26. Methodological recommendations for the implementation of cluster policy in the subjects of the Russian Federation / Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Moscow, 2022 (in Russian).
 27. Register of manufacturers of building materials of the Kaliningrad region [Electronic resource], Ministry of Construction and Housing of the Kaliningrad region. Available at: <https://minstroy.gov39.ru> (in Russian).

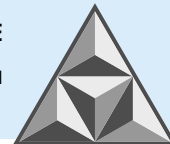


28. List of road construction organizations of the Kaliningrad region [Electronic resource], Ministry of Infrastructure Development of the Kaliningrad Region. Available at: <https://infra.gov39.ru/companies> (in Russian).
29. Annual Report of PGM Urban Space LLC for 2024. Kaliningrad, 2025 (in Russian).
30. On industrial Policy in the Russian Federation: Federal Law No. 488-FZ dated 31.12.2014 (as amended on 08.08.2024), Collection of Legislation of the Russian Federation, 2015, no. 1, Art. 41 (in Russian).
31. The Tax Code of the Russian Federation (part two) dated 05.08.2000 No. 117-FZ (as amended on 29.10.2025), Collection of Legislation of the Russian Federation, 2000, no. 32, Art. 3340 (in Russian).
32. On Customs Regulation in the Russian Federation: Federal Law of 03.08.2018 No. 289-FZ (as amended on 28.12.2025), Collection of legislation of the Russian Federation, 2018, no. 32, Art. 5082 (in Russian).
33. The State Program of the Kaliningrad region "Industrial development and entrepreneurship support" [Electronic resource], Government of the Kaliningrad region. Available at: <https://gov39.ru> (in Russian).
34. Resolution of the Government of the Kaliningrad Region dated 20.05.2024 No. 245 "On the procedure for granting subsidies for certification of products for SMEs" (in Russian).
35. Export potential of the Kaliningrad Region: an analytical review, Kaliningrad Region Export Support Center. Kaliningrad, 2025 (in Russian).
36. On the lease of State Property of the Kaliningrad Region: Kaliningrad Region Law No. 287 dated 28.12.2020 (as amended on 01.11.2025) (in Russian).
37. Official website of the Baltic Epoch exhibition [Electronic resource]. Available at: <https://balteepoch.ru> (in Russian).
38. The official website of the MosBuild exhibition [Electronic resource]. Available at: <https://www.mosbuild.com> (in Russian).
39. The official website of the INNOPROM exhibition [Electronic resource]. Available at: <https://expo.innopro.com> (in Russian).
40. Calendar of business events of the Kaliningrad region for 2026, Kaliningrad Region Tourist Portal. Available at: <https://visit-kaliningrad.ru> (in Russian).
41. The work plan of the Kaliningrad Region Cluster Development Center for 2026 [Electronic resource]. Available at: <https://mbkaliningrad.ru/cluster/plan> (in Russian).
42. Report of the Governor of the Kaliningrad region "On the results of the Government's activities for 2025". Kaliningrad, 2026 (in Russian).
43. Cluster development in the North-Western Federal District: best practices and lessons; **ed. by A.A. Shabunova**. Petrozavodsk: KarNTs RAS, 2024 (in Russian).

Received 12.03.2026

Accepted 05.05.2026

Approved 22.05.2026



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 67.08

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-64-77

Моделирование процесса измельчения частиц асфальтобетона с использованием новой конструкции центробежной мельницы

А.Е. Лебедев, А.С. Суханов, А.А. Мурашов, А.И. Холодкова

Антон Евгеньевич Лебедев¹

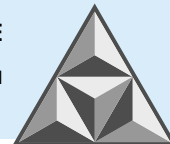
¹Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация
lae4444@mail.ru

Алексей Сергеевич Суханов²

²Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет,
Москва, Российская Федерация
dorexpert@yandex.ru

Анатолий Александрович Мурашов³, Александра Ивановна Холодкова^{3*}

³Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны
имени Маршала Советского Союза Л.А. Говорова, Ярославль, Российская Федерация
*alena.severyanka@mail.ru, holodkovaa@list.ru**



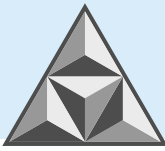
Предлагается актуальное технологическое решение, обеспечивающее продление срока службы рабочих органов центробежно-ударного измельчителя для производства минерального порошка асфальтобетонных смесей. Цель исследования – совершенствование способов и средств математического и физического моделирования конструкции указанного оборудования. Результатом является изготовление эффективных материалов, применяемых в сфере дорожного строительства. Выявлены режимы, при которых снижается износ отбойных элементов и лопастей ускорителей центробежно-ударного измельчителя при работе со щебнем и асфальтовым гранулятом. Приведена расчетная схема оборудования и дано математическое описание процессов образования разреженного и отраженного дисперсного потоков твердых частиц. Сравнение опытных результатов и результатов расчета по математической модели показало, что их расхождение не превышает 10%. Предлагаемая конструкция измельчителя обеспечивает получение качественного строительного материала для дорожных работ и позволяет снизить издержки при изготовлении асфальтобетонной смеси.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, асфальтовый гранулят, центробежно-ударный измельчитель, разреженный дисперсный поток, отраженный дисперсный поток, математическое моделирование

Для цитирования:

Лебедев А.Е., Суханов А.С., Мурашов А.А., Холодкова А.И. Моделирование процесса измельчения частиц асфальтобетона с использованием новой конструкции центробежной мельницы // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 64-77.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-64-77



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-64-77

Simulation of the asphalt concrete particle grinding process employing a novel centrifugal mill configuration

A.E. Lebedev, A.S. Sukhanov, A.A. Murashov, A.I. Kholodkova

Anton E. Lebedev¹

¹Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

lae4444@mail.ru

Aleksej S. Sukhanov²

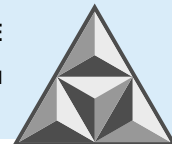
²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation

dorexpert@yandex.ru

Anatoly A. Murashov³, **Aleksandra I. Kholodkova**^{3,*}

³Yaroslavl Higher Military School of Air Defense named after Marshal of the Soviet Union L.A. Govorov, Yaroslavl, Russian Federation

*alena.severyanka@mail.ru, holodkovaa@list.ru**



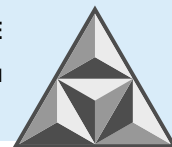
This paper presents a relevant technological solution aimed at extending the service life of the working elements of a centrifugal impact mill used for producing mineral powder for asphalt concrete mixtures. The purpose of the study is to improve the methods and tools for the mathematical and physical modeling of the said equipment's design. The outcome of the research is the production of effective materials for use in the road construction sector. Operating regimes have been identified that reduce wear on the impact elements and accelerator blades of the centrifugal impact mill when processing crushed stone and reclaimed asphalt granulate. The design diagram of the equipment is provided, along with a mathematical description of the processes governing the formation of rarefied and reflected dispersed particle flows. A comparison of experimental results with the calculations based on the mathematical model showed a discrepancy not exceeding 10%. The proposed mill design ensures the production of high-quality construction material for roadworks and enables cost reduction in the receiving of asphalt concrete mixtures.

Keywords: asphalt concrete mix, asphalt aggregate, centrifugal-impact crusher, dilute dispersed flow, reflected dispersed flow, mathematical modeling

For citation:

Lebedev A.E., Sukhanov A.S., Murashov A.A., Kholodkova A.I. Simulation of the asphalt concrete particle grinding process employing a novel centrifugal mill configuration // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 64-77. URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-64-77



ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных производственных процессов является измельчение дисперсных материалов. В частности, в сфере дорожного строительства получение материалов с определенным размером частиц является важной задачей при подготовке минерального наполнителя – важнейшего структурообразующего компонента асфальтобетонных смесей. Для этих целей используют различные технологии помола и множество конструкций измельчителей [1-3]. Однако при измельчении ряда дорожно-строительных материалов, различающихся по структуре (таких, как асфальтовый гранулят), возникает ряд сложностей.

Известно, что физические процессы, протекающие при разрушении неоднородных частиц асфальтового гранулята, различны по своей природе. Одновременно происходит измельчение ударом, истиранием и сжатием, а также деформация участков частиц при контакте со связующим. Установлено, что дробление частиц строительных материалов, не однородных по составу, эффективно осуществляется в аппаратах центробежно-ударного типа. При этом энергозатраты, по сравнению с другими способами при сопоставимой степени измельчения, относительно невысоки [4].

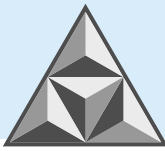
Следует отметить главный недостаток измельчителей ударного действия – быстрый и неравномерный износ деталей оборудования. В процессе их эксплуатации выявлены узлы и участки оборудования, в наибольшей степени подверженные износу. К ним относятся отбойные элементы, лопасти и диски ускорителя. Опытные исследования процесса изнашивания рабочих органов затруднены, так как сам процесс износа скрыт от прямого наблюдения.

При получении минерального порошка для асфальтобетонных смесей с целью повышения ресурса мельницы необходимо повысить надежность и износостойкость ее элементов, в максимальной степени подверженных разрушению. Необходимо отметить, что быстрый износ отбойных элементов и лопастей ускорителя обычно приводит к необходимости остановки агрегата и его ремонту, за счет чего растут издержки производства. Кроме того, попадание продуктов износа в асфальтобетонную смесь может привести к проблемам при контроле ее качества и ухудшению физико-механических свойств.

Одним из вариантов решения этой проблемы является повышение равномерности износа деталей за счет создания одинаковых условий при взаимодействии измельчаемого дорожно-строительного материала с поверхностями отбойных элементов и рабочих органов ускорителя. Такие условия можно создать при изменении конструкции лопастей вращающегося ускорителя. Предлагаемая в настоящей работе конструкция измельчителя предусматривает использование лопастей с карманами самофутеровки специальной формы.

Существенным пробелом, ранее обозначенным в [5, 6], является отсутствие методов расчета и моделирования движения частиц по лопастям центробежно-ударного измельчителя материала, а также процессов образования набегающего и отраженного потоков за пределами ускорителя и их ударного взаимодействия с отбойными элементами. Эксперименты по разрушению неоднородных частиц при производстве асфальтобетонных смесей не носят системный характер и не имеют математического описания.

Цель настоящего исследования – решение вопросов, связанных с организацией механизации и автоматизации работ в сфере дорожного строительства, что служит решению задачи снабжения дорожной отрасли высококачественными асфальтобетонными смесями и изделиями с комплексом заданных физико-механических свойств.



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

С целью повышения качества асфальтобетонных смесей и дорожных покрытий используют различные технические и технологические решения [7,8], но неизменным остается рост требований к качеству используемых компонентов. Разработка улучшенной конструкции центробежно-ударной мельницы позволит усовершенствовать технологию изготовления материалов, эффективно применяемых в сфере дорожного строительства.

При анализе результатов разрушения деталей центробежно-ударного измельчителя «Титан» (рис. 1) в работе с асфальтовым гранулятом сделан вывод, что неравномерный износ отбойников и лопастей связан с конструктивными особенностями деталей таких устройств. При этом повреждения носят локальный характер и могут не затрагивать большую часть элемента.



Рис. 1. Изношенный отбойный элемент (а); разрушение лопасти и диска ускорителя (б) при измельчении асфальтового гранулята

Fig. 1. Worn impact element (a); blade and disc failure (b) during asphalt granulate crushing

Для устранения неравномерного износа элементов центробежно-ударного измельчителя проведены опытные исследования. Выявлено, что при использовании лопастей ускорителя существующего вида невозможно получить равномерное распределение потока частиц. Поэтому в конструкцию внесены изменения в виде карманов для самофутеровки (рис. 2).

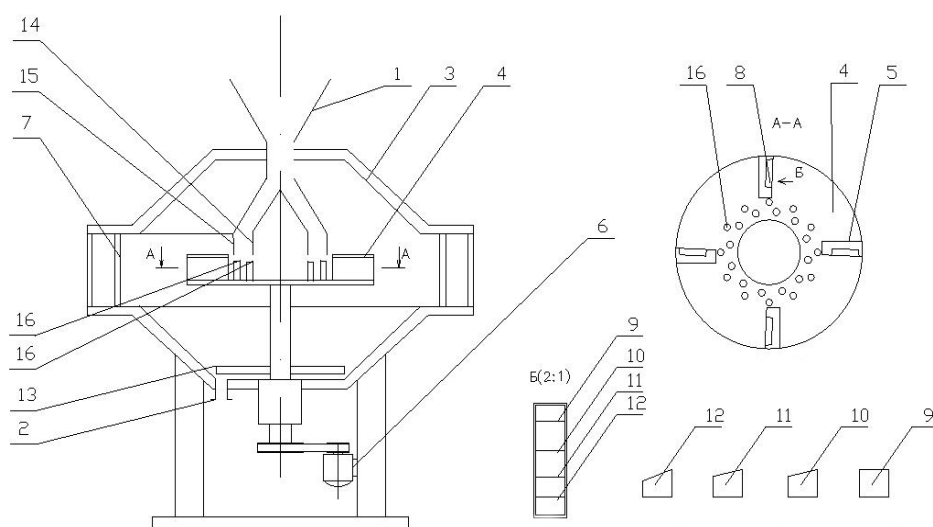
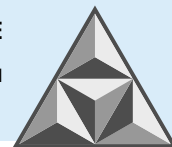


Рис. 2. Конструкция центробежно-ударного измельчителя асфальтового гранулята

Fig. 2. Centrifugal impact crusher design for asphalt granulate.



Такая конструкция центробежно-ударного аппарата включает устройства подачи частиц (поз. 1) и вывода (поз. 2) готового продукта, неподвижный цилиндро-конический корпус (поз. 3). Во внутреннем пространстве корпуса (поз. 3) (в центральной его части) установлен ускоряющий орган (поз. 4) с разгонными лопастями (поз. 5). Вращение ускоряющего органа (поз. 4) происходит от мотора (поз. 6). Отбойные элементы (поз. 7) размещены напротив ускоряющего органа (поз. 4) внутри цилиндрической части корпуса (поз. 3). С целью предотвращения износа в разгонных лопастях (поз. 5) предусмотрены самофутеровочные полости (поз. 8), в которых установлены параллельно направляющие пластины (поз. 9-12). Для выгрузки измельченных частиц в устройство вывода (поз. 3) в нижней части под ускоряющим органом (поз. 4) установлены лопасти (поз. 13). Устройство подачи (поз. 1) измельчаемого асфальтового гранулята представляет собой коаксиально размещенные пустотелые цилиндро-конические камеры (поз. 14, 15). На ускоряющем органе (поз. 4) по концентрическим окружностям установлены ударные пальцы (поз. 16) [9].

Асфальтовый гранулят в процессе помола направляется из устройства подачи через кольцевую щель между поверхностями пустотелых цилиндро-конических камер на вращающийся ускоряющий орган, в область установки ударных пальцев. При столкновении частиц гранулята с ударными пальцами происходит их первичный помол.

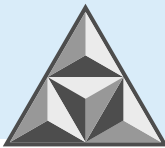
Так как устройство подачи представляет собой соосно установленные пустотелые цилиндро-конические камеры, засыпка гранулята, подвергаемого помолу, происходит не в центральную область ускоряющего органа, где наблюдается нулевая скорость, а в области с относительно высокими скоростями. В этих областях по концентрическим окружностям размещены ударные пальцы. Здесь в процессе вращения возникают скорости, обеспечивающие предварительное измельчение частиц.

После предварительного измельчения частицы захватываются разгонными лопастями, под влиянием инерционных эффектов направляются от центра ускоряющего органа к его краям и распыляются. Сформированный дисперсный поток измельчаемых частиц сталкивается с неподвижными отбойными органами. В процессе такого столкновения частиц происходит их разрушение и образование нового потока – измельченного тонкодисперсного материала, который выгружается через устройство вывода.

Для снижения износа рабочих граней разгонных лопастей в них выполнены самофутеровочные полости. В процессе измельчения эти полости заполняются движущимися частицами и формируют защитную поверхность.

Продление срока службы отбойных элементов обеспечивается режимом ударного взаимодействия, при котором набегающий факел измельчаемых частиц имеет распределение частиц по сечению, близкое к равномерному. В этом случае износ становится регулируемым, а скорость его в значительной степени падает.

Установка в самофутеровочных полостях пластин специальной формы позволяет создавать защитный слой частиц необходимой толщины. Ближе к центру ускоряющего органа верхние стороны направляющих пластин имеют наклон 20° . Это дает возможность образовать стационарный слой по отношению к рабочей части лопасти; при движении частицы поднимаются вверх. Угол наклона других направляющих пластин снижается от 10 до 5° , а периферийная пластина выполняется прямоугольной. Созданный таким ускорителем рассеянный поток характеризует практически неизменная концентрация частиц по высоте.



Для вышеописанной конструкции лопасти нами использована расчетная схема (рис. 3) и выведена дифференциальная функция распределения частиц асфальтового гранулята по углам рассеивания [10].

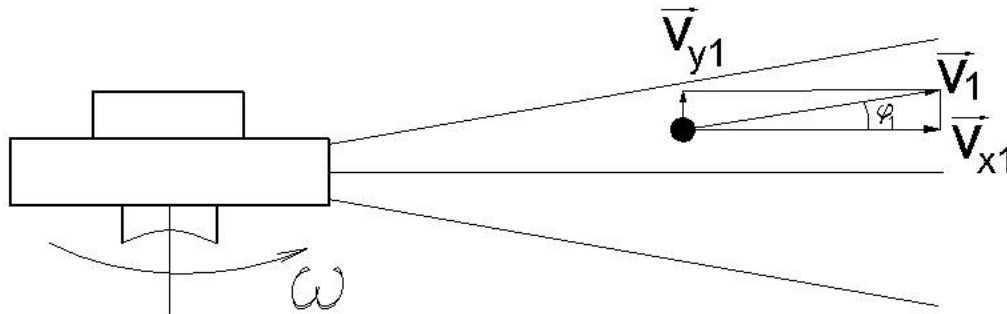


Рис. 3. Расчетная схема образования разреженного потока

Fig. 3. Calculation scheme for the formation of a rarefied flow

Наиболее часто при изучении таких процессов в химической технологии применяют методы гетерогенных сред [11] или стохастический подход [12]. В [13-15] описан экспоненциальный вид зависимости распределения числа частиц расходящегося потока:

$$dN_1 = A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{E_{01}}\right) d\Gamma_1, \quad (1)$$

где N_1 – число частиц разреженного потока;

Γ_1 – фазовый объем, при этом

$$d\Gamma_1 = dv_{x1} dv_{y1} dD_1 = dv_{x1} v_{x1} \operatorname{tg}\varphi dD_1, \quad (2)$$

где D_1 – диаметр частицы;

A_1 – константа, определяемая из условия нормировки:

$$N_1 = \int_{\Gamma_1} dN_1 = \int_{v_{x1\min}}^{v_{x1\max}} \int_{\varphi_{1\min}}^{\varphi_{1\max}} \int_{D_{1\min}}^{D_{1\max}} A_1 \exp\left(-\frac{E_1}{E_{01}}\right) dD_1 d\varphi_1 dv_{x1}. \quad (3)$$

E_1 – энергия частицы, при этом

$$E_1 = \frac{mv_{x1}^2}{2} + \frac{I_z \omega^2}{2} + \frac{m(v_{x1} \operatorname{tg}\varphi_1)^2}{2}, \quad (4)$$

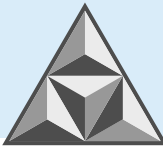
в которой

$$I_z = \frac{8}{5} m D_1^2, \quad \omega = \frac{2v_{x1}}{D_1}, \quad (5)$$

а E_{01} – параметр, определяемый из уравнения энергетического баланса, составленного для момента образования потока.

Таким образом, обобщая формулы (1) – (5), можно получить выражение, представленное в виде функции и описывающее распределение числа частиц:

$$f_1(\varphi_1) = \frac{A_1}{N_1} \int_{v_{x1\min}}^{v_{x1\max}} \int_{D_{1\min}}^{D_{1\max}} \exp\left(-\frac{E_1}{E_{01}}\right) dD_1 dv_{x1}, \quad (6)$$



Функция $f_1(\varphi_1)$ распределения числа частиц по углам рассеивания получена при взятии интеграла от выражения (6).

$$f_1(\varphi_1) = \frac{A_1 k_2}{N_1 k_1} [\operatorname{erf}(\sqrt{\pi} k_1 v_{1\min}) - \operatorname{erf}(\sqrt{\pi} k_1 v_{1\max})], \quad (7)$$

где erf – функция распределения ошибок.

Коэффициенты k_1 и k_2 выражаются следующим образом:

$$k_1 = \sqrt{\frac{\rho(1+\operatorname{tg}^2\varphi_1)}{E_{01}}}, k_2 = D_{1\min} - D_{1\max}. \quad (8)$$

Полученная зависимость (7), в силу возможности описания распределения частиц, определяет места их наибольшего скопления, что может быть использовано для расчета зоны разрушения отбойных элементов.

При создании модели ударного взаимодействия отбойного элемента и разреженного потока воспользуемся расчетной схемой (рис. 4). В присутствии случайных факторов, таких как неоднородность измельчаемого материала, отсутствие упорядоченности движения частиц, появляется необходимость использования вероятностного подхода к описанию данного процесса [16].

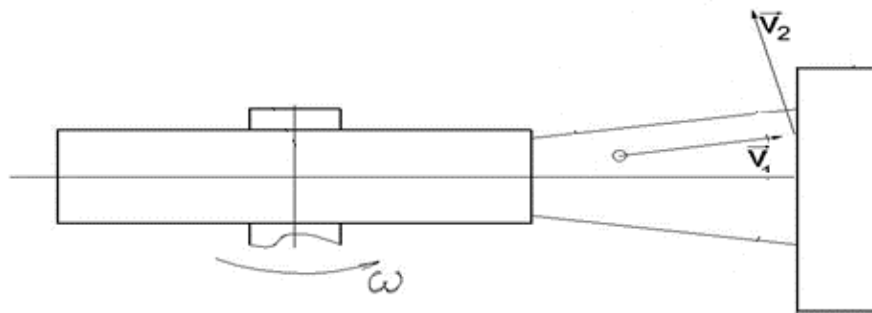


Рис. 4. Расчетная схема образования отраженного дисперсного потока

Fig. 4. Calculation scheme for the formation of a reflected dispersed flow

Распределение частиц отраженного дисперсного потока в элементе фазового объема будет иметь вид:

$$dN_2 = A_2 \exp\left(-\frac{E_2}{E_{02}}\right) d\Gamma_2, \quad (9)$$

где N_2 – число частиц отраженного потока;

Γ_2 – объем, определяемый выражением:

$$d\Gamma_1 = dv_2 dD_2; \quad (10)$$

A_2 – константа, определяемая из условия нормировки;

E_{02} – параметр, определяемый из уравнения энергетического баланса в момент удара.

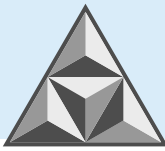
E_2 – энергия частицы, она имеет вид:

$$E_2 = \frac{mv^2}{2} + E_{\text{пов}}, \quad (11)$$

При этом для твердых частиц

$$E_{\text{пов}} = \frac{\zeta_1}{\pi D_2}, \quad (12)$$

а для неоднородных частиц асфальтобетонного гранулята справедливо иное выражение:



$$E_{\text{пов}} = \frac{\zeta_2}{\pi D_2^2} \quad (13)$$

где ζ_1, ζ_2 – коэффициенты, определяемые физико-механическими свойствами рабочего материала.

После обобщения формул (9) – (13) получаем дифференциальную функцию распределения твердых частиц отраженного потока:

$$f_2(D_2) = \frac{A_2}{N_2} \int_{v_{2\min}}^{v_{2\max}} \exp\left(-\frac{E_2}{E_{02}}\right) dv_2. \quad (14)$$

Интегрируя функцию (7), получаем распределение твердых частиц потока по их диаметрам:

$$f_2(D_2) = \frac{-A_2 \sqrt{6} [\operatorname{erf}(\theta v_{2\min}) - \operatorname{erf}(\theta v_{2\max})] \exp(\theta_1)}{N_2 D_2 \sqrt{\frac{D_2 \rho}{E_{02}}}}. \quad (15)$$

Постоянные величины находим из выражений (16) – (18):

$$\theta = D_2 \sqrt{\frac{3D_2 \rho \pi}{E_{02}}}. \quad (16)$$

Для однородных частиц (щебень)

$$\theta_1 = -\frac{\zeta_1}{\pi E_{02} D_2}, \quad (17)$$

для неоднородных частиц (асфальтовый гранулят)

$$\theta_1 = -\frac{\zeta_2}{\pi E_{02} D_2^2}. \quad (18)$$

Средний размер образовавшихся частиц можно рассчитать [16]:

$$\langle D_2 \rangle = \frac{1}{N_2} \int_{\Gamma} D_2 dN_2 = \frac{-A_2 (D_{2\max}^2 - D_{2\min}^2) [\operatorname{erf}(\theta_2 v_{2\min}) - \operatorname{erf}(\theta_2 v_{2\max})] \exp(\theta_3)}{\sqrt{\frac{\rho}{E_{02}}}}, \quad (19)$$

где

$$\theta_2 = \sqrt{\frac{3\pi\rho}{E_{02}}}, \theta_3 = -\frac{3\zeta_2}{\pi E_{02}}. \quad (20)$$

После получения отраженного потока происходит дробление частиц. Они классифицируются по диаметрам и разделяются на два вида – конечный продукт и частицы, требующие повторного дробления.

Число частиц, уносимых газовым потоком (конечный продукт):

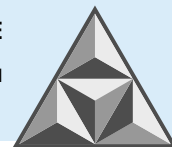
$$N_{izm} = N_2 (D_k - D_{2\min}) f_2(D_2), \quad (21)$$

где D_k – контрольное значение диаметра частиц.

Число частиц, требующих повторного помола:

$$N_{pov} = N_2 (D_{2\max} - D_k) f_2(D_2). \quad (22)$$

Полученные выражения (21) и (22) учитывают количество дорожно-строительного материала, подаваемого на дополнительное измельчение, и могут быть использованы для описания процесса дробления частиц асфальтового гранулята.



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения опытных результатов и их сравнения с математической моделью нами использована конструкция центробежно-ударной мельницы, приведенная выше на рис. 2. В качестве материалов для измельчения применяли щебень, асфальтовый гранулят и асфальтобетонные смеси.

Результаты эксперимента отражены на рис. 5, 6. С целью сравнения следов движения частиц по поверхностям наклонных лопастей и отбойных элементов были использованы деревянные поверхности с нанесенным на них слоем краски. Опыты осуществлены при следующих условиях: $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$, $Q = 100 \text{ кг}\cdot\text{ч}^{-1}$.



Рис. 5. Следы движения частиц материала по поверхностям наклонных лопастей: $a - \beta = 90^\circ$; $b -$ криволинейная
Fig. 5. Traces of the movement of material particles on the surfaces of inclined blades: $a - \beta = 90^\circ$; $b -$ curved

Анализируя результаты износа поверхности окрасочного слоя, представленные на рис. 5, отмечаем неоднородность движения потока частиц измельчаемого материала по лопасти (рис. 5, a). Полученные данные свидетельствуют о том, что в центробежно-ударных мельницах разгонных органов с прямым углом наклона к диску практически все частицы движутся в придисковой зоне лопасти.

По этой причине на участках крепления имеет место интенсивное повреждение как диска, так и разгонной лопатки. Напротив, при движении материала по криволинейным лопастям (рис. 5, b) истирание слоя краски происходит на большей площади, но при этом наблюдается более равномерный износ.

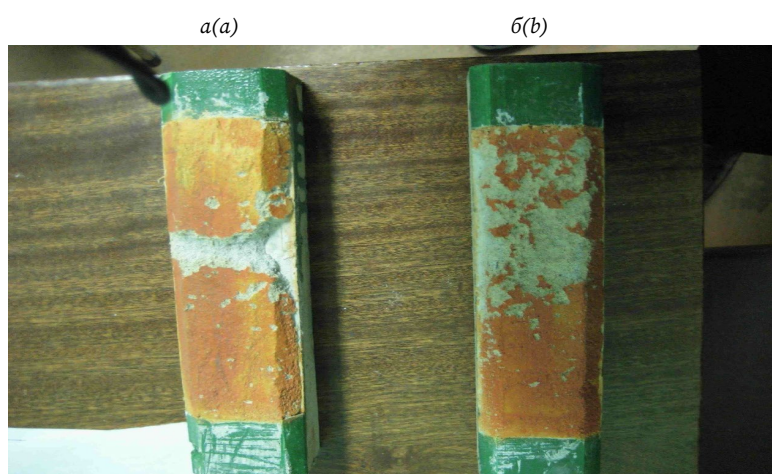
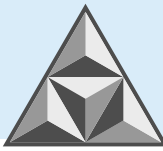


Рис. 6. Фотографии отбойных элементов в эксперименте: $a - \beta = 90^\circ$; $b -$ криволинейная
Fig. 6. Photographs of impact elements in the experiment: $a - \beta = 90^\circ$; $b -$ curved

В свою очередь, по рис. 6 видно, что в случае использования криволинейных лопастей износ распределен более равномерно (рис. 6, b), глубина повреждения становится меньше, однако площадь разрушения возрастает по сравнению с таковой для наклонных лопастей (рис. 6, a).



Адекватность математической модели проверена на промышленной центробежно-ударной мельнице «Титан» при измельчении асфальтового гранулята. Значения параметров: $E_{02} = 2.355$; $A_2 = 2.511 \cdot 10^3$ (рис. 7, а).

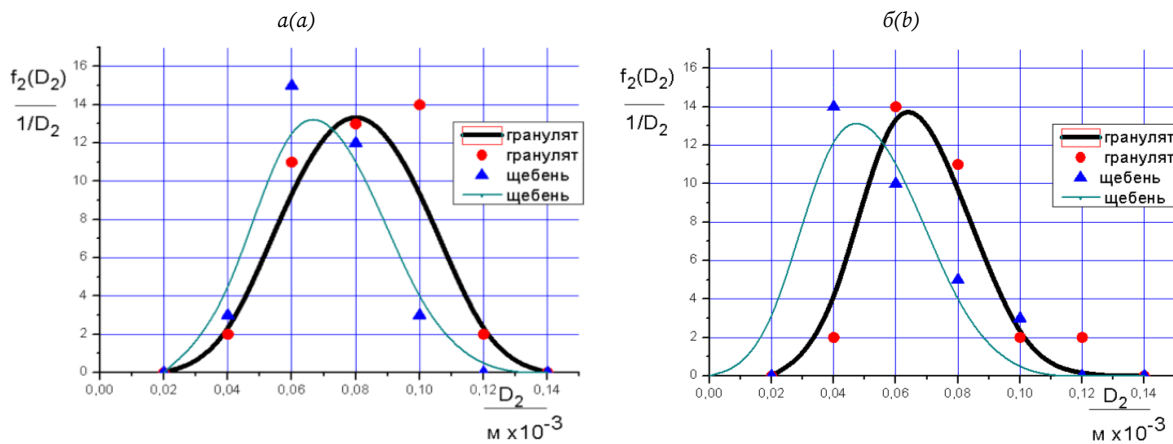


Рис. 7. Дифференциальные функции распределения числа частиц по размерам (а), в том числе – с учетом повторной переработки (б); сплошные линии – расчет, точки – опытные данные
Fig. 7. Differential particle size distribution functions (а), including – taking into account repeated processing (б); solid lines – calculation, dots – experimental data

Проведено сравнение опытных и расчетных данных для распределения числа частиц по размерам с учетом повторной переработки. Данные, полученные опытным путем, использовали для расчетов: $E_{02} = 2.411$; $A_2 = 2.437 \cdot 10^3$ (рис. 7, б).

Из рис. 7, а и б видно, что при более тонком помоле в ходе измельчении щебня расхождение теоретических и полученных опытных данных составляет $\leq 10\%$. Сравнение кривых показывает, что при повторном измельчении средний размер частиц щебня снижается на 28%, а частиц асфальтобетонной смеси – на 19%.

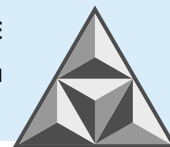
ВЫВОДЫ

Предлагается создание усовершенствованной конструкции измельчителя асфальтового гранулята, применяемого в сфере дорожного строительства. Установлено, что использование криволинейных лопастей в ускорителях приводит к снижению интенсивности износа отбойника за счет формирования равномерного потока частиц по поверхности ударного соприкосновения. Продление срока службы рабочих элементов механизма обеспечивает увеличение межремонтных периодов в работе указанного дорожно-строительного оборудования.

Теоретически обосновано получение равномерно разреженного потока частиц в измельчающем дорожно-строительном оборудовании. Вероятностный подход при математическом моделировании позволяет выявить зону, подверженную наибольшему износу, а также определить фракционный состав дорожного материала с учетом повторной его переработки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Гончаров С.А., Украинский И.С.** Технологии переработки старого асфальтобетона // Дальний Восток: проблемы развития арх.-строит. комплекса. 2024. № 1. С. 76-79.



2. **Полотов К.К., Охунжонов З.Н., Косимов А.Ш.** Переработка старого асфальтобетона // *Экономика и социум*. 2022. № 4-3 (95). С. 777-782.
3. **Лупанов А. П., Басов А.Н., Кондратьева Т.Н.** Определение технологических параметров процесса измельчения асфальтового гранулята в ЭМИ // *Изв. вузов. Химия и химическая технология*. 2009. Т. 52. № 2. С. 122-124.
4. **Шувалов С.И.** Структурная и режимная оптимизация процессов фракционирования порошков: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: спец. 05.17.08: Иваново, 1995. 32 с.
5. **Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н.** Повышение долговечности рабочих органов центробежно-ударных измельчителей // *Российский химический журнал*. 2019. Т. 63. № 3-4. С. 40-44.
6. **Жиров Д.К., Королева М.Р.** Математическое исследование движения сыпучих материалов в ударно-отражательном измельчителе // *Химическая физика и мезоскопия*. 2016. Т. 18. № 3. С. 361-369.
7. **Проваторова Г.В., Рябинина К.М., Вихрев А.В.** Улучшение характеристик асфальтобетонов путем их модифицирования // *Умные композиты в строительстве*. 2025. Т. 6. Вып. 3. С. 48-61.
8. **Герасимов Д.В., Игнатьев А.А.** Опытнo-промышленная линия производства гранулированной асфальтобетонной смеси // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5. Вып. 4. С. 75-89.
9. Пат. № 2653603 РФ. Центробежно-ударная мельница / А.Е. Лебедев, А.В. Дубровин, М.Е. Борисовский, Т.В. Парафина, И.С. Гуданов, С.И. Моднов; опубл. 11.05.2018.
10. **Суханов А.С., Лебедев А.Е., Зайцев А.И., Лупанов А.П.** Математическое описание движения частиц в разреженном потоке центробежного измельчителя ударного действия // *Фундаментальные исследования*. М., 2012. № 3. С. 133-137.
11. **Генералов М.Б.** Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. 592 с.
12. **Зайцев В.А., Мизонов В.Е., Волынский В.Ю.** Применение теории цепей Маркова к моделированию, расчету и оптимизации процессов тепломассопереноса в промышленных аппаратах. Иваново: Изд-во Иван. гос. хим.-тех. ун-та, 2008. 268 с.
13. **Быгев Д.О.** Основы теории и методы расчета оборудования для переработки гетерогенных систем в дисперсно-пленочном состоянии: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: спец. 05.04.09: Ярославль, 1995. 33 с.
14. **Van Kampen N.G.** Stochastic Processes in Physics and Chemistry. Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland Publ. Co. 1984.
15. **Рейф Ф.** Берклевский курс физики. Статистическая физика: пер. с англ.; под ред. А.И. Шапошников, А.О. Вайсенберга. М.: Наука, 1986. Т. 5. 336 с.
16. **Лебедев А.Е., Зайцев А.И., Петров А.А., Шеронина И.С., Суханов А.С.** К расчету процесса ударного взаимодействия потока твердых частиц с преградой // *Изв. вузов. Химия и химическая технология*. 2011. Т. 54. Вып. 6. С. 105-106.

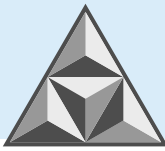
Поступила в редакцию 06.03.2026

Одобрена после рецензирования 02.04.2026

Принята к опубликованию 28.04.2026

REFERENCES

1. **Goncharov, S.A. and Ukrainskii, I.S** (2024), Technologies for processing old asphalt concrete, *The Far East: Problems of Architectural and Construction Complex Development*, no. 1, pp. 76-79 (in Russian).
2. **Polotov, K.K., Okhunzhonov, Z.N. and Kosimov, A.Sh.** (2022), Recycling of old asphalt concrete, *Economics and Society*, no. 4-3 (95), pp. 777-782 (in Russian).
3. **Lupanov, A.P., Basov, A.N. and Kondrat`eva, T.N.** (2009), Determination of technological parameters of the process of grinding asphalt granulate in EMI, *Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved. Khim. Khim. Tekh [ChemChemTech]*, vol. 52, no. 2, pp. 122-124 (in Russian).
4. **Shuvalov, S.I.** (1995) Structural and regime optimization of powder fractionation processes: abstract. diss. ... doc. eng. sc.: 05.17.08. Ivanovo, 32 p. (in Russian).

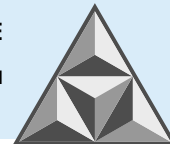


5. **Kolobov, M. Iu., Chagin, O.V. and Blinichev, V.N.** (2019), Increasing the durability of the working bodies of centrifugal-impact grinders, *Russian Chemical Journal*, vol. 63, no. 3-4, pp. 40-44 (in Russian).
6. **Zhirov, D.K. and Koroleva, M.R.** (2016), Mathematical study of the movement of bulk materials in an impact-reflection grinder, *Chemical Physics and Mesoscopy*, vol. 18, no. 3, pp. 361-369 (in Russian).
7. **Provatorova, G.V., Riabinina, K.M. and Vikhrev, A.V.** (2025), Improving the performance characteristics of asphalt concrete through their modification, *Smart Composite in Construction*, vol. 6, iss. 3, pp. 48-61 (in Russian).
8. **Gerasimov, D.V. and Ignatyev, A.A.** (2024), Pilot production line for granulated asphalt concrete mix production, *Smart Composite in Construction*, vol. 5, iss. 4, pp. 75-89 (in Russian).
9. **Lebedev, A.E., Dubrovin, A.V., Borisovskii, M.E., Parafina, T.V., Gudanov, I.S. and Modnov, S.I.** (2018), Centrifugal impact mill, IT, Patent EP 2,653,603 C1.
10. **Sukhanov, A.S., Lebedev, A.E., Zaitsev, A.I. and Lupanov, A.P.** (2012), Mathematical Description of Particle Motion in a Rarefied Flow of a Centrifugal Impact Grinder, *Fundamental Research*, Moscow, no. 3, pp. 133-137 (in Russian).
11. **Generalov, M.B.** (2002), Mechanics of solid dispersed media in chemical technology processes. Kaluga: N. Bochkareva Publishing House, 592 p. (in Russian).
12. **Zaitsev, V.A., Mizonov, V.E. and Volynskii, V.Iu.** (2008), Application of Markov chain theory to modeling, calculation, and optimization of heat and mass transfer processes in industrial apparatuses. Ivanovo: Ivanovo State Technical University, 268 p. (in Russian).
13. **Bytev, D.O.** (1995), Fundamentals of theory and methods of calculating equipment for processing heterogeneous systems in a dispersed-film state: abstr. diss. ... doc. eng. sc.: 05.04.09. Yaroslavl, 33 p. (in Russian).
14. **Van Kampen, N.G.** (1984), Stochastic Processes in Physics and Chemistry. Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland Publ. Co.
15. **Reif, F.** (1986), Berkeley Course in Physics. Statistical Physics; translated from English; **ed. by A.I. Shaposhnikov and A.O. Vaisenberg.** Moscow: Nauka, vol. 5, 336 p. (in Russian).
16. **Lebedev, A.E., Zaitsev, A.I., Petrov, A.A., Sheronina, I.S. and Sukhanov, A.S.** (2011), Calculation of the Impact Interaction of a Stream of Particles with an Obstacle, *Izv. Vyssh. Ucheb. Zaved. Khim. Khim. Tekh. [ChemChemTech]*, vol. 54, no. 6, pp. 105-106 (in Russian).

Received 06.03.2026

Approved 02.04.2026

Accepted 28.04.2026



ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 727.055

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-78-109

Функционально-технологические особенности архитектурного проектирования при инклюзивном обучении в зданиях общеобразовательных школ

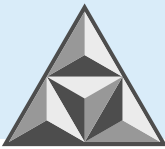
О.Н. Чеберева, Е.Ю. Стрельникова

Ольга Николаевна Чеберева, Елена Юрьевна Стрельникова*

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет,

Нижний Новгород, Российская Федерация

*chebereva@mail.ru, lena.str.2011@yandex.ru**



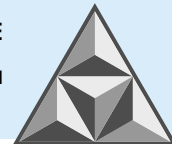
Инклюзивный образовательный процесс в России нуждается в глубоком и качественном изменении архитектурно-пространственной структуры школьного здания: требуются функциональные группы помещений высокоспециализированного назначения. В действующих нормативных документах по проектированию зданий образовательного назначения многих стран, в том числе – Англии, Ирландии, Китая, США, регламентирована их номенклатура и параметры. В российских источниках присутствуют только косвенные сведения с неполным отражением необходимых показателей. Сопоставление данных из указанных источников позволило выявить противоречия как в психолого-педагогической области, так и в проектировании, что стало основанием для формирования объемно-планировочной структуры инклюзивной школьной архитектурной среды. Предлагаются три пространственно-технологические модели инклюзивного образовательного процесса. Их выбор для конкретного учреждения зависит от градостроительной, демографической и социальной ситуации, местоположения организации, ресурса внутренних площадей и прилегающего участка, реальной вместимости. Исходя из этих факторов, возможна организация системы архитектурной модернизации от внедрения одного-двух классов до возведения блок-пристройки, связанной с корпусом школы крытым отапливаемым переходом. Использование авторских рекомендаций и предлагаемых архитектурных решений при возведении новых школ и/или реконструкции качественно повысит уровень внедрения педагогических инклюзивных методик.

Ключевые слова: архитектурное проектирование, школьная среда, инклюзивное обучение, расстройство аутического спектра, ресурсный класс, комната сенсорной депривации

Для цитирования:

Чеберева О.Н., Стрельникова Е.Ю. Функционально-технологические особенности архитектурного проектирования при инклюзивном обучении в зданиях общеобразовательных школ // *Умные композиты в строительстве*. 2026. Т. 7, вып. 2. С. 78-109. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-78-109



REVIEW

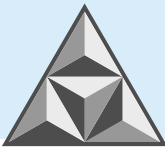
DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-78-109

Functional and technological features of architectural design for inclusive education in general education school buildings

O.N. Chebereva, E.Iu. Strelnikova

Olga Nikolaevna Chebereva, Elena Iurevna Strelnikova*

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation
*chebereva@mail.ru, lena.str.2011@yandex.ru**



The inclusive educational process in Russia requires a profound and qualitative transformation of the architectural and spatial structure of school buildings, necessitating functional clusters of highly specialized premises. The current design standards and regulatory documents for educational facilities in a number of countries – including England, Ireland, China, and the United States – already stipulate the nomenclature and parameters of such spaces. Russian sources, by contrast, provide only indirect references with an incomplete reflection of the required indicators. A comparative analysis of data from the aforementioned sources has revealed contradictions in both the psychological-pedagogical domain and the field of architectural design, which served as the basis for developing a spatial planning structure for an inclusive school architectural environment. Three spatial-technological models of the inclusive educational process are proposed. The choice of a model for a given institution depends on the urban planning, demographic, and social context, the organization's location, the available internal floor space and adjacent site area, and the actual building capacity. Based on these factors, it is possible to organize a system of architectural modernization ranging from the introduction of one or two inclusive classrooms to the construction of an annex block connected to the main school building by a covered, heated walkway. The application of the author's recommendations and the proposed architectural solutions in the construction of new schools and/or the reconstruction of existing ones will significantly enhance the implementation of inclusive pedagogical methodologies.

Keywords: architectural design, school environment, inclusive learning, autism spectrum disorders, resource class, sensory deprivation room

For citation:

Chebereva O.N., Strelnikova E.Iu. Functional and technological features of architectural design for inclusive education in general education school buildings // *Smart Composite in Construction*. 2026. Vol. 7, Iss. 2. P. 78-109. URL: <https://comincon.ru/en/nauka/issue/7391/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2026-7-2-78-109



ВВЕДЕНИЕ

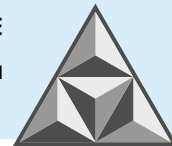
Понятие «инклюзивное образование» закреплено в ч. 2 ст. 27 ФЗ РФ № 273 «Об образовании в Российской Федерации» как «право на обеспечение равного доступа к образованию для всех обучающихся с учетом разнообразия особых образовательных потребностей и индивидуальных возможностей» [1]. Согласно ч. 2 ст. 79 ФЗ № 273, «общее образование обучающихся с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), инвалидов (детей-инвалидов) осуществляется в организациях образовательной деятельности по адаптированным общеобразовательным программам (АООП), в соответствии с рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии. В таких организациях создаются специальные условия для получения образования указанными обучающимися» [1, 2]. При этом образование обучающихся с ОВЗ может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных классах, группах или организациях, осуществляющих образовательную деятельность [1, 3].

Анализ документов гуманитарно-педагогического направления, действующих в РФ [1, 4-7], дает основания для формирования и успешного использования в общеобразовательных школах классов и помещений или их совокупности, которые позволят эффективно реализовать инклюзивное образование детей с расстройствами аутистического спектра (РАС) без нарушений потребности иных групп адресатов здания (нейротипичные обучающиеся, учителя, администрация, родители и т.п.) [8, 9].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Рекомендации Министерства просвещения России (от 31.07.2025 г.) поддерживают развитие системы инклюзивного образования на всех уровнях при условии, что это не механическая инклюзия, когда ребенок с особыми образовательными потребностями зачисляется в общеобразовательную группу или класс, а обучающемуся данной категории создаются все необходимые условия обучения. Только в таком случае инклюзивное образование может быть эффективным как для самого ребенка с ОВЗ или инвалидностью, так и для других детей в группе, классе [10]. В этом документе отмечается важность создания качественного доступного образования в максимальной близости от места проживания семьи и развитие в стране существующей сети школьных зданий, а также создание в общеобразовательных школах специальных условий для получения образования обучающимися с ОВЗ. Нормативная база нашей страны по проектированию зданий общеобразовательных организаций и объемно-планировочная структура функционирующих школ лишь отчасти реализуют требования гуманитарно-педагогической области. В СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций» полностью отсутствуют какие-либо требования по организации инклюзивного обучения, за исключением необходимости формирования пространства внутри здания и на пришкольном участке [7].

В «Руководстве по дизайну образовательных пространств» рекомендуют организовывать лишь ресурсный кабинет с уголком сенсорной разгрузки или отдельной сенсорной комнатой. Остальные помещения, требующиеся для построения эффективного и качественного инклюзивного образовательного пространства, данный источник относит к необходимым только для учреждений сегрегационного типа – коррекционных школ и/или школ интернатов. Приводятся планы успешно организованных кабинетов с фотофиксацией их интерьеров и



кратким описанием технологии, оборудования и особенностей в действующих организациях РФ [11]. Аналогичную информацию можно найти в «Руководстве по дизайну образовательного пространства» для образования обучающихся с ОВЗ [12].

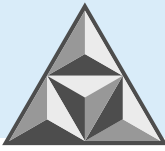
В Японии, США, Англии, Ирландии, Дании, Италии, Швеции система инклюзивного обучения практикуется с 1960-1970-х годов XX столетия, что позволило накопить достаточно большой опыт организации структуры зданий школ [8-10, 13-15]. При обучении детей с особыми потребностями используют образовательные технологии с доказанной эффективностью, требующие номенклатуры дополнительных помещений [16-20]. Требования к зданию школы, обеспечивающего качественные условия для инклюзивного и коррекционного обучения, подробно изложены в зарубежных документах: «Проектирование для детей с ограниченными возможностями и особыми потребностями», Англия (*Designing for disabled children and children with special educational needs*); «Руководство по проектированию школ. РПШ-02-04. Начальное и среднее образование. Специальные условия для детей с особыми потребностями при обучении», Ирландия (*School design guide. SDG-02-04. Primary & post primary school. Specialist accommodation for pupils with special educational needs*); «Стандарты проектирования школ. School design standards. Государственные школы Альбукерке. Проектирование и конструкции», США (*School design standards. APS Facilities, Design+construction*); «Стандарт проектирования школ для детей с особыми потребностями при обучении», КНР (JGJ-76-2019. Standard for design of special education schools); «Стандарт 156 – 2011. Стандарты строительства школ для детей с особыми потребностями», КНР (*Construction Standard 156-2011. Special education school construction standards*). Перечень помещений и основные данные по ним приведены в табл. 1. В руководствах Англии и Ирландии по архитектурному проектированию приводятся решения как компактной планировочной группы, состоящей из 1-3 помещений, так и встроенно-пристроенных специализированных блоков, организованных посредством перепрофилирования существующих групп учебных помещений на первом-втором этажах школы, или развитой по горизонтали и вертикали совокупности помещений [8, 21, 22]. Анализ зарубежных рекомендаций выявил много общих требований, выдвигаемых к архитектурно-планировочному и функционально-технологическому проектированию инклюзивной школы, принимая во внимание технологическую составляющую и дизайн помещений. К основным требованиям отнесем:

А. Требования к пространству школы:

- вход – общий и запасной;
- простая и логичная схема маршрутов передвижения в здании (не криволинейные планировочные решения);
- предсказуемость, гибкость, визуальная связь между помещениями (перегородки и двери с остеклением для создания «предсказуемого» пространства);
- учет сенсорной составляющей основных блоков помещений;
- наличие замкнутых двориков, атриумов.

В. Требования к дизайну:

- Нивелирование и максимально возможное снижение количества, интенсивности бликов, отражений, теней и иных помех для зрительного восприятия;
- Достаточный для слабовидящих контраст поверхностей (стены/пол/парты/столы);
- Простая и доступная навигация по зданию и участку;



- Выбранные цветовые решения не должны оказывать чрезмерного воздействия на людей с ограниченным зрением и стимулировать сенсорную чувствительность учащихся к раздражителям окружающей среды;

- Однотонная отделка без рисунков;

- Приглушенная пастельная цветовая гамма;

- При выборе типа отделки следует учитывать степень поглощения звука низких и высоких частот;

- Полы – универсальный ударопрочный акустический линолеум или винил с минимальной степенью скольжения;

- Уровень шума окружающей застройки – не более 55 дБ днем;

- В коридорах, холлах используют материалы с коэффициентом звукопоглощения ≥ 0.5 , а для стен и потолков – с коэффициентом звукопоглощения 0.3;

- Уровень шума в классе ≤ 40 дБ.

C. Требования к вентиляции / отоплению:

- Оборудование выбирают с легкой и быстрой регулировкой, максимально тихие при эксплуатации;

- Качественная и эффективная естественная и принудительная вентиляция;

- Для радиаторов предусматривают ниши в стенах или используют защитные экраны.

D. Температурный режим: $+20^{\circ}\text{C}$ [23] или $+23^{\circ}\text{C}$ [24].

E. Требования к естественному освещению:

- Рассеянное освещение;

- Отсутствие бликов, наложения теней, засвеченных участков пространства, особенно в зоне доски;

- Жалюзи из солнцезащитного материала светлого сетчатого.

F. Требования к искусственному освещению:

- Светильники с низким уровнем яркости, исключая мерцание и нежелательный шум;

- В учебных помещениях и кабинетах специалистов установлено светодиодное освещение.

Обучение детей проводят в классах с малой наполняемостью. Согласно требованиям функционального зонирования, помещения располагают преимущественно на первом этаже, и они часто имеют отдельный выход на территорию [10]. В руководстве *School design guide* (Ирландия) также рекомендуется предусмотреть место для гардероба, смежно располагать тихую комнату, санузел, кабинет индивидуальной работы, помещения для хранения [22].

Одной из неотъемлемых объемно-планировочных единиц является сенсорная комната. К ее организации предъявляют требования:

- Окно (при его наличии) должно располагаться на большой высоте и обеспечивать полное затемнение, при необходимости [22];

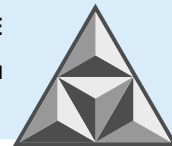
- Стандартное оборудование: мягкие подушки, коврики с поролоновым наполнителем, настенный/потолочный проектор, зеркальный шар, волоконная оптика, звуковая система, диффузоры для ароматерапии, пузырьковая колонна, зеркала [22];

- Цвет стен – белый [8, 22];

- Соотношение сторон в плане – 1:2 [23];

- Стены: высота 1.2 м, изготовлены из мягких материалов [23];

- Полы: с эластичным напольным покрытием [23].



Другим помещением для реализации инклюзивного обучения является мягкая комната. Положения о ее наличии есть не во всех источниках, но указывается, что для нее обязательно требуется естественное освещение и большая высота подоконника.

Тихая комната и комната депривации частично взаимозаменяемы и выполняются согласно нижеперечисленным характеристикам:

- Возможно без естественного освещения [22];
- Большая высота подоконника [22];
- Стены: из мягких материалов [23];
- Полы: эластичное напольное покрытие [23];
- Интерьер: светлые оттенки [23].

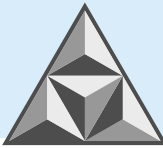
Комната сенсорной депривации – всегда обособленное пространство с функцией индивидуального обучения, может быть отделена от класса или являться его частью, выполненной в нише или т.п.

Комната овладения социально-бытовыми навыками (далее – СБО) рекомендована всеми источниками и требования к ней близки: оборудуется небольшой кухней длиной 4.0 м, оснащается духовкой, вытяжкой, плитой, мойкой, холодильником, посудомоечной машиной, микроволновой печью. Необходим полный аналог жилого пространства человека.

Требования по организации прилегающего участка во многих положениях близки:

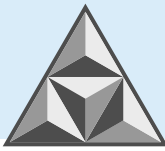
- Классы открытого типа с навесом; $S = 55-65 \text{ м}^2$ [25] и $S = 50 \text{ м}^2$ [22];
- Теплица [25];
- Сенсорный сад; $S = 80 \text{ м}^2$ [25] и $S = 100 \text{ м}^2$ [22];
- Игровые площадки с сенсорным оборудованием и делением на «тихую» и активную зоны [22];
- Тактильные дорожки или поручни в качестве вспомогательного средства для обучающихся с нарушениями зрения [22];
- Реабилитационная тренировочная площадка; $S \geq 4 \text{ м}^2$ на человека [23].

Объемно-планировочные решения и параметры помещений инклюзивного и/или коррекционного обучения, описанных в источниках зарубежных стран, систематизированы и сведены в табл. 1. Типология помещений, обеспечивающих реализацию обучения детей с РАС в соответствии с современными педагогическими методиками, их взаимосвязь между собой в той или иной степени отражены в документах, регламентирующих проектирование зданий смежной типологии: Пособие 4.05-95 «Школы-интернаты для детей-инвалидов» [21], СП 150.13330.2012 «Дома-интернаты для детей инвалидов» [26], РМД 31-15-2012 «Руководство по проектированию специальных (коррекционных) образовательных учреждений для обучающихся, воспитанников с ограниченными возможностями здоровья» [27], «Рекомендации по проектированию образовательных учреждений для детей, нуждающихся в психолого-педагогической и медико-социальной помощи» [28]. Параметры помещений, максимально близких по функциональному назначению к рекомендуемым за рубежом, приведены в табл. 1. Цветом выделены пространства, которые присутствуют в большинстве источников. Сводные данные отражают менее благоприятные условия (недостаточная удельная площадь класса, узкая типология помещений) в российских нормах. Наиболее полно представлены помещения (площадь, высота, зонирование, оборудование, взаимосвязь, техническая составляющая) в английских и ирландских руководствах [22, 25].

**Таблица 1.** Параметры и основные характеристики помещений обучения детей с РАС**Table 1.** Parameters and main characteristics of educational facilities for children with ASD

		«Designing for disabled children (...)» Бирмингем, Англия [25]	«School design guide (...)» Таллмор, Ирландия [22]	«Стандарты строительства школ (...)» Китай [23; 24]	«School design standards (...)» Альбуркерк, США [8]	Пособие к МГСН 4.05-95 «Школы-интернаты для детей-инвалидов» 4.05-95 [23]	«Рекомендации по проектированию (...)» [21]	СП 150.1.3330.2012 «Дома-интернаты для детей (...)» [26]	РМД 31-15-2012 «Руководство по проектированию (...)» [27]
Количество детей в ресурсном классе, чел.		6-12	6	8	-	10	6-9	8-10	10-12
Класс	S, м ²	50-65	70	58-76	46-78	≥45	50+14	24-36	42-62
	H, м		3.15	3.4			≥3		
Удельная площадь, м ² на 1 чел.		7.25	11.67	8.38	-	4,50	7.14	3.30	4.72
Помещения хранения обучающего материала	S, м ²	4-6	на класс – 7.8 + общая – 10	+	8	-	24	40	18, одно на 2-3 класса
	H, м		2.8				≥3		
Кабинет индивидуальных занятий	S, м ²	9-16	-	15	12	-	-		12
	H, м			2.7-3.0					
Сенсорная комната	S, м ²	одна – 24-32 две – 12-16	20	122	-	140	16.0+7.7*	18-36	18
	H, м	2.8	3.15			-	-		
Мягкая игровая комната		S	24	-	-	-	-	-	-
Тихая комната, в т.ч. – для индивид. занятий	S, м ²	9-12, одна на 2 класса	11-12	+			14+10	18-24	18
	H, м		3.15				≥3		
Комната депривации		S, м ²	+	12	-		12	24	20+8
Комната практических занятий	S, м ²	60-65	50	61			7.5-9.0 на 1 чел.	60+18	36-72
	H, м		3.15				≥3		
Комната СБО	S, м ²	20-25	50	65	-	≥66	36.0+14.4	50+16 или 36+10	50+7 или 80
	H, м		3.15				≥3		
Место хранения колясок, технических средств реабилитации			+	-	-	-	-	3 на жил. ячейку	12
Учительская	S, м ²	9-12	20	+	-	-	36		
	H, м		2.8				≥3	36	36
Помещения терапии		S, м ²	10-30	-	+		11.8-32.4	15-22	18-36
Зал ЛФК (или физкультурный)		S, м ²	100-120	-	56	-	53-100	36/72+12	24-36 или 162

В России на сегодня функционируют инклюзивные школы, реализующие обучение детей с РАС и иными заболеваниями [29, 30]. Процесс успешно реализуется в зданиях различной архитектуры зданий: типовой постройки периода СССР (ГБОУ «Школа № 1321 «Ковчег» г. Москва; МБОУ СОШ № 92 г. Воронеж; МАОУ «Школа № 96 «Эврика-развитие» г. Ростов-на-Дону), в школах 1990-2010х гг. (МБОУ Гимназия им. Платонова, г. Воронеж, 1999 г.; Образовательный центр Гимназия № 6 «Горностай», г. Новосибирск, 1992 г.; ГБОУ «Школа № 2009», г. Москва, 2002 г.), в зданиях школ последнего десятилетия, рассчитанных на большую



вместимость, построенных по уникальным проектам (Реабилитационный центр для детей, страдающих ранним аутизмом, арх. А. Чернихов, 1996 г.; школа-интернат «Абсолют» в деревне Райсеменовское, арх. С. Кулиш, 2011 г.; Образовательный комплекс «Точка будущего», арх. Ю. Борисов, 2015-2020 гг.).

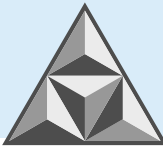
СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций» регламентирует параметры здания и прилегающего участка, их доступность для нейротипичных обучающихся и маломобильных групп населения (МГН, в большинстве случаев лиц, использующих кресла-коляски), для детей, нуждающихся в психолого-педагогической помощи, а также кабинеты педагога-психолога и учителя-логопеда [7]. В документе приводятся данные о доступности территории школы для МГН (транспортная, пешеходная, отсутствие перепадов высоты на путях, открывание калиток, навигационная доступность, выполнение лестниц и пандусов на основании СП 59.13330), а также информация о необходимости выполнения помещений и классов с возможностью перемещения по ним человека на кресле-коляске [7]. Информация об организации архитектурно-планировочных условий проведения инклюзивного обучения лиц с особыми образовательными потребностями (ООП) в данном источнике отсутствуют.

Изучение нормативной и рекомендательной базы по проектированию зданий и учреждений, реализующих функции обучения, воспитания, ухода, реабилитации детей с аутизмом, показало, что в данной области создания архитектурной среды за последние 30 лет в нашей стране произошли изменения. Все чаще образование и воспитание детей с РАС реализуется в организациях общеобразовательного типа. Во многих документах указывается, что необходимо применять на практике инклюзивное обучение в школах по месту жительства ребенка с ОВЗ, для чего требуется иметь широкий типологический набор пространств, позволяющий осуществлять образовательные методы и технологии с доказанной эффективностью (комплексная программа *TEACCH*) [1, 4-6, 17, 31]. Российские документы, описывающие помещения с требуемым оборудованием и характеристиками, относятся к проектированию коррекционных школ, школ-интернатов, что само по себе противоречит понятию «инклюзия». Многие описанные помещения и классы, позволяющие реализовать обучение, имеют ряд недостатков: малая удельная площадь, оборудование не отвечает запросам специалистов; нерациональное функциональное зонирование; помещения относятся к разным функциональным блокам, что затрудняет кратчайшие связи между ними и т.д. [21, 27, 28, 31-34]. Отметим, что действующие нормы в большей степени регламентируют запрос на формирование пространств для обучающихся с НОДА¹, ЗПР², ЗППР³, проблемами слуха или зрения, в то время как формирование архитектурной среды для ребят с аутизмом, ментальными нарушениями (МН) освещается в нормативной и рекомендательной литературе не во всех аспектах. В документах по проектированию общеобразовательных организаций приводятся лишь краткие данные о доступности объектов и их территорий для МГН, а также регламентируется наполняемость классов обучающимися с различными нозологиями [7, 11, 19]. Понятия «инклюзия», «ресурсные классы/зоны», кабинет СБО, сенсорные комнаты и иные помещения для реализации АООП обучающихся с ОВЗ в зданиях общеобразовательных школ описаны кратко и их наличие не нормируется.

¹ НОДА – нарушения опорно-двигательного аппарата

² ЗПР – задержка психического развития

³ ЗППР – задержка речевого развития



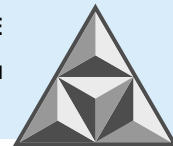
Опираясь на исследования специалистов в областях инклюзивной педагогики, дефектологии, а также на архитектурно-строительные регламенты (отечественные и зарубежные), можно определить наименования помещений, пространств, кабинеты, которые отсутствуют сегодня в нормах по проектированию общеобразовательных школ, но требуются для формирования качественного инклюзивного архитектурного пространства (рекомендации по объемно-планировочной организации выполнены с учетом действующих в РФ нормативных документов [4, 6, 7, 19, 29]):

Автономный (малокомплектный) класс – предназначен для обучения детей с РАС и иными ОВЗ. Класс комплектуется обучающимися разных возрастов, но с близкими уровнями когнитивного развития, одного года обучения, при этом обучающиеся являются отдельным классом-комплексом. В здании школы необходимо проектировать отдельное помещение для каждого уровня образования (начальный, основной, средний). Подобная модель требует модернизации пространства школы посредством организации (выделения) отдельного кабинета [34].

Ресурсный класс (РК) – учебный кабинет, в котором обучаются и получают поддержку дети с РАС и иными ООП, зачисленные в обычные общеобразовательные классы, разного возраста, из разных классов, обучающиеся по различным вариантам АООП. Обучающиеся не являются отдельным классом-комплексом. Соотношение времени, которое ребенок проводит в общеобразовательном классе и в РК, зависит от особенностей его поведения, уровня развития функциональных навыков (социальных, коммуникативных, бытовых), учебной деятельности. Занятия проводятся или индивидуально с тьютором, или группой [34]. Модель требует модернизации пространства школы посредством организации дополнительного кабинета со специализированными функциональными зонами.

В методическом пособии по организации РК «Включение детей с РАС в систему общего образования: инклюзивная модель «ресурсный класс» (опубл. в 2024 г.) авторы рекомендуют располагать учебный кабинет рядом со входом, лестницей, санузлами, что способствует облегчению ориентации, совершенствованию самостоятельности обучающихся с РАС в здании школы. Наличие близкорасположенного входа/выхода создает условия для «тихого» (сенсорно ненагруженного входа), а также позволяет соблюсти требования ко времени и скорости эвакуации в чрезвычайной ситуации, учитывая разную мобильность обучающихся с ООП [34].

С точки зрения социализации необходимо обеспечить возможность обучающимся РК наравне с другими пользоваться той же входной группой, раздевалкой, рекреацией во время перемены, что отражает понятие «инклюзивное обучение». При функциональном разделении здания школы на блок начальной и старшей/средней школы РК рационально приближать к одной из входных групп по ступеням обучения, учитывая специфические особенности учреждения, возрастной контингент конкретного ресурсного класса, акустическую составляющую ближайших помещений по вертикали и горизонтали здания, конструктивные решения, пешеходные связи и маршруты с остальными функциональными блоками, ориентацию выхода на прилегающий участок (использовать вход, максимально приближенный к входной группе на территорию). Важно, чтобы кабинет РК находился на небольшом расстоянии, в доступности от общеобразовательных классов, в которые зачислены обучающиеся. Если в школе есть комната сенсорной разгрузки, кабинеты логопеда, дефектолога, психолога, целесообразно располагать в непосредственной близости. Таким образом, основополагающее условие организации РК – доступность инфраструктуры школы для обучающихся с РАС и иными ООП.



Учитывая особенности восприятия окружающего пространства детьми с аутизмом вне противоречий с отечественными нормами и рекомендациями, используя опыт зарубежного проектирования аналогичных помещений, требуется организовать функциональное зонирование РК из четырех частей:

– *рабочее место педагога*: увеличенное относительно стандартно проектируемого в учебном кабинете, что позволит выполнять разнообразные задачи: изготавливать адаптированные учебные материалы, применять передовые образовательные методы, создания, систематизации и структуризации наглядных пособий для каждого конкретного обучающегося;

– *зона индивидуальной работы с тьютором*: необходима для проведения интенсивной работы с каждым учеником в отдельности;

– *зона групповой работы*: организуется для формирования навыков, необходимых для обучения;

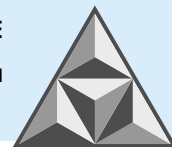
– *сенсорный уголок*: требуется в классе для проведения индивидуального режима чередования учебной и сенсорной нагрузки, отдыха с целью обеспечения максимально комфортного и продуктивного состояния ученика в течение учебного дня [12, 32, 34].

Планировочная организация РК должна соответствовать принципам структурирования, логичности, последовательности пространства, обеспечивающих простоту адаптации и обучения ученика с РАС [15, 20, 34].

Площадь *рабочей зоны педагога* определим, опираясь на перечень компонентов предметно-пространственной среды для обучающихся с РАС (в соответствии с предложениями ВКР А.Д. Степаненко⁴ «Проектирование предметно-пространственной среды для обучающихся с РАС в образовательной организации» [32]. К необходимому отнесем: цветной принтер, ламинатор с реверсом, биговальный аппарат, брошюратор. Средние параметры варьируются: длина 360-500 мм, ширина 112-373 мм. Дополнительное оборудование для учителя РК в сравнении с типовым классом общеобразовательной школы, большое количество требующегося учебного материала и пособий определяют необходимость заложения в проекте увеличенного рабочего стола учителя и мест хранения обучающего материала, техники, оборудования, вспомогательных средств [32, 34]. В свою очередь, данный факт является определяющим укрупнение «площади расстановки дополнительной мебели (шкафы, тумбы и др.) для хранения учебных пособий и оборудования рабочего места преподавателя» (в сравнении с типовым классом). Автор предлагает рассчитывать площадь рабочего места преподавателя и мест хранения в сумме 12-14 м² против 8-10 м², закладываемых в настоящее время при проектировании учебного кабинета.

Зона индивидуальной работы способствует концентрации обучающегося, повышает успешность в обучении, ограждает от различных сенсорных стимулов. Назначение определяет оборудование: парты с «экранами» по наружному периметру, используемые для проведения индивидуальной работы, в том числе с тьютором [11, 12]. К необходимым характеристикам (которые есть не у каждой модели) отнесем: простая регулировка по росту; мобильность; возможность быстрого закрепления/снятия дидактического материала на вертикальных поверхностях; наличие мест хранения, избавляющее от визуального «шума». Поставщики предлагают разнообразные цветовые решения материала для изготовления столов. Отметим, что в соответствии с «Рекомендациями по дизайну образовательных пространств...» наиболее

⁴ методист ГБОУ Школы 2070 им. Героя Советского Союза Г.А. Вартаняна, специалист по прикладному анализу поведения, магистр педагогического образования в сфере образовательного дизайна, эксперт по оказанию помощи детям с РАС "Контакт"



оптимальными для создания современных интерьеров считаются нейтральные цвета с единым тональным решением, без ярких акцентов, что является актуальным при выборе мебели [11, 12].

Сенсорный уголок в РК – необходимая часть класса, позволяющая педагогу или тьютору во время урока в кратчайший срок помочь ребенку с аутизмом предотвратить мелтдаун⁵: наполнить сенсорными ощущениями или убрать излишнее перевозбуждение нервной системы. Оборудование и мебель – ковер, диван, пуфики, подушки, мячи-фитболы, одеяло, плед, игровые пособия, сенсорные панели [32]. Отметим, что размещать его необходимо так, чтобы отделить от остального помещения [34, 35] (рис. 1Б)

Зона групповой работы ориентирована на приближение обучения детей с РАС к форме работы в общеобразовательном классе. Учитывая специфические особенности таких учеников (восприятие ими пространства, новой информации), более удобным решением является использование одноместных мобильных парт, интерактивной панели и стандартной классной доски при фронтальных формах занятий [34, 36]. Возможные варианты расстановки парт: друг против друга, напротив доски, полукругом (рис. 1А).

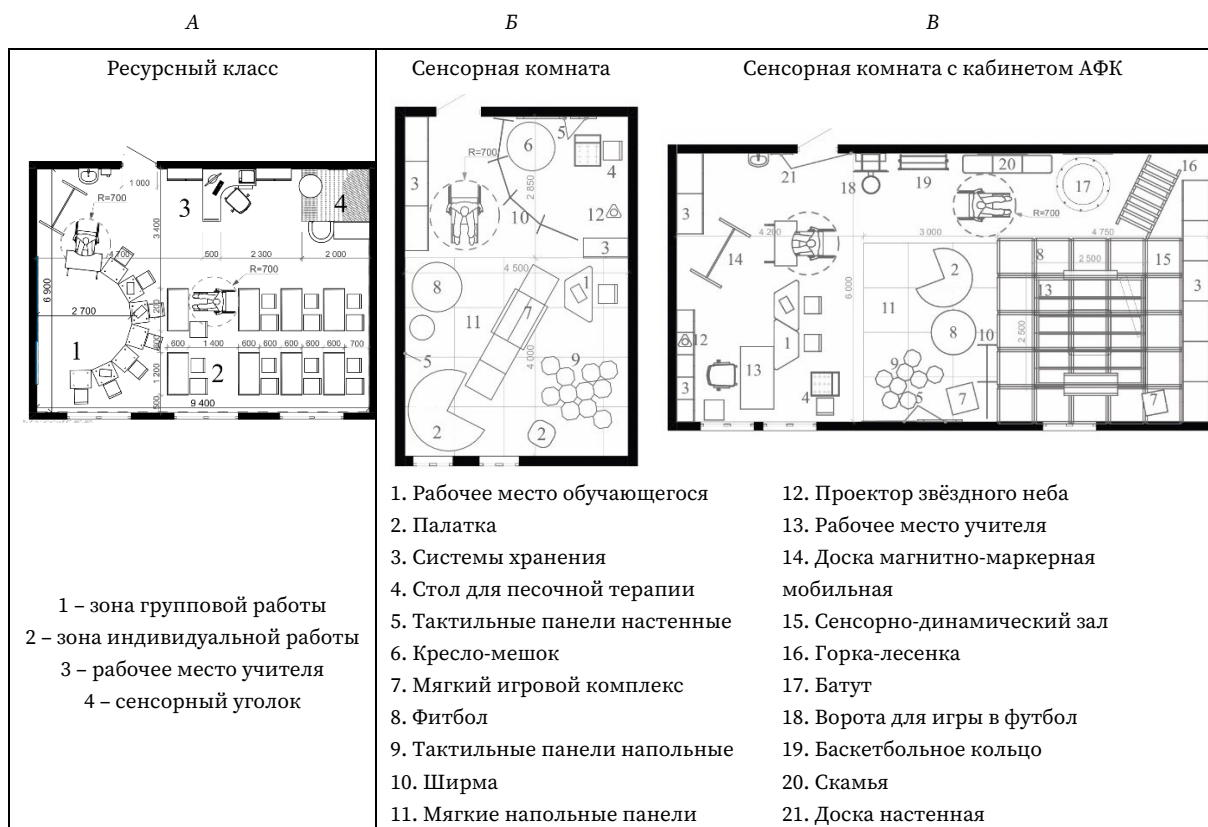
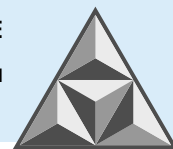


Рис. 1. Проектные предложения организации ресурсного класса и сенсорной зоны

Fig. 1. Design proposals for the layout of a resource classroom and a sensory zone

Площадь, занимаемая ребенком с РАС, по данным В.К. Степанова, равняется 0.46×0.28 м [36], занимаемая взрослым (педагогом/тьютором, присутствующим с ребенком в сенсорном уголке) – сидя $(0.625-0.750) \times (0.625-0.875)$ м, на четвереньках – 1.0×0.65 м [36]. Данные позволяют

⁵ Мелтдаун (от англ. "meltdown" – "расплавление" или "разрушение") – это состояние эмоционального или сенсорного перегруза, когда человек теряет контроль над своими эмоциями и поведением, что может проявляться в виде вспышек гнева, криков, плача, физической агрессивности или попыток уйти из ситуации [<https://www.b17.ru/article/620290/>]



вывести среднюю площадь, необходимую для сенсорного уголка в РК, без учета свободного места для перемещения:

$$0.46 \times 0.28 (a) + 0.70 \times 0.75 (b) + 0.52 \times 0.60 (c) + 2.0 \times 3.14 \times 0.375^2 (d) = 1.56 \text{ м}^2$$

$$0.46 \times 0.28 (a) + 1.0 \times 0.65 (e) + 0.8 \times 0.6 (f) + 2.0 \times 3.14 \times 0.375^2 (d) = 2.14 \text{ м}^2$$

где a – площадь, занимаемая ребенком, по данным В.К. Степанова;

b – площадь, занимаемая взрослым сидя;

c – усредненная площадь кресла;

d – площадь двух фитболов $d = 0.75$ м;

e – площадь, занимаемая взрослым четвереньках;

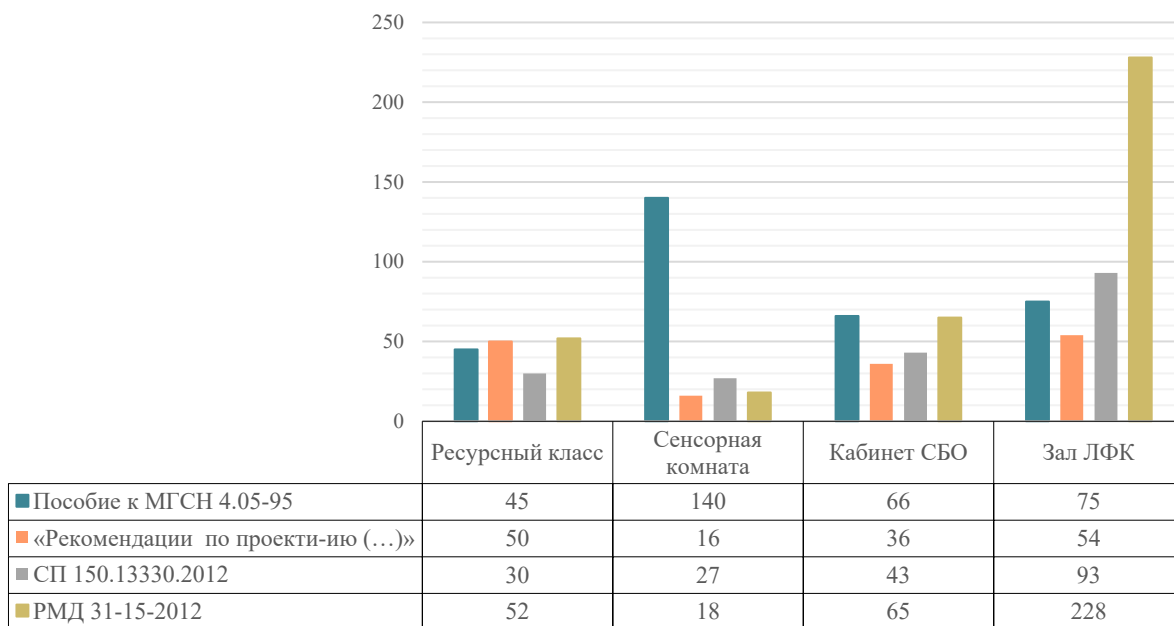
f – площадь кресла с пуфом.

Параметры и данные о зоне психологической разгрузки: в классах и учебно-игровых комнатах ее площадь определяется из расчета 10-15% от общей площади класса; на схеме класса на 10 чел. с зоной психологической разгрузки площадь сенсорного уголка равна $1.9 \times 1.3 \text{ м} = 2.47 \text{ м}^2$ [21].

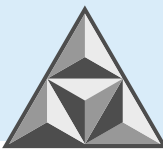
Предложения по созданию архитектурной среды с объемно-планировочной единицей, близкой по назначению к РК с названием «ресурсные помещения», приведены в утвержденном Министерством просвещения РФ «Руководстве по дизайну образовательных пространств» и «Руководстве по дизайну образовательного пространства для (...) обучающихся с ОВЗ» и описываются авторами как «общая идея с концепциями для вдохновения» [11, 12]. Данные по схожим помещениям из норм близкой типологии приведены в табл. 1 и графически отображены в табл. 2. Анализ показывает, что ни один документ в нашей стране полноценно не отражает специфику формирования классов для обучения детей с РАС и иными ООП и не дает возможности качественной реализации задач, поставленных АООП.

Таблица 2. Площади помещений, необходимых для организации обучения детей с ООП

Table 2. Space requirements for facilities supporting the education of children with special educational needs



Список оборудования для РК приведен в табл. 3; цветом выделена предлагаемая (в сравнении с учебным классом общеобразовательной школы) мебель и техника.

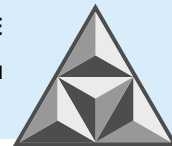
**Таблица 3.** Предлагаемая спецификация мебели и оборудования ресурсного класса**Table 3.** Proposed specification of furniture and equipment for the resource area

НАИМЕНОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	КОЛ-ВО
РАБОЧЕЕ МЕСТО УЧИТЕЛЯ + РАБОЧАЯ ЗОНА У ДОСКИ	
1. Учительский угловой стол с подкатной тумбой	1
2. Кресло офисное с подъемно-поворотным механизмом	1
3. Моноблок в комплекте с мышью, клавиатурой, камерой и сетевым фильтром	1
4. МФУ (цвет), А4	1
5. Ламинатор с реверсом	1
6. Биговальный аппарат	1
7. Брошюратор	1
8. Шкаф с непрозрачными дверцами	2
9. Рельсовая система с передвижными меловыми досками, интерактивной панелью	1
10. Доска магнитно-маркерная мобильная поворотная	1
11. Облучатель рециркуляционного типа 90 м ³ /ч	1
12. Жалюзи вертикальные тканевые.	На окно
ЗОНА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ	
13. Стол (парта) для аутистов	По расчету
14. Стул ученический регулируемый по высоте с фиксацией сиденья	По расчету
ЗОНА ГРУППОВОЙ РАБОТЫ	
15. Стол ученический одноместный, регулируемый по высоте столешницы	По расчету
16. Стул ученический, регулируемый по высоте с фиксацией сиденья	По расчету
17. Стол ученический, парта для инвалидов – колясочников. Стол регулируется по высоте и углу наклона столешницы	1
СЕНСОРНЫЙ УГОЛОК	
18. Пуф-диван детский с ручкой из износостойкой ткани	1
19. Рабочий стеллаж для специалиста	1
20. Фитбол	1
21. Декоративная тактильная панель	1
22. Палатка	1

На рис. 1А приведены варианты организации РК с функциональным зонированием и использованием мебели, указанной в табл. 3. Размеры кабинета: S = 64.86 м², длина 9400 мм, ширина 6900 мм. Площадь зоны индивидуальной работы – 25.62 м², зоны групповой работы – 24.13 м², рабочего места учителя – 11.55 м², сенсорного уголка – 3.77 м². Основные маршруты движения внутри помещения отвечают ширине 1200 мм для движения инвалидного кресла, в тупиковых зонах – пространство 1400×1400 мм для разворота инвалидного кресла.

Требования к ресурсному классу – функционально-технологические, оформление интерьеров:

- Простая схема маршрутов передвижения между ней и остальными функциональными блоками здания, без регулярного пересечения сенсорно нагруженных зон;
- Предсказуемость, гибкость, визуальная связь с коридором-рекреацией (двери с остеклением);
- Возможность быстрого выхода на прилегающий участок, через близ расположенный вход (не основную для младших/старших школьников);
- Использование отделочных материалов с хорошей звукоизоляцией, отсутствием бликов, влагостойких, пожаробезопасных, антискользящих, экологических, износостойких (мармолеум *Forbio*, каучуковые напольные покрытия *Nora*, стеновые панели *WINAL*);
- Достаточный для слабовидящих контраст поверхностей (стены/пол/парты/столы);
- Однотонная отделка (стены, полы, потолки) без рисунков – отсутствие визуального «шума»;
- Приглушенная пастельная цветовая гамма;
- Вентиляционное оборудование с легкой и быстрой регулировкой, максимально тихое при эксплуатации; при реконструкции – использовать приемы по снижению акустической нагрузки от него;



- Радиаторы – располагать в нишах или использовать защитные экраны;
- Естественное освещение – рассеянное, с обязательным применением солнцезащитных элементов со средним коэффициентом светопропускания нейтральных светлых оттенков;
- Осветительные светодиодные приборы – использовать с низким уровнем яркости, исключая мерцание, шум, предусматривать вариативность устройств (верхнее, боковое, напольное) и возможность его отдельного или совместного использования.

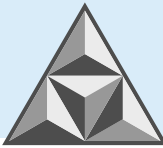
1. *Сенсорная комната* (СК) – помещение, наполненное разнообразным оборудованием, воздействующим на органы чувств человека. Пребывание, обучение, расслабление, насыщение в таком пространстве непосредственно связано с понятием «сенсорная интеграция» – вмешательствами, базирующимися на подходе А. Дж. Айрис и направленными на способность человека интегрировать сенсорную информацию (визуальную, слуховую, тактильную, проприоцептивную⁶ и вестибулярную), полученную от собственного тела и окружающей среды [35]. Сенсорное развитие обеспечивает формирование полноценного восприятия окружающей действительности и может помочь в совершенствовании важных умений и навыков, включая коммуникацию, моторные навыки, распознавание цветов и умение следить взглядом за движущимся предметом [18, 32-35].

Современная СК – это организованное и оформленное пространство, включающее в себя развивающее оборудование, разнообразные игры, успокаивающую музыку и ароматы. Стены и полы комнаты покрываются мягкими панелями или матами, наполняются мягкими пуфами и подушками, чтобы ребенок мог свободно двигаться по комнате, без травматизации при потенциальном падении. Мягкая отделка СК – это идеальная среда для отдыха и расслабления [35].

Аналогичные помещения, которые могут быть использованы как прототипы объемно-планировочных решений исследования, присутствуют в ряде действующих нормативных документов и отображены в табл. 1. Возможность использования педагогами в школах для обучающихся с нарушениями развития СК позволяет реализовать АООП полноценно, снизить риски стрессовой ситуации, при необходимости снимать метлдауны, наполнять и/или, приводить в баланс сенсорную информацию у обучающегося.

СК чаще всего направлена на взаимодействие со всеми органами чувств: зрение, осязание, обоняние, слух, вкусовые ощущения. Большое внимание в процессе обучения ребенка с РАС отводится его физическому развитию. Возможность разнообразия движений и использование оборудования для улучшения моторики, проприоцепции, разработка вестибулярного аппарата положительным образом сказываются на поведении, социализации, интеллектуальном развитии. В связи с этим специалисты указывают на благотворное совмещение СК и кабинета адаптивной физической культуры (АФК), позволяющее реализовывать педагогические задачи и мотивировать на двигательную активность [32, 34, 35]. Таким образом, благодаря совокупности реализуемых задач по стимуляции органов чувств и моторики данное помещение тяготеет к мультисенсорному, которое требуется насыщать целевыми предметами и оборудованием. Отметим, что СК можно условно подразделить на функциональные зоны (активационная и релаксационная); типы (светлая, темная или их сочетание), пространство – на четыре среды (аудиальная, моторная, зрительная, тактильная).

⁶ Проприоцепция – мышечное чувство, ощущение положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве



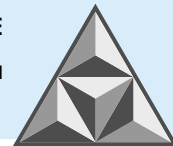
Оборудование должно быть мобильным. Желательно подбирать его под сенсорные дефициты конкретного ученика с РАС или иными нарушениями развития по результатам опросника О.Б. Богдашиной «Сенсорный профиль ребенка». При этом в ряде документов и пособий предлагают наименования устройств и предметов мебели, которые отчасти можно использовать в качестве минимально необходимых, базовых, универсальных. Отнесем к таким документам Письмо Министерства просвещения России от 03.11.2023 № 06-2072 [37] и методическое пособие «Сенсорные особенности детей с расстройствами аутистического спектра. Стратегии помощи» [35]. Для СК используют наполнения: световое, цветное, проекционное, воздушно-пузырьковое, звуковое, тактильное, мягкое игровое, вестибулярное и проприоцептивное; для кабинетов АФК⁷ весьма полезными и многоцелевыми являются сенсорно-динамические комплексы. Следует уточнить, что существуют определенные принципы, ограничивающие выбор наименований оборудования СК. К ним отнесем разнообразные «сухие» бассейны, в связи со сложностью поддержания чистоты в них в соответствии с СанПиН. Для обучающихся с РАС нежелательными являются воздушно-пузырьковые колонны, свето-динамическое оборудование, так как они являются источником излишней сенсорной стимуляции. Стационарно закрепленное оборудование в СК недопустимо: помещением в разное время могут пользоваться дети с диаметрально противоположными дефицитами и потребностями, что будет отражаться в работе с ними.

На практике СК иногда организуют одну на всю школу и располагают ее в кабинетах дефектолога, психолога, логопеда, что нельзя считать эффективным решением в связи с объективными факторами – невозможностью параллельной реализации назначения помещений. Индивидуальные занятия с ученика специалистом, консультации родителей, педагогов, выполнение педагогических задач специалистом и функции СК с другими обучающимися не могут осуществляться совместно: нормируемая площадь кабинета недостаточна для размещения полноценного комплекта оборудования. Зону психологической разгрузки в кабинетах логопеда, дефектолога, психолога следует выполнять по образцу сенсорного уголка в РК (рис. 1А) вместе с организацией отдельной СК в здании общеобразовательной организации. Высота помещения СК должна удовлетворять нормам по проектированию общеобразовательных организаций, не быть чрезмерно большой, для формирования уютного, пропорционального, эргономичного нахождения в нем и учитывать возможность размещения необходимого оборудования, в том числе – подвешеного [15, 35].

Педагогическо-дефектологическая составляющая наполнения и проводимых занятий в СК влияет на объемно-планировочные решения и функциональные взаимосвязи [38]:

- СК – непосредственный «участник» образовательного процесса, использующийся регулярно и в урочное и во внеурочное время; следует *расположить ее рядом с РК или смежно, избегая длинных, сенсорно нагруженных пешеходных путей, помещений с насыщенной стимуляцией – аудиальной (общешкольные холлы, спортзал, актовый зал, бассейн), обонятельной (столовые, мастерские, бассейн, хоз. помещения), световой (холлы, рекреации);*
- для формирования визуально предсказуемого пространства следует *использовать двери с остеклением на уровне глаз ученика, возможно с односторонней видимостью из коридора/РК в СК;*
- необходимость осуществления активной и пассивной деятельности требует *функционального разделения помещения на зоны посредством перегородок, ширм;*

⁷ Адаптивная физическая культура (АФК) – в рамках АООП предметная область (урок), включающая комплекс мероприятий, направленных на организацию занятий физической культурой и спортом обучающихся с ООП



– создание зоны с пассивной деятельностью для расслабления ученика требует использования на полу и стенах (на высоту 1.3-1.5 м) мягких материалов, матов, выдерживающих регулярную очистку дезинфицирующими средствами (мягкие стеновые панели и напольные покрытия ADEGMA, напольные покрытия M-Modul);

– оборудование, направленное на взаимодействие с органами чувств (зрение, слух, осязание, обоняние, вкус), используют малогабаритное, но разнообразное и мобильное, поэтому требуется большое количество закрытых мест хранения, чтобы избежать визуального «шума»;

– оборудование, направленное на развитие проприоцепции, часто используется подвесное (гамаки, качели, туннели, платформы); требуются высота помещения не менее 2.5 м и конструктивные дизайн-решения для потолка, позволяющие выполнить крепление подвесов;

– использование световых приборов требует предусмотреть достаточное количество розеток, световых приборов с возможностью плавной регулировки интенсивности;

– многофункциональность пространства требует установки солнцезащитных элементов с низким коэффициентом светопропускания нейтральных светлых оттенков, ширмы и/или мобильных перегородок, позволяющих отгораживать «темную» зону;

– расположение сенсорно-динамических залов и соединение СК с кабинетом АФК требует увеличения площади, разнообразия мест для хранения инвентаря.

2. Тихая / комната сенсорной депривации. Для детей с РАС и ООП весьма важно наличие комнаты сенсорной депривации (тихой), использующейся для уединения обучающегося и специалиста с целью наиболее «мягкого» и безопасного места успокоения в момент его сенсорного перенасыщения (мелтдауна, дистресса) [33].

У ребенка с аутизмом от чрезмерной сенсорной нагрузки в школе в некоторых случаях возможен приступ агрессии или самоагрессии, который специалист может предотвратить или снять, находясь в сенсорно нейтральном и безопасном помещении. Размеры его определяются образом пребывания и функциональными процессами. Габариты помещения отвечают эргономике: требуется обеспечить достаточное свободное перемещение двух лиц (обучающегося с потребностью депривации и специалиста). Ширина и длина составляют 2.0-2.5 м: в положении лежа 2.0 м + 0.5 м на перемещение в безопасную зону до стены. Высота – не менее 2.5 м: человек с поднятой рукой 2.25 м + 0.25 м свободное пространство, которое возможно для размещения оконного проема, вентиляции. Определяющим параметром является безопасность: отсутствуют выступающие элементы (радиаторы, защитные короба, шторы/жалюзи, приборы освещения и т.д.). При этом никакое оборудование и мебель не требуются.

Основное условие – отсутствие или сведение к минимуму факторов риска сенсорной перегрузки:

– Свет → без естественного освещения или с небольшим окном в верхней части помещения, расположенным выше человеческого роста (≥ 2000 мм) для повышения безопасности [36], с возможностью быстрой и легкой (автоматической) 100%-й изоляции от солнечного света; солнцезащитные элементы – с минимальным коэффициентом светопропускания нейтральных светлых оттенков;

– Акустика → оборудование (осветительные приборы, вытяжка) в самом помещении и близрасположенных, с минимальными шумами. Учитывая, что данное помещение тяготеет по функции к медицинским, примем уровни звукового давления в тихой комнате аналогично палатам больниц по СП 51.13330.2011 «Защита от шума» в октавных полосах 250/500/1000 Гц – 40/34/30 дБ;



– Тактильность → отделка пола и стен на высоту человека с поднятыми руками (≤ 2250 мм) мягкими материалами, предотвращающими травматизм (при падении, самоагрессии), устойчивыми к частой санитарной обработке [36]. Отметим, что мягкие панели и маты будут также выполнять звукоизоляционную функцию, что улучшит акустическую нейтральность пространства. Цветовая гамма отделки – пастельная светлая;

– Запахи → максимально возможное отсутствие благодаря скоростной бесшумной вентиляции, не связанной с помещениями столовой, мастерскими, бассейном, имеющими высокую сенсорную активность.

3. *Класс социально-бытовой ориентировки.* Необходим для регулярного проведения специальных уроков, заложенных в АООП и позволяющих обретать ученикам социально-полезные навыки. Помещение должно отвечать потребностям учебного процесса для реализации отработки повседневных задач человека: приготовление пищи, уборка, глажка, опрятность самого обучающегося и т.д., что определяет объемно-пространственную структуру кабинета, организуемую как квартира-студия с прихожей, зоной приготовления и приема пищи, кроватью-диваном, шкафом, ванной с раковиной, унитазом и душевой кабиной. А.Д. Степаненко описывает педагогические задачи тренировочных уголков, обуславливающие зонирование и оборудование кабинета СБО: уход за растениями, обращение с продуктами питания (холодильник, микроволновая печь), поддержание чистоты и обращение с бытовой техникой (пылесос, щетка, швабра) [32].

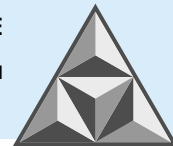
Параметры помещений, близких по функциональному назначению, предлагаемые для реализации в зданиях схожего назначения, приведены в табл. 1, табл. 2. СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций» определяет площадь помещения для бытовой реабилитации «Макет жилой квартиры с оборудованием и стендами восстановления бытовых навыков», равную 36 м^2 [39]. СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные» регламентирует проектировать такие объекты площадью не менее 28 м^2 [40].

Основываясь на действующих нормативных документах, необходимости организации универсальной доступной среды для всех категорий пользователей, в том числе использующих кресла-коляски, определим минимально достаточную площадь кабинета СБО в $28\text{-}50 \text{ м}^2$ с функциональным насыщением квартиры-студии и выделением санузла с душевой кабиной.

4. *Мастерские.* Необходимы для регулярного проведения специальных уроков, заложенных в АООП, позволяющих обретать обучающимся социально-полезные умения и способности. Мастерские проектируются дополнительно к заложенным в СП 251.1325800.2016 п. 7.2.5 «Помещения изучения технологий и трудового обучения», в связи с практической занятостью данных кабинетов для проведения уроков с нейротипичными обучающимися.

5. *Учительская.* Площадь подсчитаем по данным «Рекомендаций по проектированию образовательных учреждений для детей, нуждающихся (...)»: $S = 36 \text{ м}^2$ [29]. Учитывая данные СП 251.1325800.2016, «кабинет для учителей начальной школы из расчета не менее 4.5 м^2 на одно рабочее место учителя» [7], количество рабочих мест специалистов в учительской площадью 36 м^2 будет равняться 8.

6. *Кабинеты индивидуальных занятий.* Разнообразие и сложность обучения детей с аутизмом и ООП в общеобразовательных школах определяют необходимость индивидуальных занятий с дефектологом, психологом, логопедом, для чего необходимо предусматривать один-два универсальных кабинета, расположенных в непосредственной близости от РК, СК и учительской. СП 251.1325800.2016, п. 7.2.2.8 нормирует площадь «кабинета для индивидуальной педагогической работы с обучающимся не менее 12 м^2 », однако педагогические методики с доказанной эффективностью для обучения детей с РАС рекомендуют оборудовать



кабинет индивидуальной работы лишь двухместной партой, стулом для обучающегося и стулом для учителя, с возможностью разворота инвалидного-кресла коляски, что отвечает площади около 3.2-3.4 м².

7. *Оранжерея и гараж* для проведения уроков по овладению навыками садоводства и трудового обучения, которые в соответствии с п. 6.9 СП 251.1325800.2016 могут быть спроектированы в составе учебно-опытной зоны на территории общеобразовательной школы.

8. *Кладовые/места хранения оборудования, обучающих материалов и т.д.*, смежные с РК, СК, кабинетом СБО, учительской.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В гуманитарно-педагогической области для совокупности перечисленных помещений и пространств при инклюзивном обучении используется понятие «ресурсная зона». В СП 251.1325800.2016 присутствуют термины:

- ресурсный центр – помещение (кладовая), где сосредоточены наглядные учебные пособия и технические средства обучения и воспитания (п. 3.1.24);
- специализированный кабинет – учебное помещение, предназначенное для проведения занятий с учетом особенностей отдельных предметов и дисциплин (п. 3.1.28).

Наиболее полноценно отражающим суть и взаимосвязь образовательно-педагогической модели инклюзивного обучения и архитектуры, а также необходимых для этого пространств, с точки зрения проектирования, является «специализированный кабинет». Поэтому далее для группы помещений инклюзивного образования будем использовать термин «блок специализированных ресурсных помещений» (БСРП). Взаимосвязь БСРП с общешкольными функциональными зонами (входная группа, классы, столовая, спортзал, библиотека и т.д.) приведена на рис. 2.

На практике в большинстве случаев появление классов и/или отдельных помещений для обучения детей с РАС происходит бессистемно, стихийно, изменяя функциональное их назначение, модернизируя существующее объемно-планировочное решение, внедряя в рекреациях, коридорах, больших кабинетах отдельные «точечные» элементы инклюзивного образовательного процесса. Данный подход часто не отвечает функциональным и технологическим требованиям, неудобен для эксплуатации, нарушает права на получение качественного образования нейротипичными обучающимися.



Рис. 2. Схема функциональной взаимосвязи БСРП и общешкольных помещений

Fig. 2. Functional relationship diagram of the SRP block (specialized resource premises block) and general school premises



Расчет площади БСРП основывается на «Постановлении главного санитарного врача» [19] и наполняемости класса. Количество обучающихся с ОВЗ устанавливается из расчета не более трех обучающихся при получении образования совместно с другими учащимися [19]. Средняя наполняемость класса варьируется, в зависимости от региона и конкретных условий общеобразовательной организации, в пределах 19-35 чел. Количество обучающихся в школе составляет 10-15% от ее вместимости и устанавливается в задании на проектирование при согласовании с местными органами образования. Дальнейшие расчеты производятся исходя из этих цифр, индивидуальных для каждой школы. Площадь БСРП определяем из расчета одновременного пребывания в ней 100% обучающихся с ООП с учетом 4-5 м² на одного человека (обучение детей с ОВЗ может осуществляться только в первую смену).

Вместимость и количество ресурсных классов, мастерских, сенсорных комнат, кабинетов СБО, кабинетов индивидуального обучения устанавливается в задании на проектирование при согласовании с местными органами образования, учитывая предельную наполняемость отдельного класса, установленную в «Постановлении главного санитарного врача» [19]:

- для глухих обучающихся – 6 чел.;
- для слабослышащих и позднооглохших обучающихся с легким недоразвитием речи, обусловленным нарушением слуха – 10 чел.;
- для слабослышащих и позднооглохших обучающихся с глубоким недоразвитием речи, обусловленным нарушением слуха – 6 чел.;
- для слепых обучающихся – 8 чел.;
- для слабовидящих обучающихся – 12 чел.;
- для обучающихся с тяжелыми нарушениями речи – 12 чел.;
- для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата – 10 человек;
- для обучающихся, имеющих задержку психического развития – 12 человек;
- для учащихся с умственной отсталостью (интеллектуальными нарушениями) – 12 чел.

Площадь РК рассчитывается с учетом:

- не менее 2.5 м² на одного обучающегося при фронтальных формах занятий;
- не менее 3.5 м² на одного обучающегося при организации групповых форм работы и индивидуальных занятий [24].

Учитывая, что РК включает места индивидуальной и групповой работы, рабочие места учителя и сенсорного уголка, минимальная рекомендуемая площадь определяется по формуле:

$$S_{PK} = N_{об} \times 2.5 + N_{об} \times 3.5 + S_{з.уч.} + S_{з.с.у.},$$

где 2.5 и 3.5 м² – площадь для одного обучающегося при фронтальных и групповых формах работы соответственно;

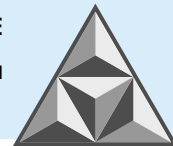
$N_{об}$ – количество обучающихся для конкретного класса;

$S_{з.уч.}$ = 12.0-14.0 м² – площадь для расстановки мебели (шкафы, тумбы и другие) для хранения учебных пособий и оборудования рабочего места учителя;

$S_{з.с.у.}$ = 2.5-4.0 м² – площадь сенсорного уголка [21, 27].

В качестве примера посчитаем площадь классов с усредненными параметрами рабочего места учителя и сенсорного уголка: для 6 обучающихся – 51.0 м², для 8 – 64.0 м², для 10 – 76.5 м², для 12 – 90.0 м².

Площадь сенсорной комнаты определяется заданием на проектирование и зависит от условий конкретной общеобразовательной организации. Рекомендуется проектировать СК

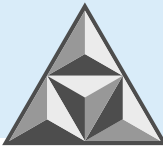


равномерно распределенные по образовательным блокам для разных уровней обучения (дошкольное, начальное, основное, среднее), при условии, что их минимальная площадь – не менее 20 м². Авторы предлагают два варианта организации СК. Первая комната – площадь около 30 м², с наполнением разнообразным мобильным сенсорным оборудованием, делением на функциональные зоны («темная» и «светлая») посредством мобильных ширм, местом хранения оборудования и вспомогательных материалов (рис. 1Б). Вторая комната – площадь около 50 м², совмещена с кабинетом АФК, функционально разделена на зоны работы для двух обучающихся и учителя, зону сенсорной разгрузки, зону проведения занятий по АФК (рис. 1В). Различия в площади помещения напрямую влияют на функциональные возможности пространства, его насыщение оборудованием, что при эксплуатации отразится на вариативности форм занятий, их продолжительности, типе. Обязательными условиями являются: наличие систем хранения, исключающих визуальный «шум»; нейтральная цветовая гамма; двери с остеклением на разных уровнях; блэкаут шторы; доступ для обучающихся на креслах-колясках (ширина дверей; двери без порогов; ручки дверей, удобные для открывания; нормативная ширина проезда инвалидной коляски и место разворота 1.4 × 1.4 м).

На организацию структуры общеобразовательной организации влияет совокупность факторов: существующая или проектируемая комплектация и номенклатура классов; трехступенчатая форма обучения и функциональное назначение конкретного здания или блок-пристройки; действующая сменность в школе; реализуемая система обучения в общих и инклюзивных классах, определяющая требуемые сопутствующие группы помещений; создание возможностей для параллельных классов, не противоречащих функционированию обычных; выбор эффективных решений по эксплуатации пространства, экономической целесообразности его организации.

На основании анализа нормативной и рекомендательной литературы и систематизации номенклатуры требуемых помещений, расчета их площадей для возможности обучения детей с аутизмом в здании общеобразовательной школы, авторы предлагают пространственно-технологическую модель инклюзивного образовательного процесса, отвечающую принципам устойчивого, универсального, качественного и функционально-эффективного образовательного пространства, удовлетворяющего потребности всех адресатов школы. Решения актуальны для Краснодарского края, с учетом климатических условий, анализа существующей градостроительной и социально-демографической ситуации, при единовременной систематизации объемно-планировочных и типологических особенностей существующего школьного фонда Краснодара и Краснодарского края. Использование индивидуальных проектных решений, построенных на принципах дифференциации и единства, позволит создать архитектурную среду, отвечающую современным функциональным, педагогико-дефектологическим, практико-ориентированным, эстетическим и культурным требованиям, организуемую в соответствии с принципами универсального дизайна. Предлагаемая модернизация находится в непосредственной связи с проектным решением здания школы, реальной ее вместимостью, плотностью населения в районе, социально-демографической ситуацией, резервом площади прилегающего участка общеобразовательной организации. Обратим внимание, что при модернизации любого объекта следует учитывать целесообразность проектного решения:

- функциональную;
- техническую;
- экономическую;
- архитектурно-художественную.



На основании перечисленных факторов автор разработал три пространственно-технологических модели инклюзивного образовательного процесса, отвечающих принципам устойчивого, универсального и функционально-эффективного пространства в общеобразовательных организациях Краснодарского края.

Модель 1 – «Классная». Реализуется в существующих школах большой вместимости, организованных в исторических зданиях, построенных по типовым проектам середины XX столетия, при максимально стесненных функционирующих объемно-планировочных решениях, в условиях сложившейся городской застройки. Подобная модель внедряется:

– в городской среде – в случаях сочетания большого количества обучающихся на фоне ограниченного потенциала свободных кабинетов и помещений, малой территории пришкольного участка, хорошей транспортной (общественный и личный транспорт) и пешеходной доступности;

– в сельской местности – с низким или средним уровнем плотности жилой застройки, хорошей транспортной (общественный и личный транспорт) и пешеходной доступностью. Ограниченное количество образовательных и вспомогательных пространств позволят проводить обучение детей с РАС и иными степенями заболеваний, не требующее многокомпонентной и сложноорганизованной системы педагогического процесса и ее поддержки.

Архитектурная структура заключается в минимально требующейся объемно-планировочной модернизации, сводящейся к выделению одного-двух помещений: ресурсный класс + кабинет учителя или ресурсный класс + сенсорная комната, или ресурсный класс + многофункциональное помещение (с местом работы учителя, хранения методических пособий, комнатой сенсорной разгрузки). РК – один на всю школу, на 6-8 обучающихся, и $S = 30-70 \text{ м}^2$; сенсорная комната имеет площадь около 20 м^2 ; кабинет учителя совмещает функции рабочего места, хранения пособий, место встреч с родителями. Все помещения максимально компактны, располагаются на первом-втором этажах, смежно или на минимальном расстоянии (с доступностью второго и последующего этажей), без преодоления сенсорно нагруженных участков пути, ближе к входу в здание, в непосредственной близости от санузла. Организация данной модели возможна за счет помещений административного или хозяйственного блока, вспомогательных, общественных помещений, разделения рекреаций/коридоров, при условии сохранения требований инсоляции, проветривания, акустических норм для конкретной организации, с максимальным сохранением мест нормотипичных обучающихся.

Модель 2 – «Блочная» (рис. 3). Она создается в зданиях школ последних десятилетий постройки со средней и высокой вместимостью, просторными и универсальными архитектурно-планировочными решениями, в выделенной ступени обучения (начальная, средняя школа), с хорошей транспортной (личный, общественный транспорт) доступностью. Пришкольный участок имеет резервные территории.

Для сельских поселений актуальна реализация в крупных школах районных центров, имеющих хорошую доступность на общественном и личном транспорте. Несколько внедренных учебных и вспомогательных помещений расширяют (в сравнении с первой моделью) целевую аудиторию обучающихся с РАС и другими, более сложными формами поражений, которым требуется дополнительная поддержка с точки зрения образования, социализации и контроля поведения.

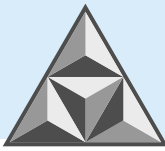


Рис. 3. Вариант организации модели «Блочная»

Fig. 3. A variant of the "Block" model organization

Архитектурная структура предусматривает достаточно сложную объемно-планировочную модернизацию, в результате которой организуется совокупность помещений с различной функциональной нагрузкой, расположенных смежно друг с другом. Подобный блок помещений должен отвечать следующим требованиям: располагаться на первом-втором этажах (с доступностью второго и последующего этажей для маломобильных групп населения), иметь отдельный выход на территорию; быть максимально удаленным от помещений с излишней сенсорной (акустической и иной) нагрузкой (спортивный и актовый залы, холл, общая рекреация, шумные мастерские, столовая); иметь хорошую акустическую изоляцию от внешнего шума с улицы и от источников шума в самих помещениях. БСРП будет включать:

- ресурсный класс – два-три кабинета, по одному на каждую параллель школы, количество обучающихся с ООП равняется 10-15% от общей вместимости школы;
- сенсорная комната, $S = 20-30$ м² с «темным» уголком;
- кабинет АФК, $S = 40$ м²;
- либо совмещенная сенсорная комната и кабинет АФК площадью примерно 50 м²;
- общешкольная учительская, расположенная вблизи;
- кабинет индивидуальных занятий (один или два кабинета площадью 4-6 м² каждый);
- кабинет СБО, $S = 35-40$ м²;
- санузел для МГН;
- на пришкольном участке – специализированная площадка с мягким покрытием, тенью навесами, озеленением по периметру для проведения школьных и внешкольных мероприятия, уроков на свежем воздухе, предпрофессиональной подготовки обучающихся с РАС и иными ООП.

Помещения выделяются за счет реорганизации кабинетов начальной школы, игровых, вспомогательных, общественных помещений, деления рекреаций/коридоров при условии



сохранения требований инсоляции, проветривания, акустических требований для конкретной школы с максимальным сохранением мест обучения нейротипичных детей. Вариант реализации приведен на рис. 3.

В качестве примера используется типовой проект № 222-1-126 на 30 классов (1176 обучающихся). Здание каркасно-панельное/кирпичное, имеет три этажа; годы строительства – 1970 – 1980-е. Блок организуется за счет четырех классов начальной школы на первом этаже.

Количество обучающихся с ООП: $1176 \times 13\% = 152$ чел.

Площадь БСРП: $152 \times 4.5 = 684$ м².

Площадь блока кабинетов пения и продленного дня – около 342 м² (один этаж, без учета лестничного марша), что определяет необходимость выделения двух этажей.

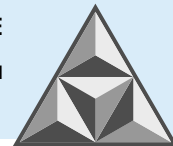
На рис. 3 приведен вариант модернизации первого этажа, с сохранением расположения санузлов, лестничной клетки, оконных проемов и несущих конструкций. На втором этаже организуются учебные классы. Отметим, что модель «Блочная» не является изолированным элементом в здании. Помещения для обучения детей с РАС и иными ООП расположены смежно для удобства и простоты навигации, однако все остальные общешкольные пространства (входная группа, столовая, спортзал, актовый зал, библиотека и т.д.) полностью доступны для таких обучающихся, то есть все помещения имеют взаимосвязь, обеспечивающую и поддерживающую сущность инклюзивного образования.

Модель 3 – «Встроенно-пристроенная» (рис. 4). Представляет расширенную номенклатуру учебных и вспомогательных помещений, где возможно проводить обучение детей с разными формами и степенями отклонений от нормы, что делает подобную модель многофункциональной и экономически эффективной. Она реализуется в районных центрах, в селитебной зоне с низкой плотностью населения, при наличии резервной территории на пришкольном участке, причем с легкой доступностью (личный и общественный транспорт) или в школах в черте города с аналогичными характеристиками здания и территории. В объемно-планировочных решениях заложено функциональное зонирование с разделением помещений по их сенсорной стимуляции, что является основополагающим для построения архитектурной среды, отвечающей восприятию пространства людьми с аутизмом и ООП [15, 20, 35, 41].



Рис. 4. Вариант организации модели «Встроенно-пристроенная»

Fig. 4. A variant of the "Embedded-attached" model organization



Использован опорный план блок-пристройки, предлагаемый в «Рекомендациях по проектированию нового поколения блоков-пристроек к существующим зданиям общеобразовательных школ» [42].

Переосмысление функциональных связей, номенклатуры пространства, решение архитектурных задач, отражающих педагогико-дефектологические требования, позволило создать теоретическую модель, максимально удовлетворяющую потребностям обучающихся с аутизмом. В ней присутствуют четкое зонирование (помещения предпрофессиональной подготовки, зал АФК и санитарный узел имеют вход из отделенного коридора-рекреации, что позволяет предотвратить чрезмерное распространение шума и запахов в помещения для обучения и релаксации); вариативное расположение входных групп; соединение с основным корпусом школы крытым отапливаемым переходом; атриум-дворик для проведения досуга, социализации, игр, отдыха.

Пристройка выполняется одноэтажной, в уровне первого или второго этажа, и должна соответствовать всем действующим требованиям по доступности для МГН, пожарной безопасности. При ограниченном потенциале пришкольного участка возможно выполнять данную модель двухэтажной, с уменьшением площади застройки, сохранением зонирования, наличием лифта, эвакуационных лестниц, внутренними пандусами, создающими универсальное архитектурное пространство. Атриум будет модифицирован в открытую зону на территории с максимальной изоляцией плотными посадками растений от остального участка и мягким покрытием для создания уголков релаксации и обучения в теплое время года. Основные рекомендуемые группы помещений:

– образовательные: ресурсный класс, малокомплектный на разное количество обучающихся, сенсорная комната площадью 20-40 м² с «темным» уголком, кабинет АФК площадью 50 м², учительская, кабинет индивидуальных занятий (1-3 кабинета), кабинет СБО площадью 35-40 м², мастерские предпрофессионального обучения;

– вспомогательные: холл, рекреации, санузел для МГН (женский и мужской); помещения хранения методических пособий, кладовая уборочного инвентаря;

На территории проектируется специализированная площадка с мягким покрытием, тенью навесами, озеленением по периметру для проведения школьных и внешкольных мероприятий, уроков на свежем воздухе с максимально близким выходом на пришкольный участок. Кроме того, требуется организовать в одном блоке с пристройкой и/или отдельно стоящим корпусом оранжерею и/или гараж для проведения уроков по предпрофессиональной подготовке, обучению самообслуживанию в соответствии с АООП для обучающихся с РАС и иными ООП.

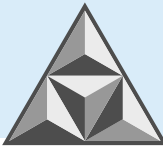
Технико-экономические показатели (ТЭП) по второй и третьей моделям, разработанных авторами, представлены в табл. 4.

Таблица 4. ТЭП по пространственно-технологическим модели инклюзивного образовательного процесса

Table 4. Technical and economic indicators of the spatial and technological model of the inclusive educational process

	Площадь застройки, м ²	Площадь БСРП, м ²	Полезная площадь, м ² / Удельная площадь	Площадь классов, м ² / Удельная площадь	Площадь помещений инклюзивного обучения, м ² / Удельная площадь	Кол-во уч-ся, чел	Коэффициент. К*
Модель 2: «Блочная»	437	710	552 / 3.9	382 / 2.7	464 / 3.3	141	0.65
Модель 3: «Встроенно-пристроенная»	1078	1010	725 / 8.5	285 / 3,4	526 / 6.2	85	0.52

* – отношение площадей помещений инклюзивного обучения к площади БСРП



Согласно данным табл. 4, можно сделать вывод, что внедрение модели 2 в структуру зданий школ существующего фонда возможно, эффективно и рационально. В примере оно выполнено за счет кабинетов пения и продленного дня (по данным исходного типового проекта) без серьезной потери полезной площади помещений обучения. Сантехнический узел остается без изменения расположения, с удовлетворением потребностей по доступу МГН.

«Встроенно-пристроенная» модель 3 характеризуется достаточно большой площадью застройки, что оправдывается необходимостью обеспечения быстрой эвакуации из здания при необходимости, комфортным расположением для учеников всех помещений в одном уровне, способствует простой и логичной навигации, развитию самостоятельности, возможностью создания внутреннего двора, используемого по разнообразным сценариям для обучения, отдыха, социализации и т.д.

Отметим, что рациональность принятых решений по третьей модели обосновывается высокой удельной площадью на одного обучающегося, отсутствием необходимости перемещения между этажами, разнообразными сопутствующими помещениями для инклюзивного обучения, учетом сенсорной составляющей, облегченными визуальными связями, легкостью ориентации в блоке, возможностью «обратной» инклюзии.

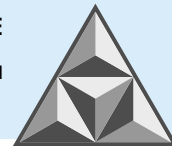
ВЫВОДЫ

Предлагается организация комплексной сети зданий общеобразовательных организаций, в которых будут комплексно реализованы архитектурные, технические, эстетические и дизайн-решения, которые позволят проводить обучение детей с РАС и другими нарушениями здоровья, не нарушая права других пользователей зданием.

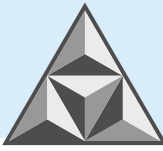
Частичное или полное применение рекомендаций по комплексной реорганизации структуры сети школьного фонда упростит процесс обучения и пребывания в школе детей с РАС, их социализацию, а также позволит нормотипичным ученикам находиться в обществе людей с различными возможностями, при этом относиться к ним гуманно и дружелюбно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

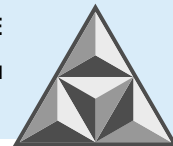
1. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 23.07.2025) «Об образовании в Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 03.08.2025).
2. СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001 (с изменениями № 1-4)». Утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2020 г. № 904/пр.
3. Методические рекомендации. Создание современного инклюзивного образовательного пространства для детей с ограниченными возможностями здоровья и детей-инвалидов на базе образовательных организаций, реализующих дополнительные общеобразовательные программы в субъектах Российской Федерации. М: Министерство Просвещения Российской Федерации, 2022. 34 с. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/a25d20322f2891abf3ed59497632d302> (дата обращения: 07.12.2025).
4. Письмо от 30 декабря 2022 г. № АБ-3924/06 «О направлении методических рекомендаций». Создание современного инклюзивного образовательного пространства для детей с ограниченными возможностями здоровья и детей-инвалидов на базе образовательных организаций, реализующих дополнительные общеобразовательные программы в субъектах РФ. 2022 г.
5. Министерство здравоохранения РФ. Аппарат правительства РФ, письмо № 15-3/10/1-2140, № П27-16931 от 11.04.2013 г.



6. Письмо МОиН Российской Федерации от 18.04.2008 НАФ-150/06 «О создании условий для получения образования детьми с ограниченными возможностями здоровья и детьми-инвалидами».
7. СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования. Утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 572/пр.
8. School design standards. APS Facilities, Design+construction. 2023. 197 с. URL: https://www.aps.edu/facilities-design-and-construction/documents/design-standards-and-guidelines/HS_Standards.pdf (дата обращения: 07.12.2025).
9. **Arianti R., Sowiyah S., Handoko H., Rini R.** Learning of children with special needs in inclusive schools // *Journal of social research*, 2022. № 2 (1). С. 142-147.
10. Письмо Министерства Просвещения Российской Федерации России от 31.07.2025 №07-ПГ-МП-24618.
11. Руководство по дизайну образовательных пространств / версия 1.2023. Министерство просвещения РФ, 2023. 164 с.
12. Руководство по дизайну образовательного пространства. Разработано для участников мероприятия по поддержке образования обучающихся с ОВЗ федерального проекта «Современная школа» национального проекта «Образование». 2022. 97 с. URL: https://leushint.gosuslugi.ru/netcat_files/userfiles/dobroshkola/4-rukovodstvo-po-dizaynu-obrazovatel'nogo-prostranstva-compressed_compressed.pdf (дата обращения: 10.01.2026).
13. **Sagun-Ongtangco K.S., Medallon K.G., Tan A.J.** Inclusive classrooms: making it work for peers of children with disability // *International journal of inclusive education*. 2019. № 25 (4). С. 1-17. DOI:10.1080/13603116.2019.1568596.
14. **Jayaneththi D.N.D., Rajapaksha I.G.P.** Inclusive schools for children with autistic spectrum disorder: an appraisal on built environmental challenges of existing schools / *Conference: independence and interdependence of sustainable spaces*, 2022. DOI: 10.31705/FARU.2022.9.
15. **Mostafa M.** Architecture for autism: autism ASPECTSS™ in school design // *International journal of architectural research. Archnet-IJAR*. 2014. Т. 8. Вып. 1. С. 143-158. DOI:10.26687/archnet-ijar.v8i1.
16. **Vetoniemi J., Kärnä E.** Being included – experiences of social participation of pupils with special education needs in mainstream schools // *International journal of inclusive education*. 2019. № 25 (3). С. 1-15. DOI:10.1080/13603116.2019.1603329.
17. **Шрамм Р.** Детский аутизм и АВА-терапия, основанная на методах прикладного анализа поведения. М: Рама Паблишинг, 2022. 208 с.
18. **Marco E., Hinkley L., Hill S.** Sensory processing in autism: a review of neurophysiologic findings // *Pediatric research*. 2011. Т. 69. С. 48-54. DOI: 10.1203/PDR.0b013e3182130c54.
19. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 сентября 2020 г. № 28 «Об утверждении санитарных правил СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи». URL: <https://base.garant.ru/75093644/?ysclid=mc8qc3kkts407283672> (дата обращения: 20.12.2025).
20. **Mostafa M.** Autism design and architecture for all: architecture for a differently abled world // *Magazine for the culture of indoor planning, architecture, innovation and design*. 2021. С. 62-156. URL: https://www.researchgate.net/figure/Compartmentalised-street-section_fig1_351936605 (дата обращения: 06.01.2026).
21. Пособие к МГСН 4.05-95 «Школы-интернаты для детей-инвалидов». Правительство Москвы Москомархитектура. М: 1996. 53 с.
22. School design guide. SDG-02-04 Primary & post primary school. Specialist accommodation for pupils with special educational needs. Tullamore: Planning & building unit department of education. 2021. 64 с. URL: <https://assets.gov.ie/static/documents/sdg-02-04-primary-post-primary-school-specialist-accommodation-for-pupils-with-special.pdf> (дата обращения: 06.01.2026).
23. JGJ 76 – 2019. Отраслевой стандарт Китайской Народной Республики. Стандарт проектирования школ для детей с особыми потребностями при обучении Утвержден департаментом: Министерство жилищного строительства и развития городских и сельских районов Китайской Народной



- Республики. 1 марта 2020 года. 78 с. URL: https://pro5323b5d3-pic11.ysjianzhan.cn/upload/49_JGJ76-2019TSJYXXJZSJJBZ.pdf (дата обращения: 10.01.2026).
24. Стандарт 156 – 2011. Стандарты строительства школ для детей с особыми потребностями. Министерство жилищного строительства и городского и сельского развития Китайской Народной Республики. Национальная комиссия по развитию и реформам Китайской Народной Республики. Пекин, 2011. 47 с.
 25. **Hawkins G.** Designing for disabled children and children with special educational needs. Department for children, schools and families. Birmingham: Building Bulletin 102. 2008. 199 с. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/276698/ (дата обращения: 10.01.2026).
 26. СП 150.13330.2012. Дома-интернаты для детей-инвалидов. Правила проектирования. Федеральное агентство по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству. Госстрой, 2012. URL: <https://adm-brz.ru/upload/docs/SP-150.13330.2012.pdf> (дата обращения: 04.12.2025).
 27. РМД 31-15-2012 Региональные методические документы. Руководство по проектированию специальных (коррекционных) образовательных учреждений для обучающихся, воспитанников с ограниченными возможностями здоровья. Санкт-Петербург, 2012. 50 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/362/4293793283.pdf> (дата обращения: 20.12.2025).
 28. Рекомендации по проектированию образовательных учреждений для детей, нуждающихся в психолого-педагогической и медико-социальной помощи. Утверждены и введены в действие от 20 июня 2000 г. № 23. М: Москомархитектура, 2000. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006824> (дата обращения: 10.01.2026).
 29. **Мосин В.О.** Архитектурная модернизация учреждений для детей-инвалидов: на примере Саратовской области: дис. ... канд. арх.: 05.23.21. Саратов, 2011. 165 с.
 30. **Ситнова А.И., Ермоленко Е.В.** Ермоленко Антропоморфная метрика, применимая для построения школьного пространства для детей с РАС // *Архитектура и современные информационные технологии*, 2021. № 1 (54). С. 78-90. DOI:10.24412/1998-4839-2021-1-78-90.
 31. **Зюмалла Р.** Обучение и сопровождение детей с аутизмом по программе ТЕАССН / Перевод с нем.: А. Ладисов, О. Игольников. Минск: Общественное объединение «Белорусская ассоциация помощи детям-инвалидам и молодым инвалидам». 2005. 48 с.
 32. **Степаненко А.Д.** Проектирование предметно-пространственной среды для обучающихся с РАС в образовательной организации: Выпускная квалификационная работа. М., 2022. 63 с.
 33. **Caldas F., Masiero B., Wang L.M.** How classroom acoustic conditions may impact autistic students: a rev. / *INTER-NOISE and NOISE-CON congress and conference proceedings*. 2023. № 265 (4). С. 3121-3131. DOI:10.3397/IN_2022_0438.
 34. **Хаустов А.В., Гусева Н.Ю., Загуменная О.В., Шумских М.А.** Включение детей с РАС в систему общего образования: инклюзивная модель «Ресурсный класс». М: ФГБОУ ВО МГППУ, 2024. 141 с.
 35. **Манелис Н.Г., Никитина Ю.В., Феррои Л.М., Комарова О.П.** Сенсорные особенности детей с расстройствами аутистического спектра. Стратегии помощи: метод. пособие. М.: ФРЦ ФГБОУ ВО МГППУ, 2018. 70 с. URL: https://autism-frc.ru/ckeditor_assets/attachments/1714/sensor_full.pdf (дата обращения: 04.12.2025).
 36. **Нойферт Э.** Строительное проектирование: Строительное проектирование. М: Архитектура-С, 2011. 565 с.
 37. Письмо Минпросвещения России от 03.11.2023 № 06-2072 "О направлении информации" (вместе с "Примерным перечнем оборудования, необходимого для реализации программ отдыха детей-инвалидов и детей с ограниченными возможностями здоровья и их оздоровления, проведения досуга в организациях отдыха и оздоровления"). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407936433/> (дата обращения: 11.12.2025).
 38. **Чеберева О.Н., Стрельникова Е.Ю.** Архитектурный опыт формирования групп помещений ресурсного назначения в школах обучения детей с расстройством аутистического спектра // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4. № 4. С. 61-74.



39. СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций». Утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 18 февраля 2014 г. № 58/пр.
40. СП 54.13330.2022 «Здания жилые многоквартирные». Утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 13 мая 2022 г. № 361/пр.
41. **Стрельникова Е.Ю., Чеберева О.Н.** Эффективность архитектурно-планировочных решений инклюзивной образовательной среды для детей с расстройствами аутистического спектра // *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025. Т. 5. № 2 (112). С. 8-25. DOI: 10.31660/2782-232X-2025-2-8-25.
42. Рекомендации по проектированию нового поколения блоков-пристроек к существующим зданиям общеобразовательных школ. Правительство Москвы, Москомархитектура. 2004. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294813/4294813090.pdf> (дата обращения: 11.12.2025).

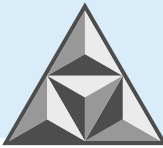
Поступила в редакцию 25.03.2026

Одобрена после рецензирования 24.04.2026

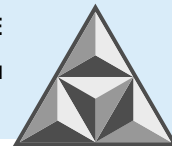
Принята к опубликованию 28.05.2026

REFERENCES

1. Federal Law No. 273-FZ of 29.12.2012 (as amended on 23.07.2025) 'On Education in the Russian Federation' (with amendments and additions effective from 03.08.2025) (in Russian).
2. Set of Rules 59.13330.2020 'Accessibility of buildings and structures for low-mobility groups. Updated version of SNiP 35-01-2001 (with amendments No. 1-4)'. Approved and enacted by Order No. 904/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on 30 December 2020 (in Russian).
3. Methodological recommendations 'Creation of a modern inclusive educational space for children with disabilities and children with special health needs on the basis of educational organizations implementing additional general education programmes in the constituent entities of the Russian Federation' (2022). Moscow: Ministry of Education of the Russian Federation, 34 p. Available at: <https://docs.edu.gov.ru/document/a25d20322f2891abf3ed59497632d302/> (Accessed: 07 December 2025) (in Russian).
4. Letter No. AB-3924/06 of 30 December 2022 'On the direction of methodological recommendations. Creation of a modern inclusive educational space for children with disabilities and children with special health needs on the basis of educational organizations implementing additional general education programmes in the constituent entities of the Russian Federation' (in Russian).
5. Ministry of Health of the Russian Federation and Apparatus of the Government of the Russian Federation (2013) Letter No. 15-3/10/1-2140, No. P27-16931 of 11 April 2013 (in Russian).
6. Ministry of Education and Science of the Russian Federation (2008), Letter No. AF-150/06 of 18 April 2008 'On creating conditions for education of children with disabilities and children with special health needs' (in Russian).
7. Set of Rules 251.1325800.2016 'Buildings of general education organizations. Design rules'. Approved and enacted by Order No. 572/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on 17 August 2016 (in Russian).
8. APS Facilities, Design+Construction (2023), School design standards, 197 p. Available at: https://www.aps.edu/facilities-design-and-construction/documents/design-standards-and-guidelines/HS_Standards.pdf (Accessed: 07 December 2025) (in Russian).
9. **Arianti, R., Sowiyah, S., Handoko, H. and Rini, R.** (2022), Learning of children with special needs in inclusive schools, *Journal of social research*, no. 2 (1), pp. 142-147.
10. Ministry of Education of the Russian Federation (2025), Letter No. 07-PG-MP-24618 of 31 July 2025 (in Russian).
11. Ministry of Education of the Russian Federation (2023), Guide to the design of educational spaces. Version 1.2023, 164 p. (in Russian).



12. Guide to the design of educational space. Developed for participants of the event to support education of students with disabilities of the federal project 'Modern School' of the national project 'Education' (2022), 97 p. Available at: https://leushint.gosuslugi.ru/netcat_files/userfiles/dobroshkola/4-rukovodstvo-po-dizaynu-obrazovatel'nogo-prostranstva-compressed_compressed.pdf (Accessed: 10 January 2026) (in Russian).
13. **Sagun-Ongtangco, K.S., Medallon, K.G. and Tan, A.J.** (2019), Inclusive classrooms: making it work for peers of children with disability, *International journal of inclusive education*, no. 25 (4), pp. 1-17. DOI: 10.1080/13603116.2019.1568596.
14. **Jayaneththi, D.N.D. and Rajapaksha, I.G.P.** (2022), Inclusive schools for children with autistic spectrum disorder: an appraisal on built environmental challenges of existing schools, *Conference: independence and interdependence of sustainable spaces*. DOI:10.31705/FARU.2022.9.
15. **Mostafa, M.** (2014), Architecture for autism: autism ASPECTSS™ in school design, *International journal of architectural research (Archnet-IJAR)*, no. 8 (1), pp. 143-158. DOI:10.26687/archnet-ijar.v8i1.
16. **Vetoniemi, J. and Kärnä, E.** (2019), Being included – experiences of social participation of pupils with special education needs in mainstream schools, *International journal of inclusive education*, no. 25 (3), pp. 1-15. DOI:10.1080/13603116.2019.1603329.
17. **Shramm, R.** (2022), Child autism and ABA therapy based on applied behavior analysis methods. Moscow: Rama Publishing, 208 p. (in Russian).
18. **Marco, E., Hinkley, L. and Hill, S.** (2011), Sensory processing in autism: a review of neurophysiologic findings, *Pediatric research*, vol. 69, pp. 48-54. DOI:10.1203/PDR.0b013e3182130c54. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21289533/> (Accessed: 10 January 2026).
19. Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation (2020), Resolution No. 28 of 28 September 2020 'On approval of sanitary rules SP 2.4.3648-20 "Sanitary and epidemiological requirements for organizations of upbringing and education, recreation and health improvement of children and youth". Available at: <https://base.garant.ru/75093644/> (Accessed: 20 December 2025) (in Russian).
20. **Mostafa, M.** (2021), Autism design and architecture for all: architecture for a differently abled world, *Magazine for the culture of indoor planning, architecture, innovation and design*, pp. 62-156. Available at: https://www.researchgate.net/figure/Compartmentalised-street-section_fig1_351936605 (Accessed: 06 January 2026).
21. Supplement to MGSN 4.05-95 'Boarding schools for children with disabilities' (1996). Moscow: Moscow Government, Moskomarkhitektura, 53 p. (in Russian).
22. School design guide. SDG-02-04 Primary & post primary school. Specialist accommodation for pupils with special educational needs* (2021). Tullamore: Planning & Building Unit, Department of Education, 64 p. Available at: <https://assets.gov.ie/static/documents/sdg-02-04-primary-post-primary-school-specialist-accommodation-for-pupils-with-special.pdf> (Accessed: 06 January 2026) (in Russian).
23. JGJ 76 – 2019 'Industry standard of the People's Republic of China. Design standard for schools for children with special educational needs' (2020). Approved by Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China on 1 March 2020, 78 p. Available at: https://pro5323b5d3-pic11.yjsjanzhan.cn/upload/49_JGJ76-2019TSJYXXJZSJZBZ.pdf (Accessed: 10 January 2026) (in Russian).
24. Standard 156 – 2011 'Standards for the construction of schools for children with special needs' (2011). Beijing: Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, National Development and Reform Commission of the People's Republic of China, 47 p.
25. **Hawkins, G.** (2008), Designing for disabled children and children with special educational needs (Building Bulletin 102). Birmingham: Department for Children, Schools and Families, 199 p. Available at: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/276698/ (Accessed: 10 January 2026).
26. Set of Rules 150.13330.2012 'Residential care homes for children with disabilities. Design rules' (2012). Federal Agency for Construction and Housing and Communal Services, Gosstroy. Available at: <https://adm-brz.ru/upload/docs/SP-150.13330.2012.pdf> (Accessed: 04 December 2025) (in Russian).
27. Regional methodological documents RMD 31-15-2012 'Design guide for special (correctional) educational institutions for students and pupils with disabilities' (2012). Saint Petersburg, 50 p. Available at: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/362/4293793283.pdf> (Accessed: 20 December 2025) (in Russian).

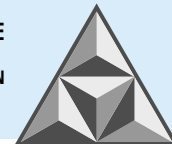


28. 'Recommendations for the design of educational institutions for children in need of psychological-pedagogical and medico-social assistance' (2000). Approved and enacted on 20 June 2000 No. 23. Moscow: Moskomarkhitektura. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200006824> (Accessed: 10 January 2026) (in Russian).
29. **Mosin, V.O.** (2011), Architectural modernisation of institutions for children with disabilities: a case study of Saratov region. PhD thesis. Saratov, 165 p. (in Russian).
30. **Sitnova, A.I. and Ermolenko, E.V.** (2021), Anthropomorphic metric applicable to the design of school space for children with ASD, *Architecture and modern information technologies*, no. 1 (54), pp. 78-90. DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-78-90 (in Russian).
31. **Zyumalla, R.** (2005), TEACCH programme for education and support of children with autism. Translated from German by A. Ladisov and O. Igolnikov. Minsk: Public Association 'Belarusian Association of Assistance to Children with Disabilities and Young Disabled Persons', 48 p.
32. **Stepanenko, A.D.** (2022), Design of the subject-spatial environment for students with ASD in an educational organisation. Final qualifying work. Moscow, 63 p.
33. **Caldas, F., Masiero, B. and Wang, L.M.** (2023), How classroom acoustic conditions may impact autistic students: a review' INTER-NOISE and NOISE-CON congress and conference proceedings, no. 265 (4), pp. 3121-3131. DOI:10.3397/IN_2022_0438.
34. **Khaustov, A.V., Guseva, N.Iu., Zagumennaya, O.V. and Shumskikh, M.A.** (2024), Inclusion of children with ASD in the general education system: inclusive model 'Resource class'. Moscow: Moscow State University of Psychology & Education, 141 p. (in Russian).
35. **Manelis, N.G., Nikitina, Iu.V., Ferroi, L.M. and Komarova, O.P.** (2018), Sensory characteristics of children with autism spectrum disorders. Support strategies. Methodological guide. Moscow: Federal Resource Center, Moscow State University of Psychology & Education, 70 p. Available at: https://autism-frc.ru/ckeditor_assets/attachments/1714/sensor_full.pdf (Accessed: 04 December 2025) (in Russian).
36. **Neufert, E.** (2011), Architects' data. Moscow: Arkhitektura-S, 565 p. (in Russian).
37. Ministry of Education of the Russian Federation (2023) Letter No. 06-2072 of 03 November 2023 'On sending information (together with "Exemplary list of equipment necessary for the implementation of recreation programmes for children with disabilities and children with special health needs and their health improvement, leisure activities in recreation and health improvement organisations)". Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407936433/> (Accessed: 11 December 2025) (in Russian).
38. **Cherebereva, O.N. and Strelnikova, E.Iu.** (2023), Architectural experience of creating groups of resource rooms in schools for children with autism spectrum disorder, *Smart Composite in Construction*, vol. 4, iss. 4, pp. 61-74. (in Russian).
39. Set of Rules 158.13330.2014 'Buildings and premises of medical organisations'. Approved by Order No. 58/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on 18 February 2014. (in Russian).
40. Set of Rules 54.13330.2022 'Residential multi-apartment buildings'. Approved and enacted by Order No. 361/pr of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation on 13 May 2022 (in Russian).
41. **Strelnikova, E.Iu. and Cherebereva, O.N.** (2025), Effectiveness of architectural and planning solutions for inclusive educational environments for children with autism spectrum disorders, *Architecture, construction, transport*, vol. 5, no. 2 (12), pp. 8-25. DOI: 10.31660/2782-232X-2025-2-8-25 (in Russian).
42. 'Recommendations for the design of a new generation of annexes to existing general education school buildings' (2004), Moscow Government, Moskomarkhitektura. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294813/4294813090.pdf> (Accessed: 11 December 2025) (in Russian).

Received 25.03.2026

Approved 24.04.2026

Accepted 28.05.2026



ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция строго придерживается норм и правил международной публикационной этики.

Правовую основу обеспечения публикационной этики составляют международные стандарты: положения II Всемирной конференции по вопросам соблюдения добросовестности научных исследований, положения Комитета по этике научных публикаций (The Committee on Publication Ethics – COPE) и нормы раздела «Авторское право» Гражданского кодекса РФ.

Представление статьи в журнал подразумевает следующее:

- работа не была опубликована в другом журнале;
- работа не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие (в явной или неявной форме) организации, на базе которой проведено исследование.

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что все цитирования оформлены корректно, указаны заимствованные источники в подписях к рисункам и надписям к таблицам. Если таковые не приведены, предполагается, что рисунки и таблицы представляют собой плод авторской деятельности. Редакция осуществляет проверку статей на антиплагиат и отклоняет или возвращает авторам рукописи, если оригинальность текстов по результатам такой проверки не достигает 70-75 %.

Авторские права

Авторы, направляющие свои работы в журнал, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации.
2. Авторы сохраняют за собой право заключать отдельные контрактные договоренности, касающиеся неэксклюзивного распространения версии работы в опубликованном в журнале виде (например, размещение в институтском хранилище, публикация в книге), со ссылкой на оригинальную публикацию в данном журнале.

Приватность

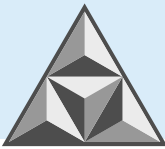
Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте данного журнала, используются исключительно для достижения целей, совпадающих с миссией журнала; доступ к ним иных лиц и организаций для других целей не предоставляется.

Правила оформления статей для журнала «Умные композиты в строительстве Smart Composite in Construction»

В журнале «Умные композиты в строительстве Smart Composite in Construction» печатаются работы преподавателей и сотрудников высших учебных заведений РФ, РАН, РААСН и других исследовательских организаций, работающих в сфере промышленного и гражданского строительства и архитектуры, в том числе – зарубежных.

Рубрики журнала

- Строительные конструкции, здания и сооружения (технические)
- Строительные материалы и изделия (технические)
- Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические)



– Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (технические; архитектура)

Статьи, направляемые в журнал, должны удовлетворять следующим требованиям:

Статья должна соответствовать профилю и рубрикам журнала, обладать актуальностью, новизной, иметь прикладное значение (и/или теоретическое обоснование). Вопрос об опубликовании или отклонении статьи решает редакционная коллегия журнала, и ее решение является окончательным.

Статьи должны представлять сжатое, конкретное изложение результатов, без повторения одних и тех же данных в тексте, рисунках и таблицах.

Все представленные статьи должны быть набраны 12 кеглем, шрифт *Times New Roman*, интервал – 1.1. Поля: верхнее и нижнее – 3 см, левое и правое – 2.5 см. Абзацный отступ – 0.75 см. Объем статьи – 7-15 страниц, включая аннотацию и список литературы на русском и английском языках; число таблиц – не более 3, рисунков – не более 5-6, для обзорной статьи – не более 8, в том числе помеченных буквами *a, б* (курсив) и т.д. Рисунки, как и таблицы, подписи и заголовки к ним, а также примечания, размещаются по тексту статьи. В раздел «Обзорные статьи» принимаются материалы объемом от 20 до 30-35 страниц.

При оформлении статьи рекомендуется избегать употребления любых сокращений, кроме общепринятых. Первое упоминание сокращенного термина обязательно следует после его представления в полном виде. Рукописные вставки не допускаются. Кавычки оформляются «елочкой». Текст набирается без нумерации страниц.

Структура статьи

Первая страница рукописи оформляется шрифтом с размером 12 пт. На первой строке указывается тип статьи с выравниванием слева без абзацных отступов (Научная статья, Обзорная статья). На следующей строке проставляется индекс по универсальной десятичной классификации (УДК). После УДК пропускается одна строка и дается по центру **наименование работы** (полужирное начертание). Пропускается одна строка и приводятся **И.О. Фамилия** (полужирное начертание) каждого автора. После фамилии каждого автора надстрочным символом указывается сноска на аффилиацию в виде цифры. Если все авторы представляют одну и ту же организацию, цифровое обозначение аффилиации не указывается. Пропускается одна строка, начиная с первого надстрочного номера аффилиации, приводится полное Имя, Отчество, Фамилия автора (или авторов, если таковых, представляющих данную организацию, несколько), затем, на следующей строке – наименование организации (места работы), города, страны и электронный адрес (курсив) каждого автора из данной организации. Пропускается одна строка и приводится полное **Имя, Отчество, Фамилия** автора (или авторов) другой организации, а на следующей строке – наименование другой организации (места работы), города, страны и электронный адрес (курсив). Пропускается строка, размещается аннотация со слов «**Аннотация.**» (**Abstract.**) (**с точкой**). Текст аннотации должен включать 150-250 слов, выполненных курсивным нежирным начертанием, и завершается точкой. После аннотации и пропуска одной строки набирается «**Ключевые слова:**» (**Keywords:**) (**с двоеточием**) и приводится 6-10 словосочетаний с курсивным начертанием, без точки в конце. Через строку указывается автор, ответственный за переписку, и его электронная почта (курсивом). Все вышеописанные пункты следом приводятся на английском языке.



Благодарности организациям, научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь при написании статьи, приводятся после слова «**Благодарности:**». На английском языке слова благодарности приводятся после слова '**Acknowledgments:**'

Сведения о грантах и финансировании исследования при подготовке и публикации статьи могут быть приведены после слова «**Финансирование:**» (на английском языке – после слов '**Funding:**' или '**Financial Support:**').

На первой странице рукописи (если статья представлена на английском языке) все вышеописанные пункты приводятся только на английском языке.

Основной текст научной статьи рекомендуется излагать согласно структуре IMRAD, содержащей следующие заголовки: Введение, Экспериментальная часть, Результаты и их обсуждение, Выводы, Список источников. Каждый заголовок приводится прописными буквами высотой 12 пт и выделяется одной пустой строкой перед ним и после него.

Рисунки оформляются внутри текста, перенос строк подписей на другую страницу не допускается. Подписи к рисункам приводятся сразу под графическим изображением. Подпись рисунка составляется из сокращения «**Рис.**» (или '**Fig.**' для статьи на английском языке или для перевода подписи), порядкового номера и отделенного точкой названия рисунка, при этом текст, кроме самого названия, выделяется полужирным начертанием. Следом в статье на русском языке приводится подпись рисунка на английском языке. Если рисунок состоит из нескольких частей, помеченных отдельными буквами, перенос любой части рисунка и примечания в виде буквы на другую страницу не рекомендуется. Рекомендуется уменьшение шрифта для подписи до 10 пт (допускается до 8 пт). Рисунки располагаются только после их упоминания (или перекрестной ссылки) в тексте статьи. Ссылка на каждый рисунок по тексту статьи приводится в обязательном порядке и приводится в скобках с сокращением «рис.» ('Fig.'), после которого указывается номер, например: (рис. 1) – при представлении работы на русском языке, (Fig. 1) – при представлении работы на английском языке.

Формулы рекомендуется оформлять внутри таблицы, состоящей из двух столбцов. В первом столбце приводится сама формула, оформленная редактором формул или в виде изображения. Во втором столбце шириной 1 см приводится порядковый номер формулы, заключенный в скобки при создании перекрестных ссылок в тексте. Если необходимость давать перекрестные ссылки отсутствует, второй столбец не создают. После формулы ставится запятая, когда приводится расшифровка символов формулы, или точка; порядковый номер формулы после запятой или точки располагается на этой же строке, с выравниванием по правому краю.

Для статейных таблиц приводится обозначение «**Таблица**» (или '**Table**' для статьи на английском языке), порядковый номер (без обозначения знака номера), а после точки дается наименование таблицы. Текст, кроме самого наименования таблицы выделяется полужирным начертанием. Следом в статье на русском языке приводится название таблицы на английском языке. Рекомендуется уменьшение шрифта в таблице до 10 пт (допускается до 8 пт). Таблицы располагаются только после их упоминания (или перекрестной ссылки) в тексте статьи. Упоминание приведенной таблицы по тексту статьи является обязательным и приводится в скобках, в которых дают обозначение, например: (табл. 1) – при представлении работы на русском языке, (Table 1) – при представлении работы на английском языке.

Статья заканчивается разделом «Список источников» (в статье на английском языке – разделом 'References'), шрифт Times New Roman, кегль 10 пт. Оптимальное количество цитированных источников от 15 до 20 (но не менее 10), при этом в список рекомендуется включить не менее 3 работ, представляющих журналы из ядра РИНЦ или входящих в базы



данных WoS/Scopus. В обзорных работах принимается не менее 40-50 ссылок на литературные источники. Под списком литературных источников приводятся надписи курсивом, каждая – с новой строки: «Поступила в редакцию», «Одобрена после рецензирования», «Принята к опубликованию».

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в форматах .doc. или .docx. Материалы, не соответствующие указанным требованиям и представленные в других форматах, не рассматриваются.

Оформление литературных ссылок

Все затекстовые библиографические ссылки в статье на русском языке составляют по ГОСТ Р 7.0.5 и ГОСТ Р 7.0.100, в статье на английском языке – согласно международному стилю оформления Harvard.

Дополнительно в статье на русском языке приводят перечень затекстовых библиографических ссылок на латинице ('References'), согласно международному стилю оформления Harvard.

Издания, которые не переводятся, необходимо указать транслитерацией в соответствии с общепринятыми международными правилами, в конце каждого такого источника должна стоять пометка (in Russian) (см. <http://www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html>).

Для журнальной статьи должны быть указаны фамилии и инициалы всех авторов, название статьи, сокращенное название журнала (если допускается, например: *Изв. вузов. Химия и хим. технология*) год, номер тома, номер или выпуск, диапазон страниц и DOI (при их наличии, в случае если цитируемая статья напечатана на русском языке).

Примеры оформления литературных источников (статьи, монографии, патенты на изобретение, интернет-данные) на русском и английском языках

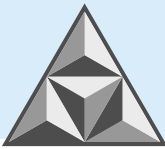
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Трейбакс Е.А.** Использование уникальных свойств клееных деревянных панелей CLT в строительстве общественных зданий // *Инновации в науке*. 2017. № 10 (71). С. 68-69.
2. **Ammari M.S., Belhadj B., Bederina M., Ferhat A., Quéneudec M.** Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers // *Construction and building materials*. 2020. Vol. 233, no. 8. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.117374
3. **Титунин А.А., Зайцева К.В.** Проектирование и производство строительных материалов из древесины. Комплексный подход. Кострома: Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2009. 185 с.
4. **Яргина З.Н.** Эстетика города. М.: Стройиздат, 1991. 365 с.
5. В России будет обеспечено широкое внедрение многоэтажного деревянного домостроения // *Минстрой России*: [сайт]. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mногоetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya/> (дата обращения 10.10.2023).
6. Citation guides / Mendeley [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mendeley.com/guides/citation-guides/> (дата обращения: 05.04.2022).
7. Патент № 2667367 Российская Федерация, МПК В28С 5/00 (2006.01), В28С 9/02 (2006.01). Способ получения бетонной смеси с утилизацией ранее полученных остатков этой смеси: опубл. 19.09.2018 / Коган Артем Сергеевич.

Поступила в редакцию

Одобрена после рецензирования

Принята к опубликованию



REFERENCES

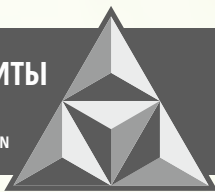
1. **Treybaks, E.A.** (2017) Utilization of unique properties of glued wood CLT panels in the construction of public buildings, *Innovatsii v nauke*, 10(71), pp. 68-69 (in Russian).
2. **Ammari, M.S., Belhadj, B., Bederina, M., Ferhat, A. & Quéneudec, M.** (2020) Contribution of hybrid fibers on the improvement of sand concrete properties: Barley straws treated with hot water and steel fibers, *Construction and Building Materials*, 233(8). DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117374.
3. **Titunin, A.A. & Zaitseva, K.V.** (2009) *Design and production of construction materials of wood. Complex approach.* Kostroma: Izd-vo Kostrom. gos. tekhnol. un-ta (in Russian).
4. **Yargina, Z.N.** (1991) *Aesthetics of the city.* Moscow: Stroyizdat (in Russian).
5. Ministry of Construction of Russia. (2022) *Russia will ensure widespread introduction of multi-storey wooden house building* [online]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/press/v-rossii-budet-obespecheno-shirokoe-vnedrenie-mnogoetazhnogo-derevyannogo-domostroeniya> (accessed 10.10.2023) (in Russian).
6. Citation Guides / Mendeley [online]. Available at: <https://www.mendeley.com/guides/citation-guides/> (accessed 05.04.2022).
7. **Ferrari, G., Surico, F., Brocchi, A., Banfi, E., Maltese, C. & Squinzi, M.** (2019) Method for recycling concrete, IT, Patent EP 2,468,695 A1.

Received

Approved

Accepted

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



ТОМ 7, ВЫПУСК 2, 2026 | VOL. 7, ISS. 2, 2026

